

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
УКРАЇНИ ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

ПОГОДЖЕНО

**Директор Навчально-наукового
інституту енергетики, автоматики**

і енергозбереження

(назва ННІ)

Віктор КАПЛУН

(підпис)

(ПІБ)

“ ” 20_ р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

**Завідувач кафедри
інженерії енергосистем**

Євген АНТИПОВ

(підпис)

(ПІБ)

“ ” 20_ р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему

**Розробка енергозберігаючих заходів по термомодернізації будівель
Таращанського агротехнічного коледжу**

Спеціальність

144 – «Теплоенергетика»

(код і назва)

Освітня програма

Інженерія відновлювальних джерел енергії та енергоменеджмент

(назва)

Орієнтація освітньої

програми **освітньо-професійна**

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Горобець В.Г.

(ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Шеліманова О.В.

(ПІБ)

Виконав

(підпис)

Бешкенадзе Т.Р.

(ПІБ студента)

КИЇВ – 2025

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
УКРАЇНИ ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри інженерії енергосистем

Є.О.Антипов

канд.техн.наук. доцент

(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ПБ)

“ ” 20 року

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Бешкенадзе Тимуру Ревазовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність

144 – «Теплоенергетика»

(код і назва)

Освітня програма

Інженерія відновлювальних джерел енергії та енергоменеджмент

(назва)

Орієнтація освітньої

програми

освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи Розробка енергозберігаючих заходів по
термомодернізації будівель Тарашанського агротехнічного коледжу

затверджена наказом проректора НУБіП України від —18 ” 11 2024 р.№ 2 «С060»

Термін подання завершеної роботи на кафедру

11.11.2025 р.

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Аналіз існуючого стану системи теплопостачання споруд коледжу
2. Основи термомодернізації огорожувальних конструкцій будівельних споруд
3. Теплові режими в приміщенні при переривчастому теплонавантаженні на системи опалення
4. Розробка заходів з термомодернізації будівлі навчального корпусу №2 коледжу
5. Техніко-економічне обґрунтування проекту

Перелік графічного матеріалу (за потреби)

Дата видачі завдання — 20 ” 11 2024 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

(підпис)

Шеліманова О. В.

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Бешкенадзе Т. Р.

(прізвище та ініціали студента)

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, термінів	4
Вступ	6
1. Характеристика об'єкту проектування. Основні задачі магістерської роботи	7
1.1 Загальні дані об'єкта проектування	7
1.2 Визначення теплової потужності споруд коледжу.....	9
1.3 Мета та задачі магістерської роботи.....	17
2. Аналіз існуючого стану системи тепlopостачання споруд коледжу	18
2.1 Загальні дані	18
2.2 Основні принципи роботи піролізних котлів	22
2.3 Характеристики теплогенераторів котельні	26
3 Основи термомодернізації огорожувальних конструкцій будівельних споруд	30
3.1 Основні технічні принципи проектування енергоекономічної будівлі	30
3.2 Модернізація конструкцій огороження будівель у напрямку підвищення термічного опору	31
4. Теплові режими в приміщенні при переривчастому теплонавантаженні на системи опалення	43
4.1 Основні енергозберігаючі режими роботи системи опалення	43
4.2 Аналіз теплових режимів приміщення	48
4.3 Мінімізація витрат енергії при переривчастому режимі опалення	51
5. Розробка заходів з термомодернізації будівлі навчального корпусу №2 коледжу	56
5.1 Визначення теплової потужності існуючої будівлі до термомодернізації	57
5.2 Визначення теплової потужності будівлі після термомодернізації	61
6 Техніко-економічне обґрунтування проекту.....	64
6.1 Оцінка економічної ефективності інноваційних (термореноваційних) заходів енергозбереження в житлових будинках	64
6.2 Термін окупності енергозберігаючих заходів по термомодернізації будівлі навчального корпусу №2	70
Висновки	74
Список використаної літератури	76

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ,
ОДИНИЦЬ, ТЕРМІНІВ

- α – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м²·°С);
- κ – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м·°С);
- q – тепловий потік, Вт/м²;
- c – питома теплоємність, Дж/(кг·°С);
- λ – коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·°С);
- R – коефіцієнт опору теплопередачі, (м²·К)/Вт;
- D – градусо-доба;
- $Z_{оп}$ – тривалість опалювального сезону, доба;
- ρ – густина, кг/м³;
- δ – товщина шару, м;
- F – площа, м²;
- G – масові витрати теплоносія, кг/год;
- d – діаметр трубопроводу, м;
- l – довжина, м;
- t – температура повітря, °С;
- Q_n – тепловтрати приміщення, Вт;
- Q_o – теплова потужність системи опалення, Вт;
- $q_{от}^{mp}$ – питома енергоємність енергії для даної будівлі, кВт·год./(м²·рік);

ЧДП – чистий дисконтований прибуток, грн.;

СО – система опалення;

САР – система автоматичного регулювання;

ТП – тепловий пункт;

ІНДЕКСИ

м – місцева; л – лінійна (поздовжня); н – насосний; с.о. – система опалення; ном – номінальна (розрахункова) величина; max – максимальна величина; opt – оптимальна величина; min – мінімальна величина;

ВСТУП

Стратегічним завданням національної економіки України в цілому є забезпечення економного використання енергетичних ресурсів. Для будівельної галузі це завдання має вирішуватися, насамперед, за рахунок суттєвого зниження витрат теплоти на опалення існуючого фонду житлових та громадських будинків, а також підвищення теплоізоляційних властивостей огороджувальних конструкцій при новому будівництві. Це загальнодержавне завдання збігається і зі споживчими вимогами користувачів, тобто населення країни, які прагнуть нести якнайменше витрат на експлуатацію будинків. При цьому в будинках мають забезпечуватися комфортні умови перебування, що також є споживчою вимогою. Таким чином, створення комфортних умов у будинках при мінімальних витратах енергії на опалення і становить, з погляду споживача, те головне завдання, на рішення якого спрямована й політика держави – забезпечення населення комфортним житлом при мінімальних експлуатаційних витратах.

РОЗДІЛ 1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТУ ПРОЕКТУВАННЯ.

1.1 Загальні дані об'єкта проектування

Магістерська робота присвячена питанню підвищення енергоефективності споруд технічного та економіко-правового фахового коледжу міста Тараща.

Тараща – центр Таращанської міської громади Білоцерківського району Київської області. Розташоване в місто на Придніпровській височині в зоні лісостепу - лісистій місцевості на півдні Київської області, вздовж річок Котлуй (притока Росі, басейн Дніпра) і Глибочиці. Відстань до Києва – 115 км.

Сьогодні Таращанський район має потужний аграрний комплекс, розвинену інфраструктуру, промисловий потенціал та великодуховні культурні надбання. Згідно з офіційною статистикою в 2012 році в Таращі проживало 11 534 мешканців.

В місті працюють такі комунальні організації:

- Виробниче управління житлово-комунального господарства,
- «Таращатепломережа», Протяжність тепломережі в місті Тараща становить 3,8 км;
- КП «Таращаводоканал». Місто Тараща забезпечене центральним водопостачанням, протяжність мереж якого становить 23,9 км.
- КП «Тараща ЖЕП»;
- Таращасількомунгосп,
- Комунальне підприємство «Світанок»,

В економіці міста провідне місце займає торгівля та переробка сільгоспсировини. На території міста працюють підприємства із виробництва м'ясо-молочної продукції, вирощування риби та птиці, проводиться випуск ливарної продукції та машинобудування, діє завод комбікормів та кормових добавок, меблева фабрика.

Рівень газифікації природним газом в Таращанському районі становить 95%.

Серед навчальних закладів Таращі чільне місце посідає Таращанський коледж.

Історія становлення закладу така:

- 1920 рік: заснування Таращанського технікуму сільськогосподарського машинобудування
- 1930 рік: до Таращанського технікуму механізації приєднують технікуми з міст: Білої Церкви, Шепетівки, Звенигородки, Городищ.
- 1965 рік: відкриття відділення «Електрифікація і автоматизація сільського господарства»
- 1995 рік: навчальний заклад акредитований за статусом коледжу

Сьогодні у коледжі працюють відділення:

- автоматизації і електрифікації сільського господарства;
- бухгалтерського обліку;
- правознавства;
- організації виробництва (аграрного менеджменту);
- комерційної діяльності.

В коледжі навчається понад 1700 студентів денного та близько 660 студентів заочного відділення.

Матеріально-технічна база коледжу складає:

- 2 навчальні корпуси,
- 65 навчальних аудиторій та лабораторій,
- бібліотека (понад 75 тис. примірників),
- читальний зал,
- 3 спортзали,
- лабораторія теле-, відео- комп'ютерного забезпечення,
- лабораторія розмножувальної техніки,
- редакційно-поліграфічна лабораторія,

Теплопостачання комплексу споруд Таращанського технічного та економіко-правового фахового коледжу, розташованого за адресою: місто Тараща, вул. Б.Хмельницького 3 здійснюється від власної водогрійної газифікованої котельної на базі 5-ти котельних агрегатів. Учбові споживачі теплової енергії підключені до котельні за двотрубною схемою; температурний режим в тепловій мережі:

- опалювальний період: 95 / 70 °С;
- неопалювальний період: 70 / 30 °С.

Схема приєднання систем опалення споруд приєднані до теплопроводів котельні - безпосередня, безелеваторна.

Системи опалення споруд - однотрубні з верхнім розведенням.

Схема розподільчих теплопроводів котельні, до якої підключені системи опалення споруд агротехнічного коледжу, представлена на рис 1.1.

Технічні характеристики опалювальних споруд коледжу наведені в таблиці 1.1.

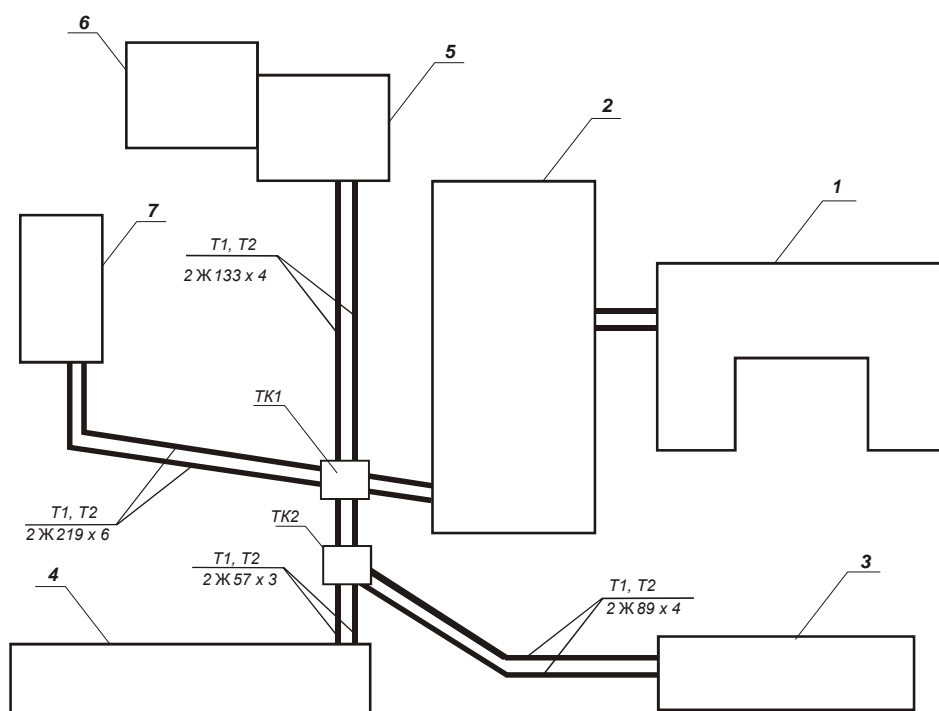


Рис. 1.1. Схема розподільчих теплопроводів котельні:

1 – учбовий корпус №1; 2 – учбовий корпус №2; 3, 4 – гуртожитки; 5 – лабораторний корпус №1; 6 – лабораторний корпус №2

Таблиця 1.1

Характеристика споживачів теплової енергії коледжу

№ п/п	Найменування приміщення	Площа (в плані), м ²	Поверх	Об'єм, м ³	Кільк.
1	Учбовий корпус №1	1782	2	10692	1
2	Учбовий корпус №2	1354	4	16248	1
3	Гуртожиток	450	5	6750	1
4	Гуртожиток	450	5	6750	1
5	Лабораторний корпус №1	290	2	1740	1
6	Лабораторний корпус №2	816	1	2448	1

1.2. Визначення теплової потужності споруд коледжу

Згідно норм проектування систем опалення [19, 23], місце розташування житлової будівлі (м. Тараща) відноситься до кліматичної зони, параметри зовнішнього повітря якої наведені в таблиці 1.3.

Види теплового навантаження абонентів, які підключені до теплової мережі котельні:

- опалення;
- гаряче водопостачання;
- вентиляція.

Таблиця 1.3

Розрахункові параметри зовнішнього повітря при проектуванні системи опалення для Київської області [19]

Найменування параметру	Період року	
	теплий	холодний
Географічна широта, град. с. ш.	51	
Барометричний тиск, ГПа	990	
Зона клімату	нормальна	
Тривалість опалювального періоду, доба	187	
Градусо-доба опалювального періоду S	3572	
Середня температура за опалювальний період, °С	-1,1	
Параметр А:		
– температура, °С	23,7	-10
– теплоємність, кДж/кг	53,6	-6,7
– швидкість вітру, м/с	1,0	5,3
Параметр Б:		
– температура, °С	28,7	-22
– теплоємність, кДж/кг	56,1	-20,7
– швидкість вітру, м/с	1,0	4,2

Розрахункові параметри зовнішнього повітря приймаються згідно діючих нормативів [24]:

- при проектуванні опалення – параметри Б;
- при проектуванні вентиляції :
- для холодного періоду – параметри Б;
- для теплого періоду – параметри А.

Теплову потужність об'єктів на опалення та вентиляцію розрахуємо за укрупненими показниками.

Вихідні дані для розрахунку:

- район розташування будинків (таблиця 1.3);
- призначення приміщення;
- геометричні параметри будівельної споруди.

Витрати теплоти на опалення Q_o , кВт, визначимо за формулою

$$Q_o = q_o \cdot V \cdot (t_g - t_o) \cdot 10^{-3}, \quad (1.1)$$

де

q_o , Вт/(м³·К) – питома опалювальна характеристика будівлі; вибирається в залежності від соціального призначення та об'єму приміщення;

V , м³ – об'єм будівлі за зовнішніми замірами;

t_g , °С – температура внутрішнього повітря; вибирається в залежності від призначення приміщення;

t_o , °С – розрахункова температура зовнішнього повітря при проектуванні опалення (параметр Б для холодного періоду, таблиця 1.3).

Теплова потужність систем вентиляції Q_v , кВт, громадсько-адміністративних приміщень розраховуються за формулою

$$Q_v = q_v \cdot V \cdot (t_g - t_v) \cdot 10^{-3}, \quad (1.2)$$

де

q_v , Вт/(м³·К) – питома вентиляційна характеристика будівлі; вибирається згідно об'єму приміщення;

t_v , °С – розрахункова температура зовнішнього повітря при проектуванні вентиляції (параметр А таблиця 1.3);

інші позначення – такі ж, як і в формулі (1.1).

Витрати теплоти на вентиляцію житлових будівель враховано параметром питомої опалювальної характеристики і окремо не визначаються.

Для споживачів теплової енергії з водяною системою опалення приймаємо $t_v = -10$ °С.

Середня за опалювальний сезон теплова потужність систем опалення $Q_{o,сер}$, кВт, визначається за формулою

$$Q_{o,сер} = Q_o \cdot \frac{t_g - t_{o,сер}}{t_g - t_o}, \quad (1.3)$$

де

$t_{o,сер}$, °С – середня за опалювальний період температура зовнішнього повітря; приймається за кліматологічними даними: для Київської області приймаємо $t_{o,сер} = -1,1$ °С.

Витрати теплоти на гаряче водопостачання для житлових та громадсько-адміністративних будівель визначаються згідно норм витрат гарячої води [26].

Середня теплова потужність Q_{hm} , кВт, систем гарячого водопостачання розраховується за формулою

$$Q_{hm} = \frac{1,2 \cdot m \cdot (a + b) \cdot (55 - t_{x.в}) \cdot c_p}{24 \cdot 3600}. \quad (1.4)$$

де

c_p , кДж/(кг·К) – питома теплоємність води; $c_p = 4,19$ кДж/(кг·К);

a, b_i , кг/доба – середньодобова норма споживання гарячої води з температурою 55 °С в житлових та громадсько-адміністративних приміщеннях на одну людину;

m – розрахункова кількість людей;

$t_{x.в}$, °С – температура холодної води для опалювального сезону; $t_{x.в} = 5$ °С;

Максимальна теплова потужність систем гарячого водопостачання, кВт:

$$Q_{h \max} = k_{\text{нер}} \cdot Q_{hm}, \quad (1.5)$$

де $k_{\text{нер}}$ – коефіцієнт нерівномірності споживання гарячої води на протязі доби; за даними [26], для сільської місцевості $k_{\text{нер}} = 2,4$.

Теплова потужність систем гарячого водопостачання в літній період $Q_{h \max}^S$, кВт:

$$Q_{hm}^S = \alpha \cdot Q_{hm} \frac{55 - t_{x.г}^S}{55 - t_{x.г}}, \quad (1.6)$$

де

α – коефіцієнт, який враховує зміну середніх витрат води на гаряче водоспоживання в неопалювальний період; для житлових будинків $\alpha = 0,8$;

$t_{x.г}^S$, °С – температура холодної води в неопалювальний період; приймається

$t_{x.г}^S = 15$ °С.

Річні витрати теплоти для житлових та громадсько-адміністративних приміщень визначаються за формулами:

на опалення $Q_o^{piк}$, ГДж

$$Q_o^{piк} = 3,6 \cdot Q_o \cdot z_o \cdot n_o \cdot \frac{t_g - t_{o,cep}}{t_g - t_o}, \quad (1.7)$$

де

Q_o , кВт – розрахункова теплова потужність систем опалення;

z_o , год – кількість годин роботи систем опалення на протязі доби; $z_o = 24$ год;

n_o , доба – тривалість опалювального періоду; для даної місцевості $n_o = 187$ діб;

на вентиляцію $Q_v^{piк}$, ГДж

$$Q_v^{piк} = 3,6 \cdot Q_v \cdot z_v \cdot n_o \cdot \frac{t_g - t_{o,cep}}{t_g - t_v}, \quad (1.8)$$

де

Q_v кВт – розрахункова теплова потужність систем вентиляції;

z_v , год – кількість годин роботи систем вентиляції на протязі доби; $z_v = 12$ год;

Річні витрати теплової енергії Q_h^{pik} , ГДж, на потреби гарячого водопостачання визначаються за формулою

$$Q_h^{pik} = 3,6 \cdot [Q_{hm} \cdot n_o \cdot z_o + Q_{hm}^S \cdot z_o \cdot (350 - n_o)] \cdot 10^{-3} \quad 1.9)$$

Результати розрахунків теплової потужності систем опалення та вентиляції побутових та громадсько-адміністративних споживачів наведені в таблиці 1.4, систем гарячого водопостачання для опалювального та неопалювального періодів – в таблиці 1.5.

Згідно результатів розрахунку маємо такі сумарні показники потужності систем по видах теплоспоживання, які підключені до опалювальної котельної:

– системи опалення:

$$Q_o^\Sigma = 827,2 \text{ кВт};$$

– системи вентиляції:

$$Q_v^\Sigma = 327,1 \text{ кВт};$$

– системи гарячого водопостачання (сумарні для всіх споживачів гарячої води):

▪ опалювальний період:

$$Q_{h \max}^\Sigma = 457,5 \text{ кВт};$$

▪ неопалювальний період:

$$Q_{h \max}^{\Sigma, S} = 292,8 \text{ кВт};$$

Сумарна теплова потужність споживачів (для опалювального періоду):

$$Q^\Sigma = 1611,8 \text{ кВт};$$

Таблиця 1.4

Теплові потужності (розрахункові) систем опалення та вентиляції споруд
комплексу споруд коледжу

№ п/п	Найменування приміщення	V , м ³	t_v , °C	$\frac{q_o}{\text{Вт}}$ м ³ ·К	$\frac{q_v}{\text{Вт}}$ м ³ ·К	Q_o , кВт	Q_v , кВт
1	Учбовий корпус №1	10692	16	0,458	0,128	186,1	52,1
2	Учбовий корпус №2	16248	16	0,425	0,106	262,6	65,1
3	Гуртожиток	6750	18	0,557	–	150,4	–
4	Гуртожиток	6750	18	0,557	–	150,4	–
5	Лабораторний корпус №1	1740	16	0,488	1,319	32,3	87,2
6	Лабораторний корпус №2	2448	16	0,488	1,319	45,4	122,7
ВСЬОГО:						827,2	327,1

Таблиця 1.5

Теплові потужності систем гарячого водопостачання споруд коледжу

№ п/п	Найменування приміщення	a, b , кг/доба	m	Теплова потужність, кВт	
				період	
				$Q_{h \max}$	$Q_{h \max}^S$
1	Учбовий корпус №2	6	100	4,36	2,79
2	Учбовий корпус №1	6	150	6,54	4,19
3	Гуртожиток	80	300	174,46	111,65
4	Гуртожиток	80	300	174,46	111,65
5	Лабораторний корпус №1	112	80	65,13	41,68
6	Лабораторний корпус №2	112	40	32,57	20,84
ВСЬОГО:				457,5	292,8

1.3. Мета та задачі магістерської роботи

Об'єктом проектування даної магістерської роботи є навчальний корпус №2 Таращанського технічного та економіко-правового фахового коледжу.

Предмет проектування - термомодернізація будівлі та аналіз теплових режимів в приміщенні при переривчастому теплонавантаженні на системи опалення.

Мета роботи – підвищення ефективності системи опалення навчального корпусу.

Основні задачі магістерської роботи

1. Провести аналіз існуючого стану системи теплопостачання споруд агротехнічного коледжу.

2. Проаналізувати основні рішення щодо модернізації конструкцій огородження будівель у напрямку підвищення термічного опору.

3. Розглянути теплові режими в приміщенні при переривчастому теплонавантаженні на системи опалення.

4. Розрахувати економічну енергоефективність впровадження енергозберігаючих заходів по термомодернізації будівлі навчального корпусу №2 коледжу,.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ІСНУЮЧОГО СТАНУ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ СПОРУД АГРОТЕХНІЧНОГО КОЛЕДЖУ

2.1. Загальні дані

У зв'язку з постійним зростанням цін на газ і електрику з метою більш ефективного використання первинних енергоносіїв, зменшення шкідливих викидів в атмосферу, економії коштів на паливо в системі теплопостачання споруд агротехнічного коледжу проведена реконструкція, а саме:

- зменшений рівень деяких видів теплопостачання окремих споруд;
- морально та фізично застарілі водогрійні котли НІСТУ на вугіллі з низьким ККД та великим обсягом викидів шкідливих речовин замінені на сучасне теплогенеруюче обладнання.

Існуючий стан систем теплопостачання споруд агротехнічного коледжу характеризується даними таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Існуючий стан систем теплопостачання споруд коледжу

№ п/п	Найменування споруди	Існуючий стан систем теплопостачання		
		опалення	вентиляція	ГВП
1	Учбовий корпус №1	+	–	–
2	Учбовий корпус №2	+	–	–
3	Гуртожиток	+	–	+
4	Гуртожиток	+	–	+
5	Лабораторний корпус №1	–	–	–
6	Лабораторний корпус №2	–	–	–

Аналіз даних табл. 2.1 показує, що на даному етапі система теплопостачання споруд агротехнічного коледжу функціонує таким чином:

- теплопостачання будівель гуртожитків здійснюється в повному обсязі (опалення та ГВП)

- теплопостачання будівель навчальних корпусів №1 та №2 здійснюється тільки на опалення (системи вентиляції та ГВП відсутні);
- теплопостачання будівель лабораторних корпусів №1 і №2 відсутнє.

Рівень теплового навантаження опалювальних споруд коледжу відображено в таблицях 2.2 і 2.3.

Таблиця 2.2

Теплові потужності систем опалення та вентиляції споруд комплексу коледжу, які підключені до котельні на сьогоднішній час

№ п/п	Найменування споруди	$V, \text{ м}^3$	$t_{в}, \text{ }^\circ\text{C}$	$\frac{q_o, \text{ Вт}}{\text{м}^3 \cdot \text{К}}$	$\frac{q_v, \text{ Вт}}{\text{м}^3 \cdot \text{К}}$	$Q_o, \text{ кВт}$	$Q_v, \text{ кВт}$
1	Учбовий корпус №1	10692	16	0,458	0	186,1	0
2	Учбовий корпус №2	16248	16	0,425	0	262,6	0
3	Гуртожиток	6750	18	0,557	–	150,4	–
4	Гуртожиток	6750	18	0,557	–	150,4	–
5	Лабораторний корпус №1	1740	16	0,488	0	0	0
6	Лабораторний корпус №2	2448	16	0,488	0	0	0
ВСЬОГО:						749,6	0

Таблиця 2.3

Теплові потужності систем гарячого водопостачання комплексу споруд коледжу, які підключені до котельні на сьогоднішній час

№ п/п	Найменування споруди	$a, b, \text{ кг/доба}$	m	Теплова потужність, кВт	
				період	
				$Q_{h \max}$	$Q_{h \max}^S$
1	Учбовий корпус №1	6	100	0	0
2	Учбовий корпус №2	6	150	0	0
3	Гуртожиток	80	300	174,46	111,65
4	Гуртожиток	80	300	174,46	111,65
5	Лабораторний корпус №1	112	80	0	0
6	Лабораторний корпус №2	112	40	0	0
ВСЬОГО:				348,9	223,3

Згідно результатів розрахунку маємо такі сумарні показники потужності систем по видах теплоспоживання, які підключені до опалювальної котельні:

– системи опалення:

$$Q_o^{\Sigma} = 749,6 \text{ кВт};$$

– системи вентиляції:

$$Q_v^{\Sigma} = 0 \text{ кВт};$$

– системи гарячого водопостачання (сумарні для всіх споживачів гарячої води):

▪ опалювальний період:

$$Q_{h \max}^{\Sigma} = 348,9 \text{ кВт};$$

▪ неопалювальний період:

$$Q_{h \max}^{\Sigma, S} = 223,3 \text{ кВт};$$

Сумарна теплова потужність споживачів (для опалювального періоду):

$$Q^{\Sigma} = 1098,5 \text{ кВт}.$$

Річні витрати теплоти Q_o^{pik} на опалення будівель коледжу визначалася за формулою (1.7), на гаряче водопостачання Q_h^{pik} – (1.9) і дорівнюють:

$$Q_o^{pik} = 5583 \text{ ГДж};$$

$$Q_h^{OP, pik} = 2256 \text{ ГДж} \text{ – опалювальний період};$$

$$Q_h^{S, pik} = 1374 \text{ ГДж} \text{ – неопалювальний період};$$

Таким чином, річні витрати теплоти на теплопостачання будівель коледжу дорівнюють:

$$Q^{pik} = 5583 + 2256 + 1374 = 9212 \text{ ГДж}.$$

Існуючий стан теплогенеруючого устаткування котельні агротехнічного коледжу наведений в таблиці 2.4.

Основні (постійно діючі) котли, які повністю покривають потреби опалювальних споруд:

- котел піролізний водогрійний типу СВД «Сканді-0,8» теплової потужності 0,83 МВт; 1 шт.; основне паливо – дрова
- котел піролізний водогрійний типу СВД «Сканді-0,6» теплової потужності 0,62 МВт; 1 шт.; основне паливо – дрова;

Резервні котли:

- котел водогрійний КСВ-0,63 теплової потужності 0,63 МВт; 2 шт.; основне паливо – природний газ;

Котли на консервації:

- котел водогрійний НІСТУ теплової потужності 0,5 МВт; 1 шт.; основне паливо – вугілля;

Таблиця 2.4

Існуючий стан теплогенеруючого обладнання котельні агротехнічного коледжу

№ п/п	Найменування теплогенератора	Параметри		
		Q _o , МВт	Паливо	Існуючий стан використання
1	Котел газовий водогрійний КСВ-0,63	0,63	газ	резерв
2	Котел газовий водогрійний КСВ-0,63	0,63	газ	резерв
3	Котел піролізний водогрійний СВД «Сканді-0,8»	0,83	дрова	основний (постійно працюючий)
4	Котел піролізний водогрійний СВД «Сканді-0,6»	0,62	дрова	основний (постійно працюючий)
5	Котел твердопаливний водогрійний НІСТУ-0,5	0,5	вугілля	консервація

2.2.. Основні принципи роботи піролізних котлів

Розглянемо основні особливості технології піролізного горіння та піролізних котлів.

Піролізний котел – різновид твердопаливного, як правило, водогрійного котла, в якому паливо (найчастіше, дрова) і виходять з нього леткі речовини, згоряють роздільно. Зазвичай як синонім піролізного, вживається назва газогенераторний котел. Фактично, піроліз (розкладання і часткова газифікація під дією нагрівання) відбувається при будь-якому способі спалювання твердого органічного палива. Головна відмінність від традиційних опалювальних котлів на твердому паливі в тому, що в піролізних котлів горить деревний газ, що утворюється і виділяється з палива (дров), в процесі впливу на нього високої температури в умовах нестачі кисню. У підсумку відбувається процес розкладання деревини на дві фракції – летючу частину, деревне (піролізний) газ, і твердий залишок у вигляді деревного вугілля (коксу). Як тільки виділився газ починає змішуватися з повітрям насиченим киснем в спеціальній камері, (для цих цілей практично всі піролізні котли забезпечені спеціальним вентилятором) виникає процес горіння і, як наслідок, утворення теплової енергії.

Особливості конструкції піролізного котла.

В піролізних котлах топка розділена на дві частини. У першій (верхній) частині (камера газифікації або камера завантаження) за відсутності кисню паливо дуже повільно горить(тобто відбувається піроліз), а гази, що виділяються при цьому, догорають в другій частині топки (нижній камері згорання), куди безпосередньо подається вторинне повітря (подвійне дуття).

Характерною відмінністю піролізних котлів від інших побутових котлів є верхнє дуття. Простір між камерами поділяють колосники, на яких лежить паливо (дрова) і первинне повітря проходить крізь шар палива зверху вниз. Топки такої конструкції мають підвищений аеродинамічний опір, тому тяга в них, як правило, примусова. Часто з технологічних міркувань вона

реалізується за допомогою димососа, а не дуттєвого вентилятора (більше характерного для невеликих котлів), але в описах і статтях зазвичай все одно вживається термін «вентилятор».

Основні принципи роботи піролізного котла.

Дрова (або інше паливо) завантажуються в топку, на колосник. Їх підпалюють, дверцята закривається і запускається вентилятор-димосос. При нестачі повітря в першій камері і під дією дуже високої температури (від 200 до 800 ° С і іноді вище) відбувається обуглювання дров та виділення деревного газу, тобто власне процес – піроліз. Продукти які виділяються (в основному вуглеводні, чадний газ і водень, плюс азот з первинного повітря), надходять під колосник. Там до продуктів піролізу підмішується вторинний повітря, в якому легкі продукти згорають. Частина виділеного тепла при цьому повертається до нижнього шару дров, під колосник, і підтримує піроліз. Отримане в результаті тепло використовується для нагріву теплоносія котла.

Особливості роботи піролізного котла можна зрозуміти на прикладі котла типу КОП-ВЗ виробництва НВФ «ІМАС-2005», м. Дніпропетровськ, Україна (рис. 2.1).

Конструкція:

- котел зварений з сталевих листів завтовшки 5 мм і труб D57, D76 мм, ізольований шаром мінеральної вати товщиною 50 мм;
- топка - трубний каркас, який чергується з шамотною цеглою, що забезпечує високу температуру горіння палива;
- отвір топки, 450 x 400 мм, забезпечує зручне завантаження палива і догляд за котлом;
- двері топки сталеві, наповнена жароміцним бетоном, який забезпечує міцність дверей та високу температуру горіння в топці;
- теплообмінник - барабанний з турбулізаторами, що вставляються в труби теплообмінника;
- дно барабана захищене від вапняного накипу за допомогою ефективною двошаровою циркуляції води;

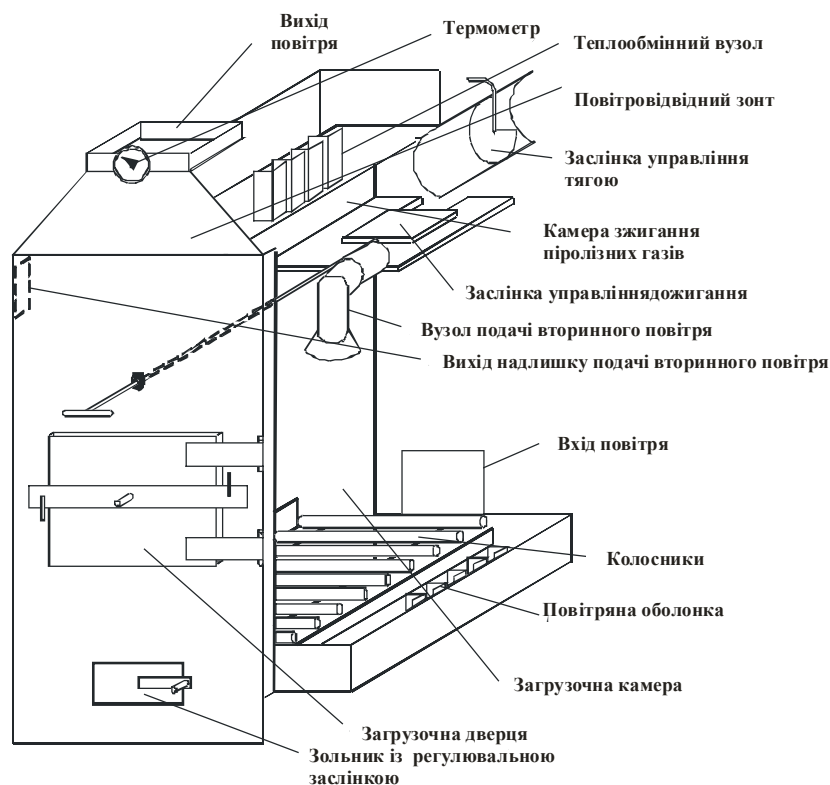


Рис. 2.1. Конструктивне виконання котла піролізного теплогенераторного типу КОП-ВЗ

- зворотна вода подається в найгарячішу зону, знижуючи негативний вплив на котел при низькій температурі поворотній води;
- простий процес підбирання необхідного співвідношення первинного і вторинного повітря, забезпечуючи повне згорання палива;
- обладнана ефективна система підігріву первинного і вторинного повітря. Повітря, що подається вентилятором, проходить між подвійними стінками котла і нагрівається до 120-200 °С, потім подається в топку. Тому не можна топити котел, використовуючи натуральну тягу труби, відкривши двері зольника, так як при непрацюючому вентиляторі можуть перегрітися внутрішні перегородки котла. Вдування повітря автоматично припиняється, коли вода в котлі досягає бажаної температури, встановленої регулятором температури; коли вода остигає, вентилятор знову включається автоматично. Регулятор тяги, змонтований на вентиляторі, дозволяє зручно підбирати бажаний потік повітря в залежності від використовуваного палива або інтенсивності топки.

Переваги піролізних котлів.

1. Процес горіння, який можна регулювати подачею первинного повітря, і, як наслідок, великий час автономної роботи на одній закладці дров (від 12 годин до декількох днів).
2. Абсолютно повне спалювання палива. А це говорить про економічність і зменшення часу чищення, в порівнянні з традиційними твердотопливним котлом.
3. Процес горіння піддається точному контролю за допомогою автоматики, що дозволяє підвищити ефективність котла.
4. При допалювання піролізного газу збільшується кількість тепла, підвищується ККД котла;
5. Зниження викидів шкідливих речовин в атмосферу.
6. Нарешті, економічність піролізного типу котлів в порівнянні з традиційними. За різними джерелами піролізний котел вважається економічніше на 4 - 15%
7. Піролізний котел можна експлуатувати як спільно (в одній опалювальній системі) з котлами, які працюють на інших видах палива, так і індивідуально, як основна одиниця тепло забезпечення.

Недоліки піролізних котлів.

1. Вартість даного обладнання значно вище традиційних твердопаливних котлів.
2. Вимогливі до вологості завантаженого палива. При підвищенні процентного вмісту вологи в деревині потужність котла різко знижується.
3. Піролізні котли завжди залежать від електроенергії (димосос - вентилятор і підключена автоматика вимагають постійного і безперебійного живлення)
4. Відсутня можливість автоматичної подачі палива в котел.

2.3. Характеристики теплогенераторів котельні

В підрозділі наводяться теплотехнічні характеристики основних (типу СВД «Сканді») та резервних (типу КСВ-0, 63 котлів котельні коледжу.

Основа котла 6 (рис. 2.2) являє собою зварену конструкцію і включає в себе: зольник 1, збірну колосникову решітку 2, реторту і рукави для механічної подачі палива і дуттєвого повітря. Позаду передбачені дверцята для огляду і очищення підколосникової зони. Верхня частина підстави, не обмежені колосниковими ґратами і зольник теплоізолювані вогнетривкою цеглою 7.

2. Колосники виконані із жаростійкого чавуну і мають отвори для дуття,

3. Корпус котла конструктивно являє собою топку, обмежену металевим водотрубним пучком 8, викладеної з внутрішньої сторони вогнетривкою цеглою 7, нижнього 9 і верхнього 10 пучка труб конвективної частини котла. У задній стінці котла і обичайки є отвори 11 для вторинного дуття.

4. Нижня частина топки обмежена основою котла 19 з вмонтованими в нього патрубками Ду 40 для продувки 18.

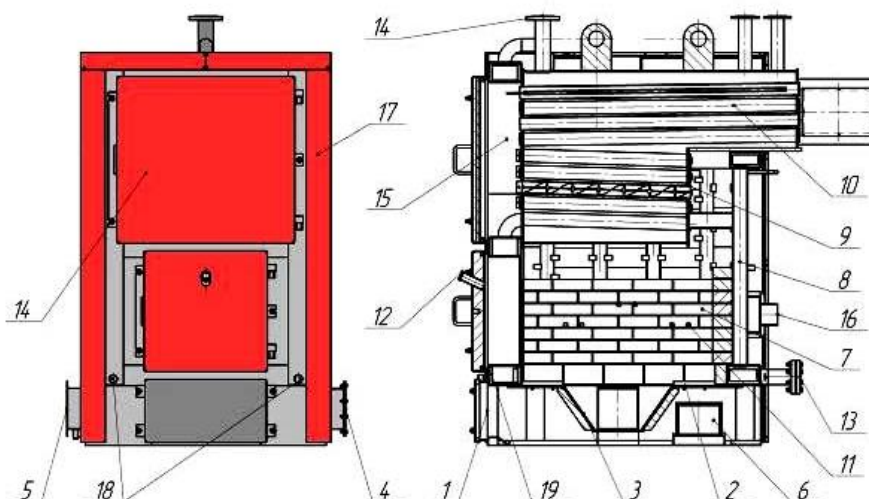


Рис. 2.2. Конструктивне виконання піролізного котла типу СВД «Сканді»

Габаритні розміри), мм		
довжина	2520	3440
ширина	1700	1700
висота	2530	2530

Таблиця 2.5

Технічні характеристики піролізних котлів типу СВД «Сканді-0,8»

НАЙМЕНУВАННЯ	СВД «Сканді-0,6»	СВД «Сканді-0,8»
Величина параметра або розміра		
Номінальна теплопродуктивність, кВт	620	830
Види палива та їх теплота згорання, МДж/кг (ккал/кг)	Дрова -12193 (2910), тирса, стружка, щепи - 8380 (2000), торф фрезерний-11145 (2660)	
Кількість розтоплювального палива (дров) на одне розтоплення, кг	17	23 45
Максимальна температура води на виході котла °С	95	
Мінімальна температура води на вході в котел, °С	60	
Робочий тиск води, МПа, не більше	0,3	
Мінімально допустимий тиск, МПа	0,15	
Кількість води, яка циркулює через котел при $\Delta t = 25^{\circ}\text{C}$, м ³ /год	19,6	24,8
Об'єм теплоносія, м ³	1,9	2,3
Температура відхідних газів, °С не менше	160	
Гідрравлічний опір, МПа, не більше	0.02	
Номінальний тиск повітря перед котлом, Па, не більше	780	
Номінальне розрідження за котлом, Па, не більше	400	
Вміст оксидів вуглецю в сухих відхідних газах в перерахунку на коефіцієнт надлишку повітря, рівний одиниці, мг/м ³ , не більше. При роботі на сипучому паливі	250	
Вміст оксидів азоту в сухих відхідних газах в перерахунку на коефіцієнт надлишку повітря, рівний одиниці, мг/м ³ , не більше. При роботі на сипучому паливі	500	
Аеродинамічний опір котла, Па, не більше	100	100
Час розтоплення, год., не більше	0,8	1,0
Маса котла (без води), кг, не більше	3600	4500
Установлене безвідмовне напрацювання, год, не менше	3200	
Коефіцієнт корисної дії, %, не менше при роботі на сипучому паливі при роботі на пелетах при роботі на дровах (вологість не більше 50%)	81 89 84	
Питоме споживання ел. енергії при номінальній теплопродуктивності, кВт/МВт не більше	7,8 (1,2.)	8,2. (1,6)
Питомі витрати умовного палива при номінальній теплопродуктивності, туп/МВт (туп/Гкал)	0,11 (0,13)	0,14 (0,17)
Витрати палива, кг/год: торф фрезерний. дрова	200 220	270 300
Напруга мережі	380В; 50 Гц	

5. Для огляду і чищення топки і трубних пучків спереду котла передбачені теплоізовані дверцята 14 і 1. У нижніх дверцятах для спостереження і контролю над процесом горіння розташоване оглядове вікно 12.

6. Перехідник димових газів 15 складається з внутрішнього і зовнішнього кожухів з теплоізоляцією. Перехідник з'єднує нижній і верхній трубні пучки і забезпечує перехід димових газів із одного в інший.

7. Після вентилятора розташований розподільник дугтевого повітря 16. Він призначений для розподілу і регулювання дугтевого повітря у вторинну зону топки.

8. Корпус котла теплоізований і закритий декоративною обшивкою 17.

9 Пристрій подачі палива являє собою ємність циліндричної форми, з розташованим на днищі ворошителя, який приводиться в рух шнековим транспортером з приводом від мотор-редуктора. У нижній частині ємності розташована дверцята з оглядовим вікном.

Бункер обладнаний ручною і автоматичною системою контролю загоряння палива. У конструкції бункера передбачені датчики контролю рівня палива, що дозволяють проводити його автоматичне завантаження від спеціального пристрою.

10. Для контролю за роботою котла передбачений пульт, прилади і датчики КВП і А.

Технічні характеристики котла на газоподібному паливі типу КСВ-0, 63

Котел сталевий водогрійний, жаротрубний, призначений для опалення та ГВП житлових, виробничих і адміністративних будівель в закритій системі тепlopостачання. Котел комплектується як вітчизняними, так і імпорними пальниками OILON, WEISHAUPТ, UNIGAS. При використанні вітчизняних пальників застосовується автоматика КСУМ 6432, при використанні імпорних пальників блок управління встановлений безпосередньо на пальнику. Котел, в

залежності від комплектації пальником, може використовувати такі види палива: газоподібне паливо; легке рідке паливо; мазут в'язкістю не більше $50 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ (при температурі $20 \text{ }^\circ\text{C}$); сира нафта. Водяний об'єм котла – $1,33 \text{ м}^3$.

Таблиця 2.6

Технічні характеристики котла газового КСВ-0, 63

Технічні характеристики	КСВ-0,63
Номінальна теплопродуктивність, МВт	0,63
Опалювальна площа, кв.м.	6300
Вид палива	Природний газ за ГОСТ 5542-87 / легке рідке
ККД,%, не менше	91
Тиск газу в мережі, Па (мм вод.ст.)	3000
Номінальна витрата газу, м ³ /год	70
Номінальна витрата рідкого палива, кг/год	60
Розрідження за котлом, Па	120
Температура вихідних газів, °С, не менше	165
Температура води в котлі, °С	95
Робочий тиск, МПа, (кг/см ²)	0,6
Водяний об'єм, м ³	0,5
Теплоносій	Вода (по СНиП II-35-76 п.10)
Витрата води через котел, м ³ /год, не менше	22
Гідравлічний опір котла, кгс/см ²	65
Діаметр різьблення патрубку газопроводу	G 2
Діаметр різьблення патрубків водяних	Ду 80
Перетин димової труби (газоходу), мм	194x294
Габаритні розміри, мм, не більше:	1815
Висота	
Ширина	1032
Глибина	2430
Висота (з пальником)	1815
Ширина (з пальником)	1100
Глибина (з пальником)	3390
Маса котла, кг, не більше	1200
Клас котла	2
Термін служби, років	10

РОЗДІЛ 3. ОСНОВИ ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЇ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЕЛЬНИХ СПОРУД

3.1. Основні технічні принципи проектування енергоекономічної будівлі

При всьому різноманітті способів економії енергії в будівлях їх можна звести до таких основних груп:

1. Оптимізація будівельних конструкцій;
2. Використання нетрадиційних видів енергії;
3. Удосконалення інженерних систем.

Зупинимося коротко на першій групі.

Під оптимізацією будівельних конструкцій розуміється створення такого роду огорожень, які б відповідали найменшим витратам енергії при експлуатації будинку при одночасному виконанні функціональних вимог (несуча здатність, теплозахист, звукоізоляція та інше) при мінімально можливій вартості. Можливості оптимізації будівельних огорожувальних конструкцій з погляду зменшення тепловтрат полягають у тому, що огороження повинні мати максимальний теплозахист при мінімальній вартості. Домогтися цього можна такими способами:

- збільшенням товщини теплоізоляції в стінках, що приведе до збільшення опору теплопередачі і до зменшення тепловтрат;
- застосуванням багат шарових огорожень з ефективним утеплювачем і високим коефіцієнтом приведення (тобто таких, що не мають або майже не мають теплопровідних включень);
- поліпшенням вологісного режиму огорожень;
- улаштуванням у зовнішніх огороженнях замкнених і вентильованих повітряних прошарків;
- поліпшенням конструкції і якості горизонтальних і вертикальних стиків, що мають зазвичай теплопровідні включення і низькій опір повітропроникності;
- збільшенням кількості шарів скління;

- оптимізацією розмірів світлопройомів (при цьому необхідно враховувати, що зменшення площі світлопройомів веде до зменшення тепловтрат у зимовий час та теплонадходжень влітку, однак одночасно збільшується навантаження на фундамент (за рахунок збільшення площі зовнішніх стін), а також енергетичне навантаження на системи штучного освітлення);
- застосуванням нових видів скла (теповідбиваючих і теплопоглинальних), що мають низький коефіцієнт пропускання в інфрачервоної області спектра;
- поліпшенням герметизації заповнень світлових прорізів;
- застосуванням ефективних сонцезахисних пристроїв, що знижують теплонадходження через світлопройоми в жаркий час і дозволяють знизити тепловтрати приміщення в холодний період.

Слід зазначити, що останні 5 способів дозволяють не тільки знизити навантаження на системи опалення і вентиляції, але й зменшити дискомфортну привіконну зону, що дозволяє раціонально використовувати всю площу приміщення.

3.2. Модернізація конструкцій огородження будівель у напрямку підвищення термічного опору

Одним з основних напрямків енергозбереження в будівельному господарстві є конструктивні заходи, пов'язані з підвищенням термічного опору конструкцій огородження.

Структура теплових втрат через окремі елементи одно- (А) і багатоквартирного (Б) будинку показана на рис. 3.1.

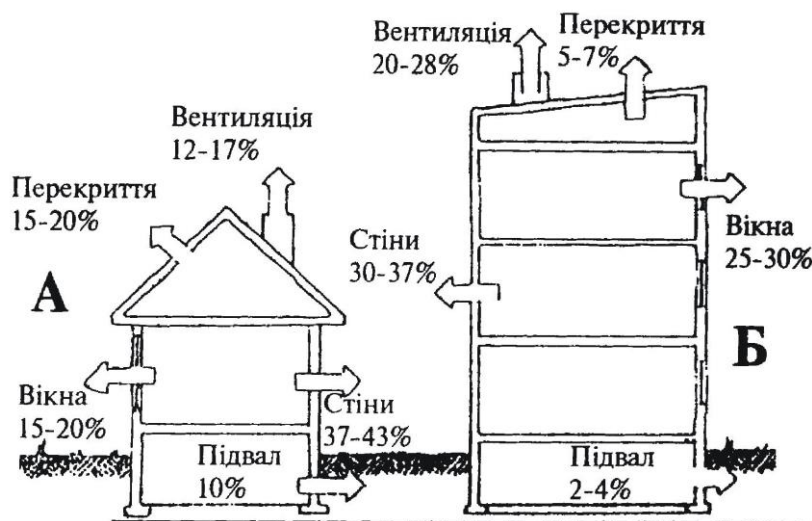


Рис. 3.1. Тепловтрати крізь окремі елементи будинку

Величина втрат теплоти через огорожувальні конструкції прямо пов'язана з показником їх термічного опору: чим менший коефіцієнт теплопровідності матеріалу стіни (табл. 3.1) або його сполучення з теплоізоляційним шаром (при однаковій товщині стіни), тим менші втрати теплоти. Будівельні матеріали, в певному розумінні, можуть бути трактовані як нове джерело енергії. Одночасно це джерело може бути дешевшим і менше навантажувати в екологічному плані навколишнє середовище порівняно із загальноприйнятими джерелами енергії. Наприклад, величина теплопередачі зовнішньої стіни, виконаної з силікатної цегли, дорівнює $1,65 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. При утепленні стіни мінеральною ватою завтовшки 100 мм, щільністю $100 \text{ кг}/\text{м}^3$, величина теплопередачі знизиться до $0,35 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. Відповідно скорочуються і втрати теплоти (рис. 3.2).

Донедавно теплозахисні властивості стін оцінювали (приблизно) за їх товщиною. Вважалось, наприклад, що стіна в півтори цеглини (38 см) недостатньо тепла, у дві цеглини (51 см) – нормальна, а у 2,5 цеглини (64 см) – повністю забезпечує теплозахист дому. Одношарові стіни великопанельних будинків з легкого бетону задовольняли вимоги діючих норм за опором теплопередачі, а товщина 35 см звично вважалася прийнятною.

Таблиця 3.1

Коефіцієнти теплопровідності будівельних матеріалів

Матеріал	Щільність, кг/м ³	Розрахунковий коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·°С)
Залізобетон	2500	1,92-2,04
Бетон на щебені з природного каменю	2400	1,7-1,86
Керамзитобетон	1800	0,8-0,92
Цегла глиняна, звичайна	1800	0,81-0,92
Плити мінераловатні на синтетичному зв'язуючому	125	0,064-0,07
Пінополістирол	40	0,041-0,05

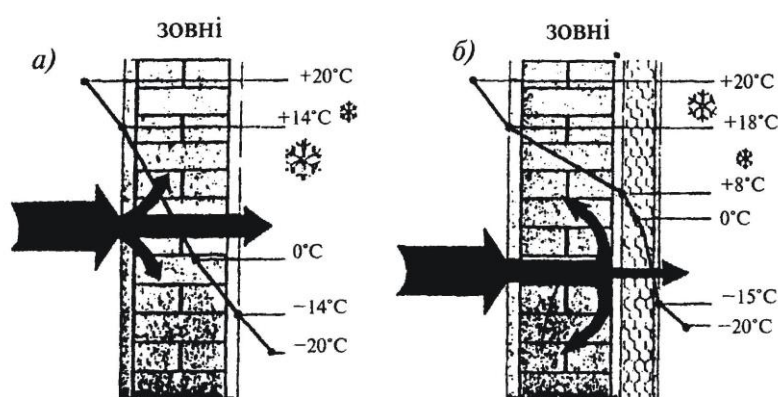


Рис. 3.2. Криві зміни температури в стіні:
а – ізоляція відсутня; б – з теплоізоляцією

Введені в Україні нові нормативи вимушують у корені переглянути погляди, що склалися. Стіни з монолітної цегляної кладки для північних районів України повинні були б зводити завтовшки біля півтора метра, а товщина одношарових легкобетонних панелей повинна була б бути біля 100 см. Звичайно, на практиці виконати це неможливо, і тому єдиним способом утеплення стін повинно стати застосування шару з ефективного утеплювача. При будівництві нових будинків теплоізоляційний шар з мінеральної вати, пористої пластмаси або інших утеплювачів розташовують звично всередині конструкції стіни. Такі конструкції називають багат шаровими з ефективним утеплювачем.

Для великопанельних будівель необхідно застосовувати тришарові стінові панелі, в яких між двома конструктивними шарами із залізобетону розташовують шар утеплювача. Основною проблемою при цьому є

влаштування зв'язків між конструктивними шарами. Найбільш прості – це жорсткі зв'язки з бетону. Вони міцно з'єднують конструктивні шари, але їх теплопровідність надто висока.

Тому панелі з жорсткими зв'язками навіть при наявності всередині їх ефективного утеплювача мають недостатньо добрі теплозахисні властивості. Більш досконаліми з теплотехнічної точки є панелі з гнучкими зв'язками, однак для їх влаштування необхідна арматура з нержавіючої сталі.

Здатним забезпечити нормований опір теплопередачі є тільки матеріал з об'ємною масою не вище 300 кг/м^3 (пінополістирол, мінеральна вата). Для монолітних будівель в якості утеплювача доцільно використовувати пінобетон або безавтоклавний газобетон, При об'ємній масі не менше 400 кг/м^3 з урахуванням несучого і огорожувального шару товщина стіни може бути не більше 500-600 мм, що є прийнятним.

Конструкція цегляної стіни будинку також повинна включати в себе теплоізоляційний шар. Звично в таких випадках виконують кі-льцеву кладку, яка екладається з двох повздовжніх стін, розташованих на відстані в половину цеглини одна від іншої і з'єднаних конструктивними зв'язками. Утворений між стінками простір заповнюють утеплювачем з мінеральної вати, пористої пластмаси, перлітовим піс-ком або легким керамзитовим гравієм. Щоб уникнути осідання утеплювача, висота безперервного ізоляційного шару не повинна бути більше одного метра, Для цього встановлюють жорсткі горизонталь-ні діафрагми, наприклад, з армованого цементно-піщаного розчину.

При утепленні існуючих будинків доводиться кріпити до стін додатковий теплоізоляційний шар (рис. 3.2), Його можна розташовувати із внутрішньої сторони стіни, однак при розташуванні теплоізоляції зовні будинку досягаються важливі переваги, якими нехтува-ти не можна. Головні з них:

- утеплюється вся поверхня стіни, разом з вузлами, що прилягають до перекриття, які при утепленні з внутрішньої сторони залишалися б теплопровідними включеннями;
- масивна частина стіни, що розташована до утеплення в зоні низьких температур, після реконструкції переміщується в теплу зону. Це зберігає її від передчасного руйнування, викликаного сезонними коливаннями температури і атмосферної вологи;
- підвищуються теплоакмуляційні властивості стін, в результаті чого тепловий комфорт усередині будинку повинен покращитися, і внутрішня температура буде меншою мірою реагувати на нестабільність теплового потоку від системи опалення або потоку в навколишнє середовище;
- утеплення проводиться без зменшення корисної площі будівлі;
- роботи по утепленню будівлі проводяться без порушення нормального життя його жильців, які при цьому не заважають проведенню робіт.

Незважаючи на ці переваги, у деяких випадках доводиться утеплювати стіни із внутрішньої сторони, наприклад, якщо утеплюється стара будівля, фасади якої являють собою архітектурну або історичну цінність. У таблиці 3.2 наведені енергетичні показники теплової ізоляції стін існуючих будинків.

Сьогодні багато фірм пропонують свої методи і матеріали для додаткового утеплення зовнішніх огорожень. Розрахунки показують [240], що при термінові окупності 15 років, існуючій ціні теплової енергії і банківських відсотках на кредит економічно доцільним є застосування додаткової ізоляції при її вартості не вище 30 дол./м². Таким умовам задовольняють зовнішні утеплювальні системи з полістиролом і штукатуркою, вентиляційні системи із застосуванням м'яких, напівжорстких, жорстких плитних утеплювачів, із застосуванням напиленого пінополіуретану.

Таблиця 3.2

Теплотехнічні показники реконструкції стін існуючих будівель з улаштуванням теплоізоляції

Матеріал стіни	До реконструкції			Після реконструкції			
	Товщина, см	Термічний пір, $\text{м}^2 \cdot \text{C}/\text{Вт}$	Теплові втрати, $\text{ГДж}/\text{м}^2 \cdot \text{рік}$	Товщина шару мінеральної вати, мм	Термічний пір, $\text{м}^2 \cdot \text{C}/\text{Вт}$	Теплові втрати, $\text{ГДж}/\text{м}^2 \cdot \text{рік}$	Економія, $\text{ГДж}/\text{м}^2 \cdot \text{рік}$
Кегла	38	0,63	0,48	50	1,69	0,18	0,30
				100	2,30	0,13	0,35
	51	0,79	0,38	50	1,62	0,19	0,19
				100	2,46	0,12	0,26
	64	0,95	0,32	50	1,78	0,17	0,15
				100	2,62	0,12	0,20
Керамзитобетон	30	0,89	0,34	50	1,72	0,18	0,16
				100	2,56	0,12	0,22
	35	1,01	0,30	50	1,85	0,16	0,14
				100	2,68	0,11	0,19

Перспективним напрямком в галузі енергозбереження є перехід на нові типи конструкцій огороження – самонесучі і навесні зовнішні стіни: дерев'яні з ефективними утеплювачами, металеві панелі сандвічі тощо.

Для малоповерхового будівництва та індивідуальних житлових будинків за кордоном достатньо широко застосовуються різні пінополістиролові блоки, що мають всередині порожнини, які залежно від кількості поверхів будинку армуються і заливаються сумішшю з цементу і піску, керамзитобетоном або важким бетоном. Стіна завтовшки 250 мм і щільністю 25-35 $\text{кг}/\text{м}^3$ забезпечує термічний опір 3 $\text{м}^2 \cdot \text{K}/\text{Вт}$.

Для багатоповерхового будівництва найбільше розповсюдження отримала система «Теплий будинок». Це комплексна будівельна система призначена для зовнішнього (фасадного) утеплення (теплового захисту) будівель і споруд (рис. 3.3).

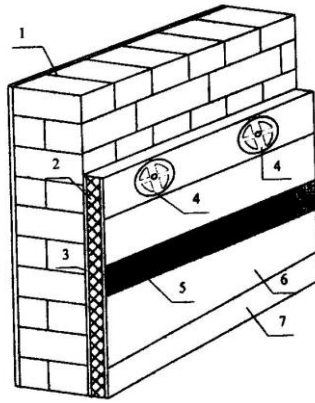


Рис. 3.3. Основні елементні шари:

1 – основа фасаду, що утеплюється; 2 – клейовий склад; 3 – плитний утеплювач; 4 – дюбелі; 5 – армуюча склосітка; 6 – вирівнювальний шар; 7 – декоративний шар

Переваги системи:

- економія на опаленні будинку за рахунок скорочення втрат теплоти;
- ефективний захист конструкцій будинку від дії зовнішнього середовища, довговічність і надійність при експлуатації;
- відповідає вимогам сучасного архітектурно-будівельного дизайну.

Вибір типу утеплювача і товщини його шару визначаються теплотехнічними розрахунками, виходячи з вимог, що пред'являються до опору теплопередачі огорожувальних конструкцій будинків з урахуванням кліматичних умов району будівництва і виконання протипожежних норм.

Заходи з підвищення енергоефективності систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря зводяться до наступного.

1. Застосування економічно доцільного опору теплопередачі зовнішніх огорожень при будівництві і додаткового утеплення зовнішніх стін при реконструкції будівель.

Захід призначено для збільшення опору теплопередачі зовнішніх стін і зниження теплових втрат будівлі за рахунок поліпшення його теплозахисних властивостей та застосування ефективних теплоізоляційних матеріалів.

Найбільш ефективний теплозахист стін із зовнішнього боку. Застосовують, як правило, наплення будь-якого утеплювача (розчину

пінопласту, пінополіуретану), або наклейку плиткового утеплювача (пінополістиролу), або оббивка теплоізоляційним матеріалом. Робота повинна виконуватися без порушення функціонування будівлі.

Перед нанесенням утеплюючих розчинів або наклейкою зовнішні поверхні стін очищають від пилу і бруду з наступним промиванням. Напилювання виконується шарами 1...2 см. Подальший шар наносять після затвердіння попереднього. Наклейку плит до стін виробляють клеєм ПВА або Бустілат. Потім кріплять до дюбелів сітку з осередками від 2 до 4 см з антикорозійним покриттям і наносять шар цементно-вапняної штукатурки. Через два дні поверхню покривають кремніорганічним складом або фарбують гідрофобною фарбою.

2. Будова вентильованих зовнішніх стін.

Захід призначений для підвищення рівня теплового захисту зовнішніх стін. У стінах поблизу зовнішньої поверхні влаштовують вертикальні щілинні канали шириною 2...3 см, через які під впливом природної тяги проходить зовнішнє повітря. У холодний період повітря нагрівається від внутрішньої стіни і подається в приміщення. У теплий період канали перекриваються заслінками і перетворюються на замкнуті повітряні прошарки, які збільшують термічний опір стіни і перешкоджають нагріванню огорожі. Висоту каналів зазвичай приймають в один поверх.

Складова вентильована теплоізоляція включає чотири елемента:

- теплоізоляція;
- кріплення;
- повітряний зазор;
- зовнішній облицювальний захисний шар.

Одне з можливих конструктивних вирішень складеної вентильованої ізоляції зовнішньої поверхні стін будівель, широко вживаних у ряді західноєвропейських країн під загальною назвою «Вентильовані фасади», представлено на рис. 3.4 [14].

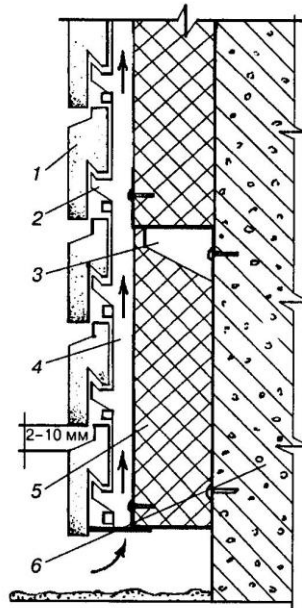


Рис. 3.4. Конструкція вентиляваного фасаду:
 1 – облицювання стіни; 2 – монтажна секція; 3 – елемент кріплення; 4 – вентиляційний зазор (ширина не менше 40 мм); 5 – теплоізоляція; 6 – стіна.

Теплоізоляційний матеріал (мінеральні плити або полістірол) кріпиться до стіни за допомогою дерев'яних або металевих деталей. Заздалегідь мають бути обстежені всі несучі конструкції будівлі, а виявлені тріщини і пошкодження мають бути усунені. Повітряний вентиляований простір не дозволяє волозі накопичуватися в конструкції. В якості зовнішнього облицювального вентиляваного шару використовуються керамічна плитка, облицювальний камінь (мармур і т. п.), гіпсокартонні облицювальні листи, листи з кольорових металів і інші матеріали. Теплоізоляція укладається також довкола вікон і дверей. Місця примикання торцевих стін, дахи і стики панелей мають бути ретельно теплоізолювані для запобігання утворенню теплопровідних включень (теплових містків). До недоліків складеної вентиляємої теплоізоляції можна віднести складність її виконання в місцях примикання даху і інших елементів несучих конструкцій, а також біля віконних і дверних отворів.

Енергозбереження досягається за рахунок повернення в приміщення частини теплоти, втраченої зовнішніми огороженнями у зимовий час і за

рахунок збільшення опору теплопередачі зовнішнього огороження при влаштуванні замкнутих повітряних прошарків влітку.

3. Тепловий захист зовнішньої стіни в місці установки опалювального приладу.

Захід призначено для зниження теплових втрат від зовнішніх огорожень (стіни), до яких прилягають опалювальні прилади.

Опалювальні прилади зазвичай встановлюються у зовнішніх огорожувальних стін. При цьому температура внутрішньої поверхні стіни за приладом вище, ніж в решті частини, що призводить до збільшення теплового потоку і є причиною підвищених теплових втрат через огорожі. При установці опалювальних приладів в ніші стінка за приладом тонше, а її опір теплопередачі менше, ніж у стіни без ніш, що ще більше збільшує втрати теплоти через огорожувальні конструкції.

Для зниження теплових втрат за рахунок променистого теплообміну необхідно встановити захист у вигляді екрану з низьким ступенем чорноти. Для зниження теплових втрат за рахунок теплопровідності необхідно встановити теплоізоляційний шар з низьким коефіцієнтом теплопровідності на ділянці всієї ніші зовнішньої стіни. Теплоізоляцію бажано розташовувати ближче до поверхні стіни.

4. Конструкція вентилярованих вікон.

Захід призначено для скорочення повітропроникності і збільшення опору теплопередачі віконних блоків. Зниження втрат теплоти здійснюється при використанні потрійних вентилярованих вікон. Можливо два варіанти таких вікон: примусове видалення повітря, що пройшло через вікна, в повітроводи витяжної природної вентиляції та видалення нагрітого повітря в атмосферу. Між стеклами можуть розташовуватися сонцезахисні жалюзі. Повітропроникність вікна так само скорочується.

У теплий період рухоме повітря охолоджує нагріті скла і палітурки, зменшуючи тепло надходження зовні всередину приміщення. У холодний період року через вентиляроване вікно проходить повітря, що видаляється з

приміщення, а вікно служить теплоізолятором від холодного зовнішнього повітря. Температура скла, зверненого до приміщення, підвищується, а теплові втрати через вікна знижуються. У холодний період року можливе утворення конденсату на зовнішньому склі за рахунок ефекту точки роси повітря, а для видалення конденсату передбачають спеціальні пристрої – конденсатовідвідники.

Енергозбереження досягається за рахунок збільшення опору теплопередачі, яке прямо пропорційно залежить від питомої витрати повітря, що проходить через вентиляований вікно.

5. Установка додаткового (потрійного) скління.

Захід призначено для скорочення повітропроникності і збільшення опору теплопередачі віконних блоків. Між стеклами можливо розташування сонцезахисних жалюзі, а на стеклах теплопоглинальних і тепловідбивним плівок.

Подвійні вікна в спарених і роздільних палітурках, які встановлюють до сих пір в масовому будівництві, мають малий опір теплопередачі, що призводить до дискомфорту в приміщенні і великим тепловим втратам. При реконструкції будівлі такі вікна можуть бути замінені на тришарові, а при відсутності необхідності в заміні палітурок може бути встановлений додатковий третій знімний палітурка, що закріплюється за допомогою фіксаторів. При спарених палітурках треті встановлюють з боку приміщення, а при роздільних - між рамами на внутрішньому палітурці.

6. Застосування теплопоглинального і тепловідбивального скління.

Захід призначено для скорочення теплонадходжень в приміщення від сонячної радіації, що призводить до комфорту в приміщеннях.

Теплопоглинальне скло в структурі має металеву основу, яка поглинає промені в інфрачервоному діапазоні випромінювання (теплові промені). Коефіцієнт пропуску віконним склом теплових променів складає 0,3...0,75.

При поглинанні сонячних і інфрачервоних променів скло нагрівається, його температура підвищується до 50...60 ° С, що призводить до утворення

природних висхідних конвективних потоків від нагрітих поверхонь скла і між стеклами. Теплова активність скління багато в чому залежить від кута падіння сонячних променів і товщини скла. Для відводу теплоти в літній час доцільно обдувати засклені поверхні повітрям. Теплопоглинальне скло слід встановлювати зовні віконного блоку.

Тепловідбивне скло покривають селективними або полімерними плівками на металевій основі, яка відображає промені в інфрачервоному діапазоні випромінювання (теплові промені). Коефіцієнт пропуску теплових променів у таких стекол становить 0,2...0,6. Скло монтується в одному пакеті з простим склом так, щоб відображає плівка знаходилася всередині пакету. Тепловідбивне скло слід встановлювати завжди зовні, при цьому внутрішнє просте скло (без плівки) нагрівається менше.

Найбільшу ефективність мають подвійні або потрійні скла з товщиною повітряного прошарку між ними 10...15 мм. У цьому випадку природна конвекція між стеклами дестабілізована, а повітряний прошарок служить теплоізолятором, так як передача теплоти через віконний блок здійснюється тільки за рахунок кондуктивної теплопровідності повітря. Застосовують і багат шарові тепловідбивні плівки, приклеюють до скла після закінчення робіт по склінню, і тоді вдається знизити пропуск теплових променів до 0,2.

У вечірній час плівка відображає в приміщення штучне світло. У холодний період року скло, що відображає зменшує теплові втрати через вікна. Застосування тепловідбивним стекол дозволяє знизити теплонадходження і витрати енергії на системи кондиціонування на 15 ... 20%.

Найкращі результати виходять при покритті скла золотом, що наноситься розпиленням при глибокому вакуумі. Товщина шару золота 0,1 ... 0,2 мкм. Таке скління дороге, але тільки золоту властиво селективне відображення інфрачервоних променів і хороша провідність видимих світлових променів.

РОЗДІЛ 4. ТЕПЛОВІ РЕЖИМИ В ПРИМІЩЕННІ ПРИ ПЕРЕРИВЧАСТОМУ ТЕПЛОНаВАНТАЖЕННІ НА СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ

4.1. Основні енергозберігаючі режими роботи системи опалення

1. Періодичний режим роботи системи опалення.

Періодичний режим роботи системи опалення застосовують у виробничих, цивільних, навчальних, спортивних, торгових, адміністративних будівлях, що використовуються для роботи неповну добу і дні тижня, в яких допускається зниження температури всередині приміщень у неробочий час. У режимі роботи системи опалення протягом доби спостерігаються три характерних проміжку часу:

- основний робочий режим, коли в приміщенні підтримуються задані параметри температури та вологості;
- черговий режим, коли після основного режиму система опалення переводиться на режим підтримки низької температури в приміщенні;
- режим форсованого нагріву приміщення, протягом якого система опалення переводиться на можливо швидкий розігрів приміщення після охолодження.

У приміщеннях спостерігається і тижневий цикл, коли у вихідні та святкові дні протягом повних діб може підтримуватися черговий режим опалення та знижена температура в приміщенні. Для підтримки чергового режиму використовується водяне опалення, яке виконує функцію підтримки мінімального рівня температури. Але в результаті деякого охолодження приміщення знижується не тільки температура внутрішнього повітря, але і температура огорожень.

Підігрів огорожень і внутрішнього повітря до початку нового робочого дня вимагає часу і додаткової потужності. Тривалість і темп нагріву приміщення залежать від: термічного опору зовнішніх огорожень, що впливає на зниження температури в неробочий час; теплової активності

огороджувальних конструкцій до теплового впливу; інтенсивності тепловіддачі від джерела системи опалення до внутрішнього повітря приміщень і від повітря до поверхні огорожень; температурного напору в черговому і робочому режимі, а також перепаду температур зовнішнього повітря. Нагрівання приміщень повинно здійснюватися форсовано з високим темпом, з більшою потужністю, на відміну від опалення в робочому режимі, тому що теплота в режимі нагріву витрачається на заповнення теплових втрат і розігрів огорожень і повітря до необхідного рівня.

Найбільш гнучким режимом експлуатації служить комбінована система опалення. Вона складається з базової системи водяного опалення та додаткової системи повітряного опалення. Повітряне опалення поєднується з припливною вентиляцією і в режимі форсованого нагріву працює в режимі повної рециркуляції повітря.

Робота систем періодичного опалення піддається автоматизації та програмного управління підтримання розрахункового режиму. На випадок несподіваного різкого зниження температури зовнішнього повітря в контрольних приміщеннях встановлюють датчики допустимої мінімальної температури внутрішнього повітря. По сигналу від них включається система опалення в додатковому режимі.

Економія енергії тим більше, чим триваліший період охолодження. Для зменшення тривалості форсованого нагрівання слід збільшити теплотривкість огорожень, максимально інтенсифікувати тепловіддачу до огорож, застосовуючи, наприклад, направлені струмені повітряного опалення або використовуючи джерела променевої енергії (випромінювачі), спрямовані на охолодження.

2. Опалення приміщень теплотою рециркуляційного повітря.

Теплоту рециркуляційного повітря рекомендується використовувати для виробництв, в яких допускається рециркуляція повітря, а також при температурі повітря у верхній зоні більше 30°C і подачі повітря на відстань не більше 15 м. Нагріте повітря забирається з верхньої зони виробничого

приміщення, очищається від пилу і вентилятором по повітропроводам нагнітається в припливне насадок (циліндричної або щілинної форми). Енергозбереження забезпечується за рахунок утилізації теплоти повітря, що видаляється.

3. Системи повітряного опалення.

Системи повітряного опалення застосовують для житлових, громадських, виробничих, сільськогосподарських будівель і споруд, а також готелів, в яких функція опалення поєднується з вентиляцією.

В системі повітряного опалення можлива повна або часткова рециркуляція повітря.

Повітря для опалення нагрівається в калориферах або повітропідігрівника гарячою водою, парою, гарячим повітрям або іншим теплоносієм. Процес тепломасообміну може здійснюватися двома шляхами: 1) нагріте повітря по спеціальних каналах через повітророзподільні решітки надходить в приміщення і змішується з внутрішнім повітрям, 2) нагріте повітря переміщається у внутрішніх каналах, що оточують приміщення, нагріваючи при цьому стінки приміщення, теплота від яких передається внутрішньому повітрю приміщення. Для повторного нагрівання або викидається частково в атмосферу, коли температура повітря в приміщенні висока. Таким чином, система повітряного опалення може бути з повною рециркуляцією, коли повітря повністю повертається для повторного нагріву, або частковою рециркуляцією, коли повітря частково викидається в атмосферу і частково повторно нагрівається. Системи повітряного опалення фактично є комбінованими системами опалення та вентиляції.

Переваги систем повітряного опалення: забезпечення рівномірності температури за обсягом приміщення, можливість очищення і зволоження повітря, відсутність опалювальних приладів у приміщенні. Недоліки систем повітряного опалення: великі поперечні перерізи повітроводів в порівнянні з трубами водяного і парового опалення, менший радіус дії в порівнянні з тими ж системами, втрати теплоти при недостатній теплоізоляції повітроводів.

Для зниження енергетичних витрат на підігрівання зовнішнього повітря можливе використання регенеративних теплообмінників, що дозволяють утилізувати теплоту гарячого витяжного повітря. У системах повітряного опалення скорочуються втрати теплоти за рахунок відсутності радіаторних ніш – ділянок зовнішніх огорожень, що мають місце у водяних і парових системах опалення.

Енергозбереження при застосуванні повітряного опалення досягається і за рахунок автоматизації системи при малої теплоємності повітря, а також за рахунок можливого підтримки в неробочий час у приміщенні нижчої температури повітря і швидкому нагріванні приміщення перед початком робочого дня.

4. Періодичний режим роботи систем вентиляції та кондиціонування повітря.

Періодичні режими роботи систем вентиляції та кондиціонування повітря застосовують для стабілізації температури, вмісту вологи і газового складу повітря. Вони найбільш ефективні при обслуговуванні приміщень великого об'єму в громадських будівлях зі змінним заповненням (зорові, торгові, спортивні зали, зали очікування), де одночасно змінюються температура, вологість і склад повітря (вміст вуглекислого газу і кисню).

Зниження енергоспоживання системами вентиляції і кондиціонування повітря забезпечується зміною витрати повітря необхідних параметрів, застосуванням складних і дорогих повітророзподільників, використанням досконалих методів регулювання роботи вентилятора, складної системи автоматизації.

Альтернативним способом регулювання систем може служити періодичне вентилявання приміщень залежно від стану повітря приміщення, чим і забезпечується економія електричної та теплової енергії. Тривалість перерви залежить від кратності повітрообміну, об'єму приміщення, складу повітря. Функціональні схеми автоматичного управління контролюють концентрацію вуглекислого газу, зміни вологості і температури повітря.

5. Конструкції повітряних завіс.

Повітряні завіси встановлюють при вході, у відкритих прорізів у громадських та промислових будівлях і спорудах, цехах, торгових центрах, магазинах, в багатоповерхових житлових будинках при часто відкриваються вхідних дверях або зі значними за площею воротами. Захід спрямований на зниження витрат теплоти на нагрівання повітря, що надходить через входи, в'їзди і отвори.

Застосовують комбіновані повітряно-теплові завіси з тамбуром і без нього, а забір повітря здійснюється з приміщення або зовні.

Повітряна завіса складається з двох, симетрично розташованих пар, вертикальних повітророзподільних стояків, встановлених всередині приміщення. Внутрішня пара стояків, розташована ближче до приміщення, подає підігріте (до 60 °С) в калориферах повітря, а зовнішня пара стояків подає невідігріте повітря, що забирається з приміщення. При закритих воротах зовнішня пара стояків відключається, а внутрішня завіса працює в режимі опалення. При відкриванні воріт до роботи підключається і зовнішня пара стояків.

Енергозбереження досягається за рахунок зниження потреби в теплоті на нагрів припливного повітря та витрат електроенергії на її переміщення.

6. Система опалення приміщень із застосуванням газових інфрачервоних випромінювачів.

Система призначена для обігріву постійних і тимчасових робочих місць виробничих і допоміжних приміщень; приміщень і конструкцій на відкритих і напіввідкритих майданчиках в процесі будівництва будівель та споруд; систем сніготанення, на покрівлях будинків і споруд. Опалювальними приладами служать пальники інфрачервоного випромінювання. У пальнику використовується газ низького тиску з попереднім змішуванням газу і повітря, а температура випромінюючої поверхні досягає приблизно 850 °С. При такій температурі близько 60% теплоти, що виділяється при згоранні газу, передається випромінюванням у вигляді інфрачервоних (теплових) променів.

Розміщення пальників в приміщенні або на відкритому майданчику, число їхніх лав, відстань між пальниками в ряду, висоту їх підвіски над підлогою, кут нахилу пальників, визначається виходячи з норм опромінення та типу пальників.

7. Панельно-променеві системи опалення.

Найбільш широко застосовують підлогове опалення та його різновид – „теплу підлогу”, де використовують теплоносій з температурою нижче 60 °С. Приведене значення орієнтовно і потребує уточнення при застосуванні обладнання того чи іншого виробника. Окрім того, така градація пов’язана з тим, що автоматика сучасних індивідуальних котлів відслідковує чотири контури теплоспоживання за максимальними температурами – для басейну, гарячого водопостачання, підлогової та основної систем опалення. Високотемпературні системи традиційно використовуються за їх призначенням.

4.2. Аналіз теплових режимів приміщення

Проаналізуємо такі випадки.

1. Початкові температури стін та повітря - різні. Причому температура повітря приміщення була менше температури контуру.

Цей випадок наведено на рис. 4.1.

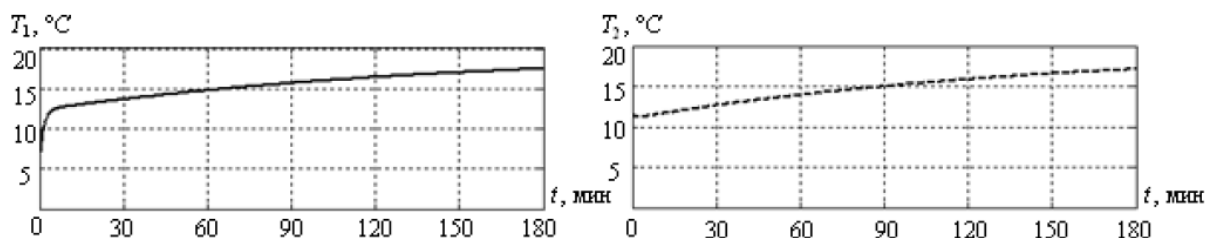


Рис. 4.1. Залежності температури повітря T_1 і температури опалювального контуру T_2 від часу

2. Другий випадок – початкові температури контуру і повітря однакові.

Отримані криві для різних значень початкових температур наведено на рис. 4.2.

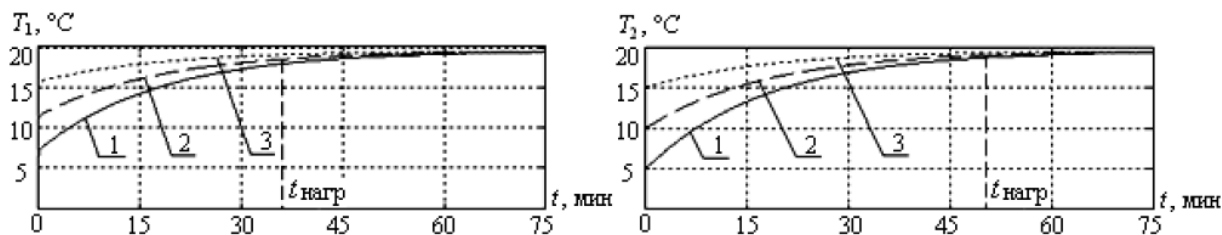


Рис. 4.2. Залежності температури повітря T_1 і температури контуру T_2 від часу при зміні початкових умов:

$$1 - T_{\text{нач}} = 5 \text{ } ^\circ\text{C}, 2 - T_{\text{нач}} = 10 \text{ } ^\circ\text{C}, 3 - T_{\text{нач}} = 15 \text{ } ^\circ\text{C}$$

На рис. 4.2 зображено залежності експоненціального характеру з фазою швидкого наростання температури повітря та більш повільного наростання температури контуру.

Обидві залежності приходять до стаціонарного режиму через деякий час. Цей час перехідного процесу саме по собі є дуже важливою характеристикою, оскільки дозволяє врахувати інерційність нагрівання або охолодження приміщення.

Введемо поняття параметра «час нагрівання». Під цим часом будемо розуміти відрізок часу, протягом якого температура змінюється наступним чином: $0,99 \cdot (T_{\text{стац}} - T_0) + T_0$. У нашому випадку час нагрівання повітря приміщення становить 36 хв., для контуру – 50 хв. при початкових температурах контуру і повітря $10 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Наступним етапом було дослідження процесів остигання. У цьому випадку в стаціонарному стані температури повітря та контуру мали максимальні значення. Змінювалося значення температури батареї, при цьому інші параметри залишалися постійними. В результаті температура приміщення падала, тобто відбувалося охолодження.

Характерні залежності наведені на рис. 4.3.

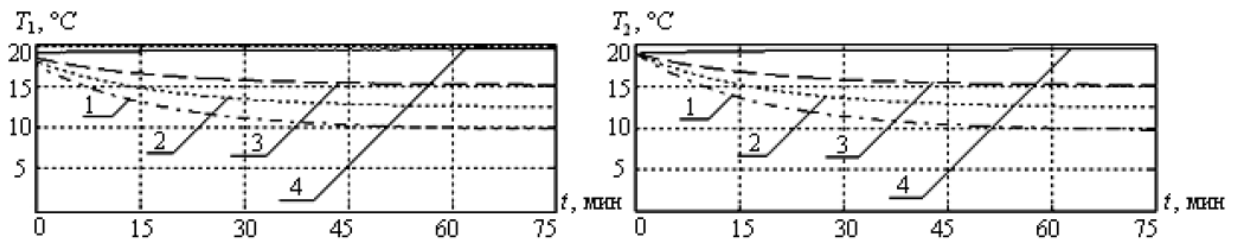


Рис. 4.3. Залежності температури повітря T_1 і температури контуру T_2 від часу при охолодження:

$$1 - T_{\text{ict}} = 30 \text{ } ^\circ\text{C}, 2 - T_{\text{ict}} = 35 \text{ } ^\circ\text{C}, 3 - T_{\text{ict}} = 40 \text{ } ^\circ\text{C}, 4 - T_{\text{ict}} = 48 \text{ } ^\circ\text{C}$$

На рис. 4.3 можна спостерігати різну поведінку кривих для повітря приміщення і контуру, але ці залежності мають однаковий експонентний характер. Швидкість остигання буде різною. Тут також можна ввести поняття часу остигання, яке визначається таким чином: $T_0 - (0,99 - T_{\text{стац}})$. У нашому експерименті отриманий час остигання становить для повітря – 34 хв., для контуру – 45 хв. при значенні температури батареї 30 °С.

Отримані результати можна використовувати як для моніторингу, так і для автоматизування управління тепловим станом приміщення.

Як приклад розглянемо випадок, коли температурний режим на підприємстві має дві фази (рис. 4.4):

1-а робоча фаза – робочий час з 8 годин ранку до 8 год. вечора;

2-а фаза очікування – їй відповідає своя температура очікування, і ця фаза розповсюджується на інші 12 год. доби.

Протягом першої фази у нас працює модель нагрівання приміщення, коли після режиму очікування система спочатку нагрівається, а потім переходить в робочий стан.

Якщо система включається в 7 годин ранку, то за час нагріву $t = 36$ хв. вона виходить на стаціонарний стан. Протягом робочого дня вона підтримується в стаціонарному стані і десь о 19.00 год. переходить у стан, коли температура батареї істотно знижується, і протягом часу остигання $t = 34$ хв. вона переходить в інше стаціонарний стан, коли температура в приміщенні стає помітно нижче.

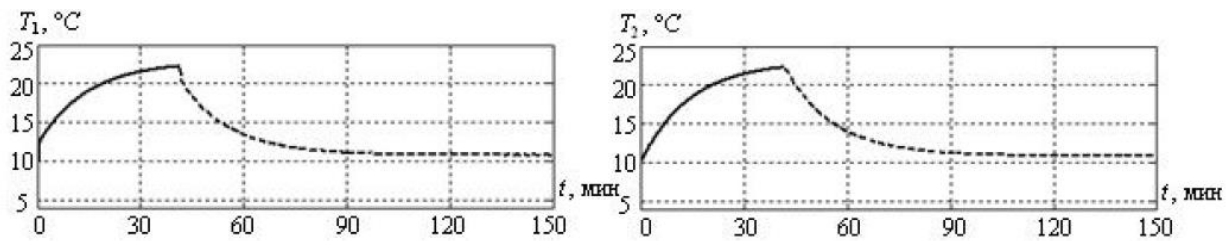


Рис. 4.4. Дві фази температурного режиму для температур повітря T_1 і T_2 контуру

Наведені розрахунки показують, що економія енергії при застосування двохфазного режиму складає 27%.

4.3. Мінімізація витрат енергії при переривчастому режимі опалення

Для більшості сучасних будівель (адміністративних будівель, шкіл, житлових будівель, театрів, кінотеатрів, ряду виробничих будівель і т.д.) допускається зниження температури внутрішнього повітря нижче нормативного значення протягом частини доби, у вихідні та святкові дні з метою економії енергії, що витрачається на їх теплопостачання. Такий режим опалення, коли температура внутрішнього повітря знижується на деякий період часу нижче нормативного значення, називається «переривчастим». Подібна ситуація може мати місце також при аваріях, коли припиняється подача тепла в приміщення.

Враховуючи велику практичну значимість «переривчастого» режиму опалення, в літературі цьому явищу приділено значну увагу [8]. Проте всі відомі рішення ставили за мету дослідження зміни температури внутрішнього повітря в залежності від теплоінерційних показників огорожувальних конструкцій та режиму подачі тепла в приміщення. Необхідно встановити такий оптимальний режим «переривчастого» опалення, при якому витрата теплоти був би мінімальним.

Розглянемо процес «переривчастого» режиму опалення як сукупність чотирьох взаємопов'язаних періодів з характерними умовами подачі теплоти:

1. Стаціонарний період, при якому в приміщенні забезпечуються нормативні теплові показники.

2. Період охолодження як проміжок часу, протягом якого температура внутрішнього повітря знижується до мінімально допустимого значення.

3. Період, при якому в приміщенні забезпечується підтримання мінімально допустимих теплових показників.

4. Період «натопу» як проміжок часу, протягом якого тепловий режим приміщення досягає вихідного стаціонарного стану з нормативними тепловими показниками.

Відповідно періодам зміни подачі теплоти в приміщення мають місце періоди зміни температури внутрішнього повітря. Схематично процес зміни температури повітря в приміщенні при «періодичному» режимі опалення представлений у вигляді графіка (рис. 4.5).

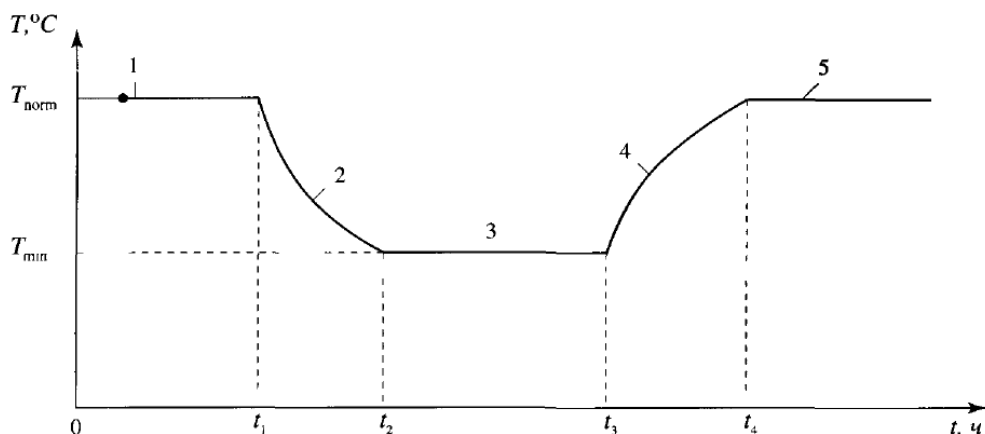


Рис. 4.65 Приблизний графік зміни температури внутрішнього повітря при «переривчастому» режимі опалення:

t_1 – момент часу зменшення або припинення подачі теплоти в приміщення, t_2 – момент часу, починаючи з якого в приміщенні забезпечується підтримання мінімально допустимої температури внутрішнього повітря, t_3 – момент часу початку «натопа» приміщення, t_4 – момент часу «виходу» теплового режиму приміщення на вихідний стаціонарний стан з нормативними тепловими показниками, $T_{\text{норм}}$, $T_{\text{мін}}$ – відповідно, нормативне і мінімально допустиме за санітарно-гігієнічним або технологічним вимогам значення температури внутрішнього повітря

Максимальна економія енергії досягається при мінімізації часу «натопу». Мінімізація часу «натопу» досягається при виконанні двох основних умов:

- подача теплоти в приміщення з використанням всієї наявної в резерві встановленої потужності джерела;
- «правильна» організація схеми системи опалення в період «натопу».

Якщо перша умова не потребує коментарів, то друге вимагає серйозних роз'яснень.

Перш за все, визначимо тут поняття «організація схеми системи опалення» в період «натопу» як систему розподілу енергії по приміщенню.

Для мінімізації часу «натопу» необхідно забезпечити, перш за все, і як можна швидше, нагрів найбільш теплоємних складових в рівнянні теплового балансу. В даному випадку такими є огороджувальні конструкції та обладнання (меблі).

Таким чином, «правильна» організація схеми системи опалення в період «натопу» означає такий розподіл енергії по приміщенню, при якій в першу чергу забезпечується розігрів до нормативних значень найбільш теплоємних елементів приміщення. Ця умова необхідна, але не достатня для повної оптимізації процесу.

Оптимальна організація схеми системи опалення потребують рішення спеціальної оптимізаційної задачі.

Можна припустити, що «правильна» організація системи опалення – це використання комбінації різних систем опалення, наприклад, повітряного і водяного опалення, або повітряного опалення і променисто-конвективного підігріву поверхонь внутрішніх огороджувальних конструкцій, або повітряного опалення струменями на внутрішні поверхні огороджувальних конструкцій і т.п.

В роботі [] були проведені чисельні дослідження витрат теплоти залежно від схеми організації системи опалення в період «натопу» і

теплоакмуляційних показників огорожувальних конструкцій. Площа приміщення – 24 м², обсяг – 72 м³ з двома зовнішніми огорожувальними конструкціями і вікном з подвійним склінням площею 3 м².

Розглянуті три варіанти зовнішніх огорожувальних конструкцій:

- цегляна кладка товщиною 0,56 м, коефіцієнт теплосвоєння 8,02 Вт/(м²·°С);
- керамзитобетонні панелі товщиною 0,23 м, коефіцієнт теплосвоєння 3,36 Вт/(м²·°С);
- панель типу "сендвіч" з утеплювачем з плиткового пінопласту з обшивкою з двох сторін металевими листами, товщина панелі 0,052 м, коефіцієнт теплосвоєння 0,77 Вт/(м²·°С);

Всі обрані огорожувальні конструкції мають однакове термічний опір.

Кратність повітрообміну прийнята 3 год⁻¹, температура зовнішнього повітря – мінус 5 °С.

Температура внутрішнього повітря і температура внутрішніх поверхонь огорожувальних конструкцій в момент початку «натопу» дорівнює 10 °С.

Нормативні значення температури внутрішнього повітря 22 °С, температури внутрішніх поверхонь огорожувальних конструкцій 14 °С.

Щоб забезпечити мінімізацію часу розігріву при «натопу» приміщення була прийнята комбінована система опалення: у звичайному режимі тепловий режим приміщення забезпечується повітряною системою опалювання, «натоп» забезпечується конвективними тепловими струменями, які настеляються на внутрішні поверхні огорожувальних конструкцій. Інтенсивність конвективного теплообміну між повітрям і внутрішніми поверхнями огорожувальних конструкцій відповідала наступним трьом значенням коефіцієнтів конвективного теплообміну: $h_{c1} = 3,5$ Вт/(м²·°С) звичайний режим конвективного теплообміну; $h_{c2} = 0,5$ Вт/(м²·°С) – режим конвективного теплообміну «слабкими» настеляються струменями; $h_{c3} = 21$ Вт/(м²·°С) – режим конвективного теплообміну «інтенсивними» струменями.

Аналіз отриманих даних дозволяє зробити наступні висновки:

1. Економія теплоти при використанні огорожувальних конструкцій з теплоакмуляційними показниками (коефіцієнт теплосвоєння) у 2,4 рази менше базового варіанту (цегляна кладка) становить 40%, а в 10,4 рази – 55-62%. При цьому час «натопу» зменшується в середньому відповідно в 3,8 і 16 разів.

2. Економія теплоти при «натопі» приміщення за рахунок збільшення інтенсивності конвективного теплообміну в 3 рази в порівнянні з базовим варіантом досягає 64-70%, а при збільшенні в 6 разів – 88%. При цьому час «натопу» зменшується в середньому в 3 рази.

Таким чином, при «переривчастому» режимі опалення з метою забезпечення мінімізації витрат теплоти необхідно керуватися наступними правилами:

1. У період «натопу» приміщення необхідно «правильно» організувати схему системи опалення, тобто:

- починати «натоп» з розігріву теплоємних огорожувальних конструкцій;
- використовувати такі способи розподілу теплоти по приміщенню, щоб мінімізувати час розігріву теплоємних огорожувальних конструкцій;
- використовувати всю наявну в резерві встановлену потужність системи опалення.

2. При відсутності обмежень на мінімально допустимі теплові показники приміщення здійснювати природне охолодження приміщення до моменту часу початку «натопу».

РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧИХ ЗАХОДІВ З ТЕРМОМОДЕРНІЗАЦІЇ БУДІВЛІ НАВЧАЛЬНОГО КОРПУСУ №2 ТАРАЦАНСЬКОГО КОЛЕДЖУ

В розділі наводяться результати розрахунків рівня енергоефективності від впровадження заходів по термомодернізації будівлі навчального корпусу №2, а саме: утеплення зовнішніх огорожувальних конструкцій та заміни вікон на сучасні склопакети.

Існуюча будівля навчального корпусу №2 представляє собою чотириповерхову будівлю площею (за зовнішніми замірами) 1354 м^2 та об'ємом 16248 м^3 .

Зовнішні несучі огорожувальні конструкції є неутепленими і виконані кладкою у 1,5 звичайні цеглини загальною товщиною $\sim 400 \text{ мм}$ із зовнішньою та внутрішньою штукатуркою

Вікна будівлі представляють конструкції з дерев'яними рамами і подвійним склінням.

Підлога та горищне перекриття утеплені теплозахисними шарами з мінеральної вати.

Вихідні дані для розрахунку теплової потужності існуючої будівлі:

- район розташування будинку (табл. 1.3);
- геометричні параметри будівельної споруди (табл. 1.1).

В магістерській роботі виконуються два варіанти розрахунку теплової потужності будівлі навчального корпусу №2

- базовий – існуючої будівлі до термомодернізації;
- проєктований – після впровадження заходів по термомодернізації будівлі навчального корпусу.

5.1. Визначення теплової потужності існуючої будівлі до термомодернізації

Вирішення питання про доцільність впровадження енергоефективного теплового обладнання базується на комплексному техніко-економічному аналізі багатьох факторів, в першу чергу, теплової ефективності зовнішніх огорожень існуючої будівлі. Розрахунок теплонавантаження існуючої будівлі, проведений в повному обсязі, дозволяє не тільки прийняти правильні рішення про вибір конкретного теплогенеруючого обладнання, а й зіставити основні складові теплотехнічного комплексу реконструйованої будівлі з діючими нормативними показниками енергоефективного впровадження матеріалів та устаткування.

Згідно норм проектування систем опалення [28] розрахунок теплових втрат приміщень житлового будинку виконуємо за параметром B для холодного періоду року (табл. 1.3).

Температуру внутрішнього повітря вибираємо в залежності від соціального призначення будівлі.

Розрахункові теплові втрати будівлі Q_1 , кВт, визначаються за формулою [12]:

$$Q_1 = Q_a + Q_v, \quad (5.1)$$

де Q_a , кВт – теплові втрати через огорожувальні конструкції; Q_v кВт – теплові втрати на нагрів інфільтраційного повітря.

Теплові втрати $Q_{т.втр.}$, кВт, розраховуються для кожної огорожувальної конструкції приміщення за формулою

$$Q_a = \frac{1}{R} \cdot A \cdot (t_s - t_o) \cdot (1 + \sum \beta) \cdot n \cdot 10^{-3}, \quad (5.2)$$

де

A , м² – площа поверхні огорожувальної конструкції;

R , (м²·°C)/Вт – термічний опір конструкції;

t_e, t_o – розрахункові температури внутрішнього та зовнішнього повітря;

n – коефіцієнт, який залежить від положення зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції по відношенню до зовнішнього повітря; визначається за даними [12];

β – додаткові теплові втрати (у відсотках до основних теплових втрат), які враховуються для зовнішніх вертикальних та похилих поверхонь згідно таблиці 3 [14].

Термічний опір огороження R , $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$, визначається для кожної конструкції як сума

$$R = R_3 + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + R_6, \quad (5.3)$$

де

R_3, R_6 , $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ – термічні опори тепловіддачі від зовнішньої та до внутрішньої поверхонь конструкції;

δ_i , м – товщина прошарку; λ_i , $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ – теплопровідність матеріалу прошарку;

n – кількість прошарків у будівельній конструкції.

Втрати теплоти через неутеплену підлогу визначаються за окремими зонами – смугами шириною 2 м, паралельними зовнішнім стінам.

Сумарні втрати через підлогу Q_n , кВт, розраховуються за формулою

$$Q_n = \sum_{i=1}^n \frac{F_i}{R_i} (t_e - t_o) \cdot 10^{-3}, \quad (5.4)$$

де

F_i , м^2 – площа однієї зони;

R_i , $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$ – опір теплопередачі відповідних зон;

для першої зони $R = 2,1$ $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$, для другої – $R = 4,3$ $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$, для третьої –

$R = 8,6$ $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$, для решти підлоги – $R = 14,2$ $(\text{м}^2 \cdot \text{°C})/\text{Вт}$;

n – кількість зон.

Теплові втрати $Q_{в.}$, кВт, розраховуються для кожного приміщення з вікнами за формулою

$$Q_{в.} = 0,337 \cdot A_{п} \cdot h \cdot (t_{в.} - t_{о.}) \cdot 10^{-3}, \quad (5.5)$$

де $A_{п}$, м² – площа підлоги приміщення; h , м – відстань від підлоги до стелі.

Теплотехнічні характеристики та конструктивні особливості зовнішніх стін, підлоги та дахового перекриття існуючої будівлі до термомодернізації наведені, відповідно, в таблицях 5.1-5.3.

Вихідні дані для розрахунку теплових втрат будівлі (базовий варіант):

- загальна площа зовнішніх стін – 1100 м²;
- опір теплопередачі зовнішніх стін – $R = 0,787$ (м²·К)/Вт;
- загальна площа вікон – 240 м²;
- опір теплопередачі вікон – $R = 0,385$ (м²·К)/Вт;

Таблиця 5.1

Теплотехнічні характеристики зовнішніх стін (існуюча будівля)

Символ	d , мм	Опис матеріалу	λ , Вт/(м·К)	ρ , кг/м ³	R , (м ² ·К)/Вт
Стіна зовнішня 41 см					
Тип огороження, Стіна зовнішня, вологісний режим нормальний					
Штукатурка-Ц	0.015	Штукатурка цементно-вапняна	0.820	1850	0.018
Цегла дирчаста	0.120	Кладка із цегли дирчастої	0.620	1400	0.194
Цегла дирчаста	0.240	Кладка із цегли дирчастої	0.620	1400	0.387
Штукатурка-Ц	0.015	Штукатурка цементно-вапняна	0.820	1850	0.018
Опір теплообміну внутр. $R_{в.}$:					0.130
Опір теплообміну зовн. $R_{н.}$:					0.040
Опір теплопередачі R :					0.787
Коефіцієнт теплопередачі k , (Вт/м ² ·К):					1.270

Таблиця 5.2

Теплотехнічні характеристики підлоги (існуюча будівля)

Символ	d , мм	Опис матеріалу	λ , Вт/(м·К)	ρ , кг/м ³	R , (м ² ·К)/Вт
<u>Підлога на ґрунті І зона</u>					
Тип огороження: Підлога на ґрунті 1 зона, вологісний режим нормальний					
Дуб	0.025	Деревина дубу поперек волокон	0.220	800	0.114
Бетон-1900	0.050	Бетон тяжкий, заповнення із природного каміння	1.000	1900	0.050
Мінвата	0.060	Мінвата, вкладена щільно	0.052	30	1.500
Рубероїд	0.003	Рубероїд	0.180	1.000	0.017
Бетон-1900	0.100	Бетон тяжкий, заповнення із природного каміння	1.000	1900	0.100
Пісок-СР	0.100	Пісок середній	0.400	1650	0.250
Опір ґрунту разом із опорами теплообміну:					0.500
Опір теплопередачі R :					2.500
Коефіцієнт теплопередачі k , (Вт/м ² ·К):					0.396

Таблиця 5.3

Теплотехнічні характеристик горищного перекриття (існуюча будівля)

Символ	d , мм	Опис матеріалу	λ , Вт/(м·К)	ρ , кг/м ³	R , (м ² ·К)/Вт
<u>Горищне перекриття</u>					
Тип огороження: Горищне перекриття вентилюєме, вологісний режим нормальний					
Рубероїд	0.005	Рубероїд	0.180	1000	0.028
Сосна	0.025	Деревина сосни поперек волокон	0.160	550	0.156
Опір повітряного прошарку горищного перекриття середньої товщини 150 мм					0.160
Скоректована сума опорів повітряного прошарку і скату криши					0.172
Мінвата	0.050	Мінвата, вкладена щільно	0.052	30	0,962
ІЕР-ЗБ-22	0.220	Перекриття залізобетонне Жерац 22			0.180
Штукатурка-Ц	0.015	Штукатурка цементно-вапняна	0.820	1850	0.018
Опір теплообміну внутр. $R_{в}$:					0.100
Опір теплообміну зовн. $R_{н}$:					0.040
Опір теплопередачі R :					1.472
Коефіцієнт теплопередачі k , (Вт/м ² ·К):					0.679

Розрахунки за формулами (5.2)-(5.4) дають такі результати теплових втрат огорожувальними конструкціями не утепленої будівлі:

- стіни – 50 кВт;
- вікна – 34,9 кВт;
- підлога – 26,0 кВт;
- стеля – 37,0 кВт;

Загальні теплові втрати огорожувальними конструкціями будівлі (базовий варіант) складають величину

$$Q_{\text{т.втр}} = 147,9 \text{ кВт.}$$

Результати розрахунків свідчать, що теплозахисний стан існуючих зовнішніх конструкцій (найбільш відповідальних в балансі теплових втрат споруди) не відповідають діючим в Україні нормам з енергоощадження: відповідний діючий нормативний показник для кліматичної зони Таращанського району дорівнює $R_o^{\text{норм}} \cong 4,0 \text{ (м}^2\cdot\text{К)/Вт}$, тобто, практично в 5 рази більший за аналогічний показник існуючої проектованої будівлі.

Такий теплозахисний стан зовнішніх конструкцій обумовлює, відповідно, й завищений рівень теплової потужності системи опалення споруди в цілому.

5.2. Визначення теплової потужності будівлі після термомодернізації

В рамках термомодернізації існуючої будівлі в магістерській роботі приймаються наступні рішення:

- утеплення зовнішніх огорожувальних конструкцій шляхом нанесення теплозахисного покриття на зовнішній поверхні стін; тип утеплювача – пінополістирол, товщина теплозахисного покриття $\delta = 150 \text{ мм}$.

- заміна старих вікон з подвійним склінням ($R_{\text{скл}} = 0,38 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$) на сучасні термопластикові вікна: подвійний склопакет, відстань між склом 10 мм, енергозберігальне скло з нанесенням твердого відзеркалюваного покриття, заповнення повітрям; опір теплопередачі $R_{\text{скл}} = 0,60 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$.

Теплотехнічні характеристики пінополістиролу, який вкладений щільно:

- густина ρ , кг/м^3 - 60;
- теплопровідність у сухому стані λ , $\text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$ – 0,004.

Теплотехнічні характеристики та конструктивні особливості зовнішніх стін будівлі після нанесення теплоізоляційного шару з пінополістиролу товщиною $\delta_2 = 150$ мм наведені в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4

Теплотехнічні характеристики зовнішніх стін
(після нанесення теплоізоляційного шару з пінополістиролу товщиною 150 мм)

Символ	d , мм	Опис матеріалу	λ , $\text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$	ρ , кг/м^3	R , $\text{(м}^2 \cdot \text{К)/Вт}$
Стіна зовнішня					
Тип огороження, Стіна зовнішня, вологісний режим нормальний					
Штукатурка-Ц	0.015	Штукатурка цементно-вапняна	0.820	1850	0.018
Цегла дирчаста	0.120	Кладка із цегли дирчастої	0.620	1400	0.194
Цегла дирчаста	0.240	Кладка із цегли дирчастої	0.620	1400	0.387
Пінополістірол	0,100	Пінополістірол, вкладений щільно	0,040	30	3,750
Штукатурка-Ц	0.015	Штукатурка цементно-вапняна	0.820	1850	0.018
Опір теплообміну внутр. $R_{\text{в}}$:					0.130
Опір теплообміну зовн. $R_{\text{н}}$:					0.040
Опір теплопередачі R :					4.537
Коефіцієнт теплопередачі k , $\text{(Вт/м}^2 \cdot \text{К)}$:					0.304

Розрахунки за формулами (5.2)-(5.4) дають такі результати теплових втрат огорожувальними конструкціями після утеплення зовнішніх стін будівлі:

- стіни – 12,2 кВт;
- вікна – 19,3 кВт;
- підлога – 26,0 кВт;
- стеля – 37,0 кВт;

Загальні теплові втрати огорожувальними конструкціями будівлі після утеплення зовнішніх стін складають величину

$$Q_{\text{т.втр}} = 94,5 \text{ кВт.}$$

Таким чином, порівняльний аналіз результатів теплового розрахунку будівлі до і після модернізації показує:

- після утеплення зовнішніх стін будівлі пінополістиролом товщиною 150 мм тепловий опір збільшився в ~ 5,5 разів і становить величину $R_o^{\text{ут}} \approx 4,5 \text{ (м}^2 \cdot \text{К)/Вт}$, тобто, запропоновані заходи дозволяють довести теплозахисний стан зовнішніх стін до нормативних значень;

Заміна старих вікон з подвійним склінням на сучасні подвійні склопакети призводить до зменшення теплових втрат вдвічі до величини 17,5 кВт.

Таким чином, після впровадження заходів термомодернізації будівлі навчального корпусу №2 (утеплення зовнішніх стін та встановлення подвійних склопакетів) теплові втрати зменшилися практично в 1,7 рази і становлять величину

$$Q_{\text{т.втр}}^{\text{т.мрд}} = 94,5 \text{ кВт.}$$

РОЗДІЛ 6. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЄКТУ

6.1. Оцінка економічної ефективності інноваційних (термореноваційних) заходів енергозбереження в житлових будинках

У традиційному будівництві до 1940 р. не застосовувались теплоізоляційні матеріали, а тепловою ізоляцією в зовнішніх стінах була сама стіна. Тільки в 70-ті роки впроваджено поняття коефіцієнта теплопередачі і сформульовані вимоги до теплової ізоляції. Вимоги ці стосувалися запобігання конденсації водяної пари на внутрішніх поверхнях стін, а для покрівлі □ запобігання танення снігу на даху. Ціни на паливо, будівельні матеріали і послуги не сприяли врахуванню економічного фактору в установлені товщини ізоляції. Ціни на паливо в ті часи були штучно занижені, і порівняння витрат теплоти на обігрівання 1 м² будинку з країнами, які впроваджували енергозберігаючі заходи, не мало сенсу. Однак висновки цих порівнянь були вражаючими.

У випадку існуючого житлового будинку підвищення енергетичного стандарту пов'язано зі значними витратами коштів. Важливим є прийняття критеріїв для оцінки окупності проектів інвестиційних, метою як їх є зменшення енерговитрат на опалення будинку.

До недавньої пори реалізація заходів, направлених на зменшення витрат енергії в комунально-побутовому секторі, фінансованих бюджетом, не була пов'язана з економічним аналізом ефективності інвестицій. Часто ефективність таких заходів, особливо через відсутність автоматики для регулювання подачі і відбору теплової енергії, була мізерною, а інколи протилежна очікуваній.

Реалізація проектів модернізації будинків з метою зменшення енерговитрат пов'язана з необхідністю понесення фінансових витрат на закупівлю матеріалів, обладнання та виконання певних робіт. З точки зору інвестора важливо, щоб ефекти від модернізації не тільки покрили витрати

коштів, а і принесли прибуток. Однак витрати на модернізацію доводиться здійснювати раніше настання ефектів, які віддалені в часі. Тому виникає необхідність виконання аналізу окупності заходів модернізації, які дали би інвестору достатню інформацію для прийняття рішення про реалізацію проекту по модернізації.

Викладена нижче методика оцінки ефективності теплової модернізації будинку виконана на основі методів, прийнятих Світовим Банком.

Дослідження окупності модернізаційних заходів розпочинається від застосування простих методів фінансової оцінки інвестицій. Методи ці застосовуються для попередньої оцінки і відбору проектів інвестиційних, і переважно на етапі передреалізаційного вивчення. До цих методів належать: термін окупності інвестицій ($T_{ок}$) і проста норма прибутку (R_p).

Визначається термін окупності за виразом

$$T_{ок} = \frac{K}{ЧП + A}, \quad (6.1)$$

чисельник якого рівний інвестиційним витратам на реалізацію проекту по модернізації теплоізоляції (системи опалення) будинку K , а знаменник – середньорічній величині ефекту, отриманого від зменшення експлуатаційних витрат за рахунок зменшення витрат енергії на опалення будинку, зменшеної на величину виплати відсотків на позичений капітал і величину коштів, необхідних для ремонту об'єкту інвестиції A .

У термореноваційних проектах найчастіше стикаються з наступною ситуацією. Коли зменшення експлуатаційних витрат завдяки освоєнню інвестицій протягом кожного інтервалу (року) планування постійне, тоді термін повернення ТОК можна розраховувати як відношення початкових витрат до вартості річної економії енерговитрат, збільшеного на час реалізації проекту термореновації. рік, в якому всі інвестиційні витрати будуть зрівноважені економією експлуатаційних витрат, буде замикати термін, за яким наступить повернення цих витрат.

На практиці трапляється модифікація цього способу розрахунку терміну повернення коштів, яка полягає у вилученні з нього терміну реалізації проекту. Термін повернення в цьому випадку означає тільки час, який проходить від закінчення реалізації проекту до зрівноваження інвестиційних витрат за рахунок зменшення експлуатаційних витрат.

Метод терміну повернення дозволяє вибрати для подальшого аналізу той проект, який найшвидше повертає початкові витрати. Проект може бути прийнятий для реалізації, якщо термін повороту вкладених коштів короткий або рівний терміну, прийнятому інвестором, як допустимий. У Польщі для проектів термореноваційних прийнято термін 3-5 років, в США - 2-3 роки. Недоліком цієї методики є те, що вона однаково трактує потік грошей, отриманих на різних стадіях інвестування проекту термореноваційного. Крім цього, не враховуються прибутки, які надходять після терміну повернення.

Наступну оцінку термореноваційного проекту можна проводити, використовуючи критерій простої норми прибутку R_p .

Проста норма прибутку визначається як відношення чистого прибутку (економія експлуатаційних витрат за вирахуванням виплати податків і процентів по кредитах) до загального обсягу інвестицій

$$R_p = (ЧП/К) \cdot 100\%. \quad (6.2)$$

Величина простої норми повернення дозволяє спрощено оцінити окупність окремих проектів інвестиційних і вибрати проект, що найшвидше окупиться. При оцінці окупності для подальшого аналізу належить вибрати ті проекти, які мають норму повернення більшу або рівну нормі граничній, визначеній на підставі норми ринкової або запропонованої інвестором капіталу чи банком, що надає кредит. Найбільш надійні оцінки окупності проектів модернізації термоізоляції будинків дають методи дисконту.

Методи, засновані на дисконтованих оцінках, дозволяють враховувати нерівномірність або нерівнозначність однакових сум надходжень або платежів, що стосуються різних періодів часу. Перед зіставленням потоків надходжень і

платежів за різні періоди часу ці потоки приводять до порівняльного вигляду (дисконтують) на визначену дату, на поточний період часу, на дату початку інвестицій тощо.

Чистий дисконтний дохід (або інтегральний ефект) визначається як сума поточних ефектів за весь розрахунковий період, приведена до початкового кроку розрахунку, або як перевищення інтегральних результатів над інтегральними витратами.

Якщо протягом розрахункового періоду не проходить інфляційних змін цін або розрахунок виконується у базових цінах, то чистий дисконтований дохід (NPV) для постійної норми дисконту розраховується за формулою:

$$NPV = \sum_{t=1}^T (R_t - Z_t) \frac{1}{(1+p)^t} \quad (6.3)$$

де

R_t – результат, досягнутий на i -му кроці розрахунку;

Z_t – витрати, що здійснюються на i -му кроці розрахунку;

$E_{\phi} = R_t - Z_t$ – ефект, що отримують на i -му кроці розрахунку;

$t = t_k$ – горизонт розрахунку (останній рік, квартал, місяць розрахункового періоду, на якому об'єкт ліквідується; мається на увазі, що наприкінці кроку t_k повинна враховуватися умовна або реальна реалізація активів).

На відміну від чистого дисконтованого доходу індекс доходності є відносним показником. Завдяки цьому він зручний при виборі проекту з ряду альтернативних, які мають однакове значення NPV .

При визначенні чистого дисконтованого доходу норма дисконту задана. Її збільшення приводить до зменшення NPV . При деякому значенні норми дисконту, яка називається внутрішньою нормою доходності, NPV обертається в нуль. Внутрішню норму доходності IRR можна розглядати як розв'язання рівняння:

$$NPV = \sum_{t=1}^T (R_t - Z_t) \frac{R - Z_t^T}{(1 + IRR)^t} = \sum_{t=1}^T (R_t - Z_t) \frac{K_t}{(1 + IRR)^t}, \quad (6.4)$$

де

IRR – ставка дисконтування, при якій

$NPV = 0$; ставка дисконтування, при якій доход від капіталовкладень в інноваційний проект дорівнює витратам; максимальна плата за залучені джерела фінансування, при якій проект залишається беззбитковим.

Чистий дисконтований дохід NPV виражає реальну на момент оцінки величину доходу (у гривнях), який може принести інвестору проект, що розглядається, при визначеній нормі дисконту p . Звідси випливає також, що економічно вигідною буде та інвестиція, для якої $NPV \geq 0$. Додатна величина NPV (у крайньому випадку рівна нулю) означає, що проект може бути реалізованим, оскільки він є для інвестора вигідним.

Від'ємна величина NPV свідчить про те, що інвестиція неокупна з точки зору інтересів інвестора і такий проект не може бути схваленим.

Іншим серед найчастіше застосовуваних на практиці дисконтованих методів є метод внутрішньої норми доходності (IRR). Цей метод визначає так у норму відсотку дисконту, при якій настає рівність між сумою доходів від зменшення експлуатаційних витрат на опалення будинку і коштами інвестованого в проект капіталу. IRR – це величина норми дисконту p , при якій $NPV = 0$. IRR безпосередньо показує рівень рентабельності даної інвестиції. Проект модернізації термоізоляції будинку буде окупним, якщо його внутрішня норма повернення буде вищою (або в крайньому разі рівною) від норми граничного дисконту, встановленого інвестором.

Внутрішню норму доходності можна розраховувати, застосовуючи методи послідовних наближень, користуючись виразом

$$NPV(IRR) = 0. \quad (6.5)$$

Проведено аналіз проекту по доутепленню стін і покрівлі житлового будинку в районі м. Києва. Для цього визначалися потреби в теплоті і експлуатаційних витратах до і після реалізації термореноваційного проекту.

У таблиці 6.1 подані визначені показники ефективності від реалізації проекту утеплення будинку. Показники визначені на підставі розрахунків витрат на опалення будинку залежно від способу теплоізоляції і прийнятої норми дисконту на рівні 8%.

Як видно з таблиці 6.1, висновок про окупність проекту, визначеної за простим методом, є недостатнім для прийняття рішення щодо його реалізації (терміни окупності в деяких варіантах близькі один до одного, але показники *NPV* суттєво відрізняються). Тому прості показники можуть застосовуватися для попередньої оцінки окупності проекту термореновації. Для кінцевої оцінки окупності інвестицій належить застосовувати методи, засновані на техніці дисконту.

Таблиця 6.1

Показники ефективності інвестицій термореноваційних заходів

Заходи термореноваційні	Термін повернення, рік	Показники ефективності інвестицій	
		<i>NPV</i> , грн.	<i>IRR</i> , %
Утеплення стін styropianem товщина 8 см	5,58	33913	18,4
товщина 10 см	5,56	31843	18,3
Утеплення стін мінеральною ватою товщина 8 см	6,09	27979	16,4
товщина 10 см	6,16	29083	16,2
Утеплення даху styropianem завтовшки 10 см	6,43	7623	15,2
завтовшки 14 см	6,39	8558	15,5
Утеплення даху мінеральною ватою завтовшки 10 см	8,07	3900	11,2
завтовшки 14 см	8,46	3346	10,0

У зв'язку з різноманіттям житлових будинків (величина коефіцієнта теплопередачі коливається в межах 1...2,8 Вт/(м²·К), а коефіцієнт забезпечення теплоти 250...400 кВт·год/(м²·рік)) і суттєвих різницях в цінах 1 м² утеплення огорожень, аби інвестиція була найбільш ефективною, належить для кожного будинку індивідуально оцінити економічну ефективність планованих заходів.

На економічну ефективність термореноваційних робіт впливає дуже багато факторів, тому важко однозначно судити про окупність цих робіт, Тільки після виконаного аналізу всіх можливих до реалізації заходів у конкретному об'єкті можна судити про їх доцільність,

Загалом на ефективність утеплення будинків впливає:

- стан технічний об'єкту (наприклад при поганому стані даху роботи термореноваційні виконуються при ремонті покрівлі, що зменшує витрати);
- термічна ізоляція зовнішніх огорожень (чим вищий коефіцієнт K , тим більш ефективним є їх утеплення);
- спосіб розрахунків за енергію (при розрахунках за 1 м^2 плата до і після термореновації така сама),

При оцінці економічної ефективності інвестицій належить також зважати на одноразові витрати на системи утеплення, Для різних систем термореновації того ж огороження чим менша вартість утеплення (при тій самій або порівняльній величині збереження енергії), тим вища рентабельність даного проекту.

6.3. Термін окупності енергозберігаючих заходів по термомодернізації будівлі навчального корпусу №2

Теплове навантаження системи опалення будівлі на розрахуємо згідно діючих норм проектування систем опалення [1].

Теплова потужність системи опалення визначається за формулою

$$Q_o = Q_{т.втр} \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 + Q_2, \quad (6.6)$$

де $Q_{т.втр}$ – теплові втрати будівлі, кВт; β_1 – коефіцієнт, який залежить від типу опалювального приладу; приймається за даними [1]; β_2 – коефіцієнт, який

враховує додаткові втрати теплоти зарадіаторними ділянками зовнішніх стін; приймається за даними [1]; Q_2 – втрати теплоти, кВт, трубопроводами опалення, які прокладаються в неопалювальних приміщеннях розрахункової споруди. Втрати Q_2 не повинні перевищувати 4% від величини тепловтрат $Q_{т.втр}$:

Теплова потужність системи опалення будівлі дорівнює:

- для неутепленої будівлі:

$$Q_o = 157,0 \cdot 1,1 \cdot 1,1 + 6,3 = 179,0 \text{ кВт} = 0,154 \text{ Гкал/год};$$

- після нанесення теплоізоляційного шару з пінополістиролу товщиною 100 мм та заміни вікон:

$$Q_o = 94,5 \cdot 1,1 \cdot 1,1 + 3,78 = 118,1 \text{ кВт} = 0,102 \text{ Гкал/год}.$$

Річні витрати теплоти для системи опалення будівлі визначаються за формулою:

$$Q_o^{рік} = 3,6 \cdot Q_o \cdot z_o \cdot n_o \cdot \frac{t_g - t_{o,сеп}}{t_g - t_o}, \quad (6.7)$$

де Q_o , кВт – розрахункова теплова потужність систем опалення;

z_o , год – кількість годин роботи систем опалення на протязі доби; $z_o = 24$ год;

n_o , доба – тривалість опалювального періоду; для даної місцевості $n_o = 187$ діб.

Річні витрати теплоти для системи опалення будівлі дорівнюють:

- для неутепленої будівлі:

$$Q_o^{рік} = 3,6 \cdot 179,0 \cdot 24 \cdot 187 \cdot \frac{16 - (-1,1)}{16 - (-22)} = 311,0 \text{ Гкал} = 1302 \text{ ГДж};$$

- після термомодернізації:

$$Q_o^{рік} = 3,6 \cdot 118,1 \cdot 24 \cdot 187 \cdot \frac{16 - (-1,1)}{16 - (-22)} = 206,0 \text{ Гкал} = 862,5 \text{ ГДж}.$$

Річна економія теплоти для системи опалення будівлі після термомодернізації дорівнює:

$$\Delta Q_o^{pik} = 311,0 - 206,0 = 105 \text{ Гкал} = 439,6 \text{ ГДж.}$$

Вихідні дані для розрахунку терміну окупності енергозберігаючих заходів по утепленню зовнішніх стін будівлі:

- загальна площа зовнішніх стін будівлі $F_{ст} = 1364 \text{ м}^2$;
- загальна площа вікон будівлі $F_{вік} = 200,0 \text{ м}^2$;
- базова теплова ізоляція – пінополістирол типу ПСБ-С150, товщина 150 мм;
- ціна 1 м^3 пінополістиролу типу ПСБ-С150 товщиною 150 мм складає ~ 1500 грн. ;
- ціна 1 м^2 двокамерного склопакету – варіюється від ~ 1800 грн до $\sim 3100+$ грн, вибираємо енергозберігаючий склопакет 4i-10-4-10-4i за ціною ~ 2300 грн/ м^2 .

Загальна площа зовнішніх стін будівлі, які утеплюються:

$$F_{ст}^{ym} = F_{ст} - F_{вік} = 1164 \text{ м}^2.$$

Необхідний об'єм пінополістиролу товщиною 150 мм:

$$V_{пст} = F_{ст}^{ym} \cdot 0,15 = 116,4 \text{ м}^3 \approx 174,6 \text{ м}^3.$$

Вартість необхідного об'єму пінополістиролу складає 261 900 грн.

Вартість двокамерних склопакетів – 460 000 грн.

Загальні капіталовкладення (утеплювач та склопакети) – 721 900 грн.

Кількість зекономленого за рік умовного палива завдяки використанню енергозберігаючих заходів B , т.у.п.:

$$B = \frac{0,0342 \cdot Q_o}{\eta_{зам}}, \quad (6.8)$$

де Q_o , ГДж – сумарна кількість зекономленої теплоти за рік; $\eta_{\text{зам}}$ – ККД котельного агрегату; $\eta_{\text{зам}} = 0,85$.

Переводний коефіцієнт 1 т у.п. в паливо типу «дрова для опалення» – 0,266.

Для умов проектування маємо:

$$B = 17,7 \text{ т у.п.} \approx 67 \text{ куб. м дров.}$$

Ціна 1 кубометра дров в Україні залежить від породи деревини, регіону та того, чи вони колоті. Наприклад, ціни можуть коливатися від приблизно 1200-1500 грн за соснові та березові дрова до 2200-3050 грн за дубові, грабові чи ясеневі,

Таким чином, за опалювальний сезон маємо економію (при ціні за 1 м.куб. дров – 1500 грн.) – 100 500 грн.

Термін окупності енергозберігаючих заходів по термомодернізації будівлі навчального корпусу №2:

$$T = \frac{\Sigma C}{\Delta Q_o^{\text{рік}}} = \frac{721900}{100500} \approx 7 \text{ років.}$$

ВИСНОВКИ

Об'єктом проектування даної магістерської роботи є навчальний корпус №2 Таращанського технічного та економіко-правового фахового коледжу.

Предмет проектування - термомодернізація будівлі та аналіз теплових режимів в приміщенні при переривчастому теплонавантаженні на системи опалення.

В розділі 1 магістерської роботи надана загальна характеристика теплового господарства коледжу; приведена експлікація і розраховане теплове навантаження споруд, які підключені до теплопроводів власної котельні коледжу.

В розділі 2 магістерської роботи аналізується існуючий стан системи теплопостачання споруд коледжу.

На сьогодні від системи опалення відключені дві споруди: лабораторні корпуси №1 №2. Котельня агротехнічного коледжу обладнана новими котлами (замість морально та фізично застарілих з вмістом шкідливих речовин у відхідних газах котлів НПСУ-5), а саме:

- двома піролізними котлами на дровах типу «Сканді-0,63» і «Сканді-0,82»;
- двома котлами типу КСВ-0,63 на газоподібному паливі.

Основне теплонавантаження виконують піролізні котли на дровах (постійно діючі), які повністю покривають потребу в теплоті опалювальних споруд.

Газові котли КСВ-0,63 є резервними (дублюючими).

В розділі наведені основи піролізного горіння та особливості піролізних котлів.

Наведені теплотехнічні характеристики основних та резервних котлів.

В розділі 3 приводяться основи термомодернізації огорожувальних конструкцій будівельних споруд, а саме: модернізація конструкцій огороження будівель у напрямку підвищення термічного опору; вибір оптимальних захисних властивостей огорожувальних конструкцій.

В розділі 4 магістерської роботи можливі теплові режим в приміщенні при переривчастому теплонавантаженні на системи опалення. Аналізується питання мінімізації витрат енергії при переривчастому режимі опалення будівлі.

Показано, що при переривчастому теплонавантаженні на системи опалення максимальна економія енергії досягається при мінімізації часу «натопу». При цьому мінімізація часу «натопу» досягається при виконанні двох основних умов – подача теплоти в приміщення з використанням всієї наявної в резерві встановленої потужності джерела та «правильна» організація схеми системи опалення в період «натопу».

В розділі 5 приведені результати розробки енергозберігаючих заходів з термомодернізації будівлі навчального корпусу №2 коледжу, а саме: утеплення зовнішніх огорожувальних конструкцій та заміни вікон на сучасні склопакети.

В результаті утеплення зовнішніх огорожувальних конструкцій навчального корпусу №2 агротехнічного коледжу шляхом нанесення теплозахисного покриття на зовнішній поверхні стін; тип утеплювача – пінополістирол, товщина теплозахисного покриття $\delta = 150$ мм тепловий опір збільшився в $\sim 5,5$ разів і становить величину $R_o^{yr} \approx 4,5$ (м²·К)/Вт, тобто, запропоновані заходи дозволяють довести теплозахисний стан зовнішніх стін до нормативних значень.

Таким чином, після впровадження заходів термомодернізації будівлі навчального корпусу №2 (утеплення зовнішніх стін та встановлення подвійних склопакетів) теплові втрати зменшилися практично в 1,7 рази і становлять величину $Q_{m.vtr}^{m.mpd} = 94,5$ кВт.

Термін окупності енергозберігаючих заходів по термомодернізації будівлі навчального корпусу №2 складає ≈ 7 років.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Закон України «Про енергетичну ефективність»
2. Закон України «Про енергетичну ефективність будівель» (редакція від 30.06.2024)
3. ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель»
4. ДСТУ НБ В.1.1-27:2010 Будівельна кліматологія
5. ДСТУ 9190:2022 «Енергетична ефективність будівель»
6. ДСТУ 8855:2019 Будівлі та споруди.
7. ДБН В.2.5-67 «Опалення вентиляція та кондиціонування
8. ДБН В.2.6-33:2018 Конструкція зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією
9. ДСТУ 9191:2022 «Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель»
10. ДСТУ Б EN 15459:2014 Енергетична ефективність будівель. Процедура енергетичної оцінки систем будівель (EN 15459:2007, IDT).
11. Теплотехніка: підручник. / Драганов Б.Х., Бессараб О.С., Долінський А.А., Лазоренко В.О., Міщенко А.В., Шеліманова О.В., / 2 – ге вид., перероб і доп. – Київ «Фірма Інкос», 2005р. – 400 с.
12. Горобець В.Г. Теплотехніка та використання теплоти в сільському господарстві. – Київ. – ЦП «Компринт». 2015. – 389 с.
13. Гершкович В.Ф. Енергоефективні системи житлових будівель: Посібник з проєктування // СОК. — 2006. — № 7. — С. 54–62.
14. Аналіз впливу внутрішньої теплоємності будівлі ЗВО та погодозалежного регулювання ІТП на ефективність роботи системи опалення в черговому режимі / Є. О. Антипов, А. В. Міщенко, О. В. Шеліманова, С. Є. Тарасенко // Енергетика і автоматика, №5, 2021. <http://dx.doi.org/10.31548/energiya2021.05.045>.
15. Дешко В.І., Білоус І.Ю., Буяк Н.А., Голубенко О.О., Гурєєв М.В. Вплив теплоінерційних особливостей огорожень на умови комфортності при

- впровадженні енергоощадних режимів опалення в будівлях. Науково-технічний збірник «Комунальне господарство міст». Серія: технічні науки та архітектура, 2019. Т.3. випуск 149. С. 44–50.
16. Дешко В.І., Білоус І.Ю., Буюк Н.А. Вплив переривчастих режимів опалення на динаміку енергопотребити та умови комфортності будівель з різним рівнем теплового захисту. Наукові вісті НТУУ КПІ, 2019. №4. С. 7–16.
17. Ришард Титко. Відновлювані джерела енергії (Досвід Польщі для України). // Ришард Титко, Володимир Калініченко. - Варшава, 2010. - 533 с.
18. Корчемний М. та інші. Енергозбереження в агропромисловому комплексі. – Тернопіль: 2001. - 984 с/
19. Піролізний котел: принцип роботи <https://xn--elaamjfhht.com.ua/pryntsyp-roboty-piroliznoho-kotla>
20. Котел піролізний твердотопливний Альтеп КОП-ВД https://artiss.ua/solid-fuel-boiler-pyrolysis-altep-cop-vd-25/?srsltid=AfmBOorqg3mOzy1PuiX2FZbyKeZAQJ6HUwDXW9CхKvY_6RmBr3t9fECP
21. Мировски А., Ланге Г., Елень И. Матеріали для проектування котельних та сучасних систем опалення – Варшава: Вісманн, 2016. – 294 с.
22. Методика визначення енергетичної ефективності будівель <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0822-18#n14>