

**Методичні вказівки**  
**до виконання практичних робіт з дисципліни**  
**«Підвищення енергоефективності систем енергопостачання»**  
**зі спеціальності «Електрична інженерія»**  
**(освітня програма «Енергоменеджмент та**  
**енергоефективні технології»)**

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

**Методичні вказівки**  
**до виконання практичних робіт з дисципліни**  
**«Підвищення енергоефективності систем енергопостачання»**  
**зі спеціальності «Електрична інженерія»**  
**(освітня програма «Енергоменеджмент та**  
**енергоефективні технології»)**

Вінниця  
ВНТУ  
2026

Рекомендовано до видання Радою з якості освіти Вінницького національного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 9 від 19.03.2026 р.)

Рецензенти:

**В. В. Джеджула**, доктор економічних наук, професор,

**В. В. Нетребський**, кандидат технічних наук, доцент

Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Підвищення енергоефективності систем енергопостачання» зі спеціальності «Електрична інженерія» (освітня програма «Енергоменеджмент та енергоефективні технології») / уклад.: О. М. Нанака, О. В. Бабенко, О. М. Головченко. Електрон. текст. дані. Вінниця : ВНТУ, 2026. 69 с.

В методичних вказівках розглянуто приклади розрахунків енергетичного устаткування, які виконуються на практичних заняттях під час вивчення дисципліни «Підвищення енергоефективності систем енергопостачання». Методичні вказівки призначені для здобувачів ступеня магістра за освітньою програмою «Енергоменеджмент та енергоефективні технології».

## Зміст

ВСТУП.....	4
1. ІНВЕСТИЦІЇ В ЕНЕРГОБЕРІГАЮЧІ ЗАХОДИ ТА ЇХ ЕФЕКТИВНІСТЬ ....	5
2. ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕПЛОВОЇ ІЗОЛЯЦІЇ ТА ТЕПЛООБМІННИКІВ .....	30
3. ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В БУДІВЛЯХ.....	46
ЛІТЕРАТУРА .....	59
Додаток 1 .....	60
Додаток 2 .....	62
Додаток 3 .....	64
Додаток 4 .....	65
Додаток 5 .....	65
Додаток 6 .....	67
Додаток 7 .....	67
Додаток 8 .....	68

## ВСТУП

Енергозбереження є важливою складовою енергетики. Це технології, методи, технічні рішення та економічні механізми, що сприяють ефективному використанню енергетичних ресурсів. Зниження енергоємності продукції промислових виробництв є основою для забезпечення енергонезалежності України та її енергетичної безпеки. Потенціал енергозбереження в Україні становить близько 42–46 % загального споживання енергетичних ресурсів. Тобто їх раціональне використання практично дозволяє відмовитися від імпорту органічного палива в Україну. Основними напрямками діяльності в цій галузі є: використання вторинних енергоресурсів, високотемпературних теплових і паливних ресурсів, з подальшим виробництвом теплової чи електричної енергії, впровадження процесів когенерації; застосування низькотемпературних джерел енергії, наприклад, у теплових насосах, використання нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії; підвищення енергоефективності енергоспоживаючого обладнання; організація і впровадження енергетичного менеджменту. Енергетичний менеджмент – це постійно діюча система управління енергопотокami в галузі виробництва і споживання енергоресурсів. Стартовою позицією організації енергоменеджменту є енергоаудит, який виявляє закономірності витрати енергоносіїв на одиницю продукції. У результаті розробляються і видаються економічно обґрунтовані рекомендації з упровадження можливостей енергозбереження. Для проведення енергетичного аудиту промислового підприємства потрібні фахівці, які мають достатній обсяг теоретичних знань і практичних навичок у різних галузях, зокрема, електроенергетика, теплоенергетика, економіка енергетики, енергомашинобудування. У даних методичних вказівках наведені приклади розв'язування задач з енергозбереження на промислових підприємствах. Методичні вказівки призначені для здобувачів ступеня магістра за освітньою програмою «Енергоменеджмент та енергоефективні технології».

## 1. ІНВЕСТИЦІЇ В ЕНЕРГОБЕРІГАЮЧІ ЗАХОДИ ТА ЇХ ЕФЕКТИВНІСТЬ

**Задача 1.1.** Стіни шкільної будівлі, що складають 2840 м<sup>2</sup>, утеплюють пінополістирольними плитами, товщиною 10 см, з використанням кріпильних елементів з подальшою штукатуркою. Визначити інвестиційні витрати на утеплення шкільної будівлі.

### Розв'язок

Визначаємо вартість конструкцій. Вартість 1 м<sup>3</sup> пінополістирольних плит – 650 грн. Оскільки товщина утеплювача 10 см, то вартість м<sup>3</sup> ділиться на 10 і виходить вартість конструкцій в розрахунку на 1 м<sup>2</sup> стіни:

$$\frac{650}{10} = 650(\text{грн./м}^2).$$

Для того, щоб отримати вартість конструкцій на весь обсяг робіт, вартість конструкцій 1 м<sup>2</sup> стіни множиться на кількість квадратних метрів, що підлягають утепленню:

$$0,065 \cdot 2840 = 184(\text{тис. грн.})$$

Вартість кріпильних елементів складе 85 тис. грн., а вартість монтажу конструкцій – 210 тис. грн.

Обштукатурити 1 м<sup>2</sup> стіни коштує 169 грн. Вартість штукатурки всієї площі стін в шкільній будівлі:

$$0,169 \cdot 2840 = 480(\text{тис. грн.})$$

Далі може знадобитися проведення проектних і науково-дослідницьких робіт. Орієнтовна вартість проектних робіт – 195 тис. грн., науково-дослідницьких – 45 тис. грн.

В результаті необхідні інвестиції на проведення енергозберігаючого заходу (ЕЗ) складе:

$$K = 184 + 85 + 210 + 480 + 195 + 45 = 1200(\text{тис. грн.})$$

**Задача 1.2.** Об'єкт споживає 25 тис. ГДж теплової енергії на рік. В рамках програми енергозбереження на підприємстві передбачається впровадити енергозберігаюче обладнання, що забезпечує економію тепла в розмірі 12% від загального споживання. Визначити ефективність інвестицій в проєкт.

Вихідні дані.

Показники	Позначення	Значення показника
1. Капіталовкладення	К	6800
2. Річна норма амортизації основних засобів, %	$H_A$	12,5
3. Норма відрахувань на тепло обслуговування і ремонт	$H_P$	7,0
4. Ціна теплової енергії для підприємства, у. о./ ГДж	$C_Q$	2,0
5. Ставка податку на прибуток, %	$C_{\text{НП}}$	30,0
6. Ставка податку на майно, %	$C_{\text{НИ}}$	2,0
7. Норма дисконту, %	Е	10,0

Ліквідаційна вартість об'єкта та податок на майно незначні і в розрахунках не використовуються.

Розв'язок

1. Потенціал енергозбереження, приріст прибутку та дохід від інвестицій (в розрахунку на рік).

Економія теплоспоживання на об'єкті:

$$\Delta Q = 0,12 \cdot Q = 0,12 \cdot 25000 = 3000 \text{ (ГДж)}.$$

Вартість зекономленої енергії:

$$\Delta E = C_Q \cdot \Delta Q = 2,0 \cdot 3000 = 6000 \text{ (у. о.)}.$$

Амортизація основних засобів:

$$A = 0,01 \cdot H_A \cdot K = 0,01 \cdot 12,5 \cdot 6800 = 850 \text{ (у. о.)}.$$

Витрати на техобслуговування та ремонт:

$$P = 0,01 \cdot H_P \cdot K = 0,01 \cdot 7,0 \cdot 6800 = 476 \text{ (у. о.)}.$$

Економія поточних витрат (приріст прибутку):

$$\Delta C = \Delta E - (A + P) = 6000 - (850 + 476) = 4676 \text{ (у. о.)}.$$

Приріст чистого прибутку підприємства:

$$\text{ЧП} = \Delta C(1 - 0,01 \cdot C_{\text{НП}}) = 4676 \cdot (1 - 0,01 \cdot 30) = 3272 \text{ (у. о.)}.$$

Річний дохід інвестиційного проєкту:

$$D_t = \text{ЧП} + A = 3272 + 850 = 4122 \text{ (у. о.)}.$$

2. Аналіз ефективності капіталовкладень в проєкт.

Критерії ефективності інвестицій визначаємо за спрощеною методикою, оскільки за умовами прикладу річний дохід постійний ( $D_t = D = \text{const}$ ). Розрахунок виконуємо в наступній послідовності.

Розрахунковий період приймаємо рівним нормативному терміну служби енергозберігаючого обладнання:

$$T = \frac{100}{N_A} = \frac{100}{12,5} = 8 \text{ (років)}.$$

Знаходимо значення дисконтуючого множника з Додатку1 за відомими значеннями E та T:

$$\alpha_{(8;0,1)} = 5,3349 \text{ (років)}.$$

Чистий дисконтований дохід проєкту визначається за формулою:

$$\text{ЧДД} = D_t \cdot \alpha_T - K_H = 4122 \cdot 5,3349 - 6800 = 15190 \text{ (у. о.)}.$$

Індекс прибутковості проєкту визначаємо за формулою :

$$\text{ПІ} = \frac{\text{ЧДД}}{K_H} + 1 = \frac{15190}{6800} + 1 = 3,23.$$

Розрахунок внутрішньої норми доходу ВНД здійснюємо в два етапи.

На першому етапі знаходимо граничне (мінімальне) значення дисконтуючого множника, за якого проєкт не збитковий:

$$\alpha_{T(PP)} = \frac{K}{D} = \frac{6800}{4122} = 1,65 \text{ (року)}.$$

Із Додатку 1 при  $T = 8$  років і  $\alpha_{T(PP)} = 1,65$  року знаходимо, що шукане значення ставки знаходиться в інтервалі  $0,55 \div 0,6\%$ . Методом лінійної інтерполяції знаходимо шукане значення ВНД за формулою :

$$\begin{aligned} \text{ВНД} &= E_{\text{MIN}} + (E_{\text{MAX}} - E_{\text{MIN}}) \frac{\alpha_{\text{MAX}} - \alpha_{T(PP)}}{\alpha_{\text{MAX}} - \alpha_{\text{MIN}}} = \\ &= 0,55 + (0,6 - 0,55) \cdot \frac{1,76 - 1,65}{1,76 - 1,62} = 0,59. \end{aligned}$$

Розрахунок терміну окупності.

Статичний термін окупності визначаємо за формулою:

$$T_{O(CT)} = \frac{K}{D} = \frac{6800}{4122} = 1,65 \text{ (року)}.$$

Динамічний термін окупності знаходимо за  $\alpha_{O(Д)} = 1,65$  року і нормі дисконту  $E = 0,1$  з Додатку 1. Шукане значення потрапляє в інтервал 1 - 2 роки. Знаходимо величину терміну окупності за формулою:

$$\begin{aligned} T_0 &= T_{\text{MIN}} + (T_{\text{MAX}} - T_{\text{MIN}}) \frac{\alpha_{T(PP)} - \alpha_{\text{MIN}}}{\alpha_{\text{MAX}} - \alpha_{\text{MIN}}} = \\ &= 1 + (2 - 1) \cdot \frac{1,65 - 0,91}{1,74 - 0,91} = 1,89 \text{ (року)} \end{aligned}$$

Граничні капіталовкладення в проєкт:

$$K_{PP} = K + \text{ЧДД} = 6800 + 15190 = 21990 \text{ (у. о.)}.$$

Висновок по проєкту. Всі розраховані критерії ефективності задовольняють умови доцільності інвестиційного проєкту:

$$\text{ЧДД} = 15190 > 0;$$

$$\text{ІП} = 3,23 > 1;$$

$$\text{ВНД} = 0,59 > E = 0,1;$$

$$T_0 = 1,89 \text{ років} < T = 8 \text{ років}.$$

Отже, проєкт доцільний та може бути рекомендований до впровадження.

**Задача 1.3.** Визначити ефективність інвестицій в енергозберігаючий проєкт, вихідні якого ті ж самі, що і в задачі 1.2, але у відповідності з майбутніми змінами в технології прогнозоване теплоспоживання об'єкта змінюється по рокам розрахункового періоду.

#### Розв'язок

Річний потенціал енергозбереження, економія поточних витрат, приріст чистого прибутку та дохід по рокам розрахункового періоду розраховані за методикою, що приведена у задачі 1.2, та представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Показники	Роки розрахункового періоду							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1. Теплоспоживання, ГДж	25000	25000	30000	30000	25000	20000	16000	12000
2. Економія тепло споживання, ГДж	3000	3000	3600	3600	3000	2400	1920	1440
3. Економія поточних витрат, у. о.	4674	4674	5874	5874	4674	3474	2514	1554
4. Приріст чистого прибутку, у. о.	3272	3272	4112	4112	3272	2432	1760	1088
5. Річний дохід, у. о.	4122	4122	4962	4962	4122	3282	2610	1938

Критерії ефективності проєкту.

ЧДД розраховується за формулою:

$$\begin{aligned} \text{ЧДД} &= \sum_{t=1}^T \frac{D_t}{(1+E)^t} - K_H = \frac{4122}{1,1} + \frac{4122}{1,1^2} + \frac{4962}{1,1^3} + \\ & \frac{4962}{1,1^4} + \frac{4122}{1,1^5} + \frac{3282}{1,1^6} + \frac{2610}{1,1^7} + \frac{1938}{1,1^8} - 6800 = 14125 \text{ (у.о.)}. \end{aligned}$$

Індекс прибутковості проєкту:

$$\text{ІП} = \frac{14125}{6800} + 1 = 3,08.$$

Динамічний термін окупності інвестицій ( $T_0$ ) визначимо, розраховуючи ряд послідовних значень ЧДД по рокам розрахункового періоду:

$$\text{ЧДД} = f(t).$$

В цьому часовому інтервалі, де ЧДД = 0, буде знаходитись шукана величина.

В результаті розрахунку отримаємо:

$$\text{ЧДД}_0 = 6800; \text{ЧДД}_1 = 3053; \text{ЧДД}_2 = -354.$$

Таким чином, шукане значення буде знаходитись в проміжку t=1-2 роки, де показник ЧДД змінює знак.

Визначимо (T<sub>0</sub>) як :

$$T_0 = 1 + (2 - 1) \cdot \frac{3053}{3053 + 354} = 1,89 \text{ (року)}$$

Аналогічним чином, задаючись рядом послідовних значень процентної ставки, із залежності ЧДД = f(E) знаходимо внутрішню норму доходу. Результати розрахунку представлені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Значення ЧДД в залежності від ставки дисконтування

E, %	10	20	30	40	50	60	65
ЧДД, у. о.	14125	8696	5249	2928	1289	85	-401

Шукане значення ВНД знаходиться в тому інтервалі ставок, де ЧДД = 0, тобто між 60 та 65%. Застосувавши формулу лінійної інтерполяції, отримаємо:

$$\text{ВНД} = 60 + (65 - 60) \cdot \frac{85}{85 + 401} = 60,8\%.$$

Висновок по проєкту. Всі розраховані критерії ефективності задовольняють умови доцільності інвестиційного проєкту:

$$\text{ЧДД} = 14125 \text{ у.о.} > 0;$$

$$\text{ІП} = 3,08 > 1;$$

$$\text{ВНД} = 0,608 > E = 0,1;$$

$$T_0 = 1,89 \text{ років} < T = 8 \text{ років.}$$

Отже, проєкт доцільний і може бути рекомендований до впровадження.

**Задача 1.4.** Підприємство виробляє продукцію в результаті тривалого виробничо-технологічного процесу. На одному з його етапів необхідне використання спеціального обладнання, яке існує в декількох модифікаціях. Після попереднього аналізу зупинилися на двох найбільш підходящих модифікаціях: при інших еквівалентних умовах у варіанті В застосовано більш дороге обладнання, тому в цьому варіанті капіталовкладення вищі, а поточні витрати нижчі, ніж у варіанті А. В обох варіантах поточні витрати постійні по роках розрахункового періоду.

Потрібно проаналізувати доцільність придбання того чи іншого станка, якщо відомо:

- прийнята норма дисконту  $E = 0,1$ ;
- розрахунковий період дорівнює нормативному терміну служби обладнання;
- підприємство оплачує податок на прибуток по ставці  $C_{\text{НП}} = 25\%$ ;
- податок на майно в розрахунках не враховуємо. Вихідні дані наведені в таблиці 3.

Таблиця 3 – Вихідні дані

Показники	Позначення	Варіанти обладнання	
		А	В
1. Спожита електроенергія, кВт·год	W	137353	69765
2. Капіталовкладення, у. о.	K	10000	16000
3. Нормативний термін служби ТС, років	$T_{\text{н}}$	12	12
4. Норма відрахувань на обслуговування та ремонт ТО і ТР, %	$H_{\text{р}}$	5,0	5,0
5. Ціна електроенергії для підприємства, у. о./кВт·год (прийнята умовно)	$C_{\text{е}}$	0,034	0,034

#### Розв'язок

1. Визначаємо річні поточні затрати по двох варіантах, що порівнюються: Затрати на електроенергію розраховуються за формулою:

$$E = C_{\text{е}} \cdot W ;$$

$$E_{\text{А}} = 0,034 \cdot 137353 = 4670 \text{ (у. о.)};$$

$$E_{\text{В}} = 0,034 \cdot 69765 = 2372 \text{ (у. о.)}.$$

Амортизація основних засобів визначається з виразу:

$$A = 0,01 \cdot N_A \cdot K,$$

де  $N_A$  – річна норма амортизації основних засобів, яка визначається виходячи з нормативного терміну служби обладнання:

$$N_A = \frac{100}{T_H} = \frac{100}{12} = 8,3\%.$$

$$A_A = 0,01 \cdot 8,3 \cdot 10000 = 830 \text{ (у. о.)};$$

$$A_B = 0,01 \cdot 8,3 \cdot 16000 = 1328 \text{ (у. о.)}.$$

Затрати на обслуговування та ремонт обладнання визначаємо за формулою:

$$P = 0,01 \cdot N_p \cdot K.$$

$$P_A = 0,01 \cdot 5 \cdot 10000 = 500 \text{ (у. о.)};$$

$$P_B = 0,01 \cdot 5 \cdot 16000 = 800 \text{ (у. о.)}.$$

Сумарні поточні витрати по варіантах, що порівнюються:

$$C = E + A + P.$$

$$C_A = 4670 + 830 + 500 = 6000 \text{ (у. о.)};$$

$$C_B = 2372 + 1328 + 800 = 4500 \text{ (у. о.)}.$$

Приріст податку на прибуток у варіанті В:

$$\Delta \text{НП} = (6000 - 4500) \cdot 0,25 = 375 \text{ (у. о.)}.$$

Економічно доцільний варіант обираємо за критерієм «сукупні дисконтовані затрати» (СДЗ). Оскільки за умовою поточні витрати незмінні по роках, визначаємо СДЗ за розрахунковий період по варіантах, що порівнюються, за спрощеною методикою розрахунку. Враховуючи, що дисконтований множник  $\alpha_T$  при  $T = 12$  років і  $E = 0,1$  дорівнює 6,8137 року, то отримаємо:

$$\text{СДЗ}_A = K_{\text{НА}} + (C_A - A_A) \cdot \alpha_T = 10000 + (6000 - 830) \cdot 6,8137 = 45227;$$

$$\text{СДЗ}_B = K_{\text{НВ}} + (C_B - A_B + \Delta \text{НП}) \cdot \alpha_T = 16000 + (4500 - 1328 + 375) \cdot 6,8137 = 40168$$

Висновок. Більш доцільним є варіант В, у якого СДЗ менші. Порівняльна ефективність цього варіанта визначається економією СДЗ:

$$\Delta \text{СДЗ} = 5059 \text{ (у. о.)}.$$

**Задача 1.5.** Необхідно порівняти два проекти з різними термінами служби енергозберігаючого обладнання. Вихідні дані проектів прийняті з задачі 1.4 але в проекті А змінений термін служби технічних засобів ТЗ та річний обсяг електроспоживання. Вихідні дані наведені в таблиці 4.

Таблиця 4 – Вихідні дані

Показники	Позначення	Варіанти обладнання	
		А	В
1. Спожита електроенергія, кВт год	W	142353	69765
2. Капіталовкладення, у. о.	K	10000	16000
3. Нормативний термін служби ТЗ, років	T <sub>н</sub>	6	12
4. Норма відрахувань на ТО і ТР, %	Н <sub>р</sub>	5,0	5,0
5. Ціна електроенергії для підприємства, у. о./кВт год (прийнята умовно)	Ц <sub>е</sub>	0,034	0,034
6. Розрахунковий період, років	T	12	12

#### Розв'язок

Визначаємо річні поточні витрати у варіанті А.

Затрати на електроенергію:

$$E_A = 0,034 \cdot 142353 = 4840 \text{ (у. о.)}.$$

Затрати на амортизацію:

$$A_A = 0,01 \cdot \frac{100}{6} \cdot 10000 = 1670 \text{ (у. о.)}.$$

Затрати на ТО та ТР залишаються тими ж, що і в попередньому прикладі:

$$P_A = 0,01 \cdot 5 \cdot 10000 = 500 \text{ (у. о.)}.$$

Сумарні витрати по варіанту А:

$$C_A = 4840 + 1670 + 500 = 7010 \text{ (у. о.)}.$$

Поточні витрати по варіанту В з попереднього прикладу:

$$C_B = 2372 + 1328 + 800 = 4500 \text{ (у. о.)}$$

Приріст податку на прибуток у варіанті В:

$$\Delta \text{НП} = (7010 - 4500) \cdot 0,25 = 627,5 \text{ (у. о.)}$$

При різних термінах служби обладнання, що оцінюється, і одному і тому ж розрахунковому періоді вибір економічно доцільного варіанта можна здійснити двома методами, які в результаті приводять до одного і того ж результату.

Перший метод заснований на показнику СДЗ за розрахунковий період, при якому повинні враховуватися усі необхідні заміни ТЗ за розрахунковий період.

Визначаємо число замін ТЗ за розрахунковий період у варіанті А:

$$N_3 = \frac{T}{T_{\text{IH}}} - 1 = \frac{12}{6} - 1 = 1 \text{ (раз)}$$

Дисконтовані капіталовкладення у варіанті А будуть дорівнювати:

$$K_{\text{H(A)}} = K_0 + \frac{K_0}{(1+E)^6} = 10000 + \frac{10000}{(1+0,1)^6} = 15640 \text{ (у.о.)}$$

Визначаємо СДЗ варіантів, що порівнюються, з врахуванням одноразової заміни обладнання у варіанті А у кінці шостого року експлуатації:

$$\text{СДЗ}_A = 15640 + (7010 - 1670) \cdot 6,8137 = 52029,9 \text{ (у. о.)};$$

$$\text{СДЗ}_B = 16000 + (4500 - 1328 + 627,5) \cdot 6,8137 = 41888,65 \text{ (у. о.)}$$

Другий метод передбачає розрахунок річних СДЗ, що визначаються виходячи з нормативного терміну служби ТЗ, що оцінюються, тобто відповідно за 6 і 12 років. Знаходимо коефіцієнт ануїтету (коефіцієнт ануїтету перетворює разову виплату у платіжний ряд, з допомогою цього коефіцієнту визначається періодичність виплат) для варіантів, що порівнюються.

При  $E = 0,1$  і  $T = 6$  років:

$$\beta_6 = \frac{1}{4,3553} = 0,2296.$$

При  $E = 0,1$  і  $T = 12$  років:

$$\beta_{12} = \frac{1}{6,8137} = 0,14676.$$

$$СДЗ_{А(ГОД)} = 10000 \cdot 0,2296 + (7010 - 1670) = 7636,05.$$

$$СДЗ_{В(ГОД)} = 16000 \cdot 0,14676 + (4500 - 1328 + 62705) = 6147,71.$$

Визначаємо СДЗ варіантів за розрахунковий період  $T = 12$  років:

$$СДЗ_A = 7636,05 \cdot 6,8137 = 52029,75 \text{ (у. о.)}.$$

$$СДЗ_B = 6147,71 \cdot 6,8137 = 41888,65 \text{ (у. о.)}.$$

Висновок. Обидва методи розрахунку приводять до тотожного результату. Вибір однозначно потрібно виконати на користь варіанта В.

**Задача 1.6.** Є два альтернативних проекти затратного характеру, що мають неоднаковий розподіл поточних затрат по роках розрахункового періоду. Попередній аналіз показав, що в проекті А задіяне більш дешево, але в той же час менш довговічне обладнання, ніж у проекті В, причому затрати на енергоресурси в цьому проекті вищі. Розрахунковий період дорівнює терміну служби основного технічного обладнання і складає 6 років. Окремі недовговічні технічні засоби, що задіяні в проекті А, потребують заміни через 3 роки. Вихідні дані наведені в таблицях 5 та 6.

Таблиця 5 – Вихідні дані. Проект А

Показники	Роки						
	0	1	2	3	4	5	6
Капіталовкладення, у. о.	10000			3000			
Поточні витрати, в т. ч.:		6800	7000	7000	7100	7300	7300
Затрати на енергоресурси		4430	4630	4630	4730	4930	4930
Амортизація		1670	1670	1670	1670	1670	1670
Затрати на ТО та ТР		700	700	700	700	700	700

Таблиця 6 – Вихідні дані. Проект В

Показники	Роки						
	0	1	2	3	4	5	6
Капіталовкладення, у. о.	14000						
Поточні витрати, в т. ч.:		7200	7400	7500	7600	7600	7700
Затрати на енергоресурси		3882	4082	4182	4282	4282	4382
Амортизація		2338	2338	2338	2338	2338	2338
Затрати на ТО та ТР		980	980	980	980	980	980

Потрібно проаналізувати доцільність придбання того чи іншого обладнання, якщо відомо:

- прийнята норма дисконту  $E = 0,1$ ;
- розрахунковий період дорівнює нормативному терміну служби обладнання;
- підприємство звільнене від податку на прибуток;
- податок на майно в розрахунках не враховується;
- річна норма амортизації обладнання  $H_A = 16,7\%$ .

#### Розв'язок

1. Визначаємо число замін обладнання за розрахунковий період:

$$N_3 = \frac{T}{T_{\text{сл}}} - 1 = \frac{6}{3} - 1 = 1,$$

де  $T$  – розрахунковий період;  $T_{\text{сл}}$  – термін служби обладнання, що підлягає заміні.

2. Для варіанта А визначаємо капіталовкладення, що приведені до початку розрахункового періоду:

$$K_{H(A)} = K_0 + \frac{K_3}{(1 + E)^3},$$

де  $K_0$  – початкові капіталовкладення;  $K_3$  – вторинні капіталовкладення в часткову заміну обладнання.

$$K_{H(A)} = 10000 + \frac{3000}{(1 + 0,1)^3} = 12254 \text{ (у.о.)}.$$

3. Сукупні дисконтовані затрати при  $C_t = \text{var}$  визначаються з виразів:

$$\begin{aligned} \text{СДЗ}_A = (K_{HA} + \sum_{t=1}^T \frac{C_{1A} - A_{1A}}{(1+E)^t}) &= 12254 + \frac{6800 - 1670}{1,1} + \frac{7000 - 1670}{1,1^2} + \\ &+ \frac{7000 - 1670}{1,1^3} + \frac{7100 - 1670}{1,1^4} + \frac{7600 - 1670}{1,1^5} + \frac{7300 - 1670}{1,1^6} = 35276 \text{ (y.o.)}. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{СДЗ}_B = (K_{HB} + \sum_{t=1}^T \frac{C_{1B} - A_{1B}}{(1+E)^t}) &= 14000 + \frac{7200 - 2338}{1,1} + \frac{7400 - 2338}{1,1^2} + \\ &+ \frac{7500 - 2338}{1,1^3} + \frac{7600 - 2338}{1,1^4} + \frac{7600 - 2338}{1,1^5} + \frac{7700 - 2338}{1,1^6} = 36391 \text{ (y.o.)}. \end{aligned}$$

Висновок. По показнику СДЗ варіанти, що порівнюються, практично рівноцінні. В той же час другий варіант придатніший через технічні переваги: в ньому використовується більш надійне обладнання і нижче витрата енергоресурсів.

З метою вибору оптимального варіанту з декількох ЕЗ другої групи рекомендується використовувати наступні критерії: максимум чистого дисконтованого доходу ЧДД за розрахунковий період; максимальний індекс дохідності ІД проекту; мінімальний термін окупності капіталовкладень; максимальна внутрішня норма дохідності проекту ВНД. Потрібно відмітити, що при порівняльному аналізі варіантів засобів енергозбереження ЗЕ вище перераховані критерії ефективності можуть привести до протилежних результатів. В цьому випадку інвестор повинен сам обрати пріоритетний критерій ефективності виходячи з економічної ситуації, що склалася.

**Задача 1.7.** З метою зниження тепло споживання об'єкта припускається придбати регулятори витрат тепла. Інвестору пропонується на вибір два альтернативних енергозберігаючих проекти. Обладнання в проекті В більш дороге, але в той же час цей проект забезпечує більш значну економію палива. Вихідні дані наведені в таблиці 7.

Таблиця 7 – Вихідні дані

Показники	Позначення	Варіанти ЕЗ	
		А	В
1. Економія палива(газ), тис. м <sup>3</sup>	$\Delta B_H$	55,5	111
2. Капіталовкладення, у. о.	К	1450	3500
3. Затрати на ремонт, у. о.	Р	148,5	197
4. Ціна палива, у. о./ тис. м <sup>3</sup>	$\text{Ц}_H$	27	27
5. Термін служби технічних засобів, років	Т	6	6

Ліквідаційна вартість в розрахунках не враховується. Підприємство звільнене від податку на прибуток та на майно. Норма дисконту  $E = 0,1$ . Потрібно обрати економічно доцільний варіант.

#### Розв'язок

Визначаємо вартість зекономленого палива:

$$E_{T(A)} = C_H \Delta B_{HI} = 27 \cdot 55,5 = 1498,5 \text{ (у. о.)};$$

$$E_{T(B)} = C_H \Delta B_{HI} = 27 \cdot 111 = 2997 \text{ (у. о.)}.$$

Враховуючи, що об'єкт звільнений від податку на прибуток, щорічний дохід визначається за формулою:

$$E = E_T - P - A + A = E_T - P.$$

$$D_A = 1498,5 - 148,5 = 1350 \text{ (у. о.)};$$

$$D_B = 2997 - 197 = 2800 \text{ (у. о.)}.$$

Визначаємо критерії ефективності інвестиційних проєктів, враховуючи, що дисконтуючий множник при розрахунковому періоді  $T = 6$  років і нормі дисконту  $E = 0,1$  складає  $\alpha_6 = 4,355$  років.

Чистий дисконтований дохід:

$$\text{ЧДД}_1 = 1350 \cdot 4,355 - 1450 = 4430 \text{ (у. о.)};$$

$$\text{ЧДД}_2 = 2800 \cdot 4,355 - 3500 = 8695 \text{ (у. о.)}.$$

Індекс прибутковості інвестицій:

$$\text{ІП}_1 = \frac{4430}{1450} + 1 = 4,05;$$

$$\text{ІП}_2 = \frac{8695}{3500} + 1 = 3,48.$$

Для визначення внутрішньої норми доходу і динамічного терміну окупності інвестицій знаходимо граничне значення динамічного множника для варіантів, що порівнюються. Ця величина рівна статичному терміну окупності інвестицій і визначається з виразів:

$$\alpha_{T(PP)1} = \frac{K_1}{D_1} = \frac{1450}{1350} = 1,0741 \text{ (року)};$$

$$\alpha_{T(PP)2} = \frac{K_2}{D_2} = \frac{3500}{2800} = 1,25 \text{ (року)}.$$

Використовуючи табличні значення Додатку1, за формулами лінійної інтерполяції визначаємо шукані показники:

$$ВНД_1 = 0,9 + (0,95 - 0,9) \frac{1,0909 - 1,0741}{1,0909 - 1,0335} = 0,91;$$

$$ВНД_2 = 0,75 + (0,8 - 0,75) \frac{1,3068 - 1,25}{1,3068 - 1,2132} = 0,77.$$

$$T_{01} = 1 + (2 - 1) \frac{1,0741 - 0,909}{1,736 - 0,909} = 1,19 \text{ (року)};$$

$$T_{02} = 1 + (2 - 1) \frac{1,25 - 0,909}{1,736 - 0,909} = 1,41 \text{ (року)}.$$

Розрахункові значення показників ефективності варіантів ЕЗЗ представлені в таблиці 8.

Таблиця 8 – Показники ефективності варіантів ЕЗЗ

Показники	Варіант 1	Варіант 2	Варіант, що є переважнішим за даним критерієм
1. Капіталовкладення, тис. грн.	1450	3500	1
2. Вартість зекономленого палива, у. о.	1498,5	2997	2

Продовження таблиці 8

3. Річний дохід, у. о.	1350	2800	2
4. ЧДД, тис. грн.	4430	8695	2
5. Індекс прибутковості інвестицій, відн. од.	4,05	2,48	1
6. Термін окупності, років	1,19	1,41	1
7. ВНД, %	91	77	1

Висновок. Обидва проекти доцільні, але показники неоднозначно характеризують їх ефективність: за щорічним доходом та чистому дисконтованому доходу за розрахунковий період краще другий варіант, але за індексом прибутковості, терміну окупності та ВНД – перший. В цьому випадку інвестор повинен прийняти рішення виходячи з економічної ситуації, що в них склалася. В умовах дефіциту інвестиційних ресурсів потрібно обрати перший проект, а в умовах обмеження ПЕР – другий.

**Задача 1.8.** Є два варіанти альтернативних інвестиційних проекти з різними термінами служби. Доходи проектів незмінні по роках розрахункового періоду ( $D_t = \text{const}$ ). Обрати доцільний варіант, якщо норма дисконту  $E = 0,1$ , а розрахунковий період  $T = 10$  років. Вихідні дані наведені в таблиці 9.

Таблиця 9 – Вихідні дані

Показники	Варіант А	Варіант В
1. Капіталовкладення, тис.у. о.	4000	1900
2. Дохід, тис.у. о./рік	1400	750
3. Розрахунковий період, років	10	10
4. Термін служби ТС, років	10	5
5. Норма дисконту, %	10	10

Розв'язок

В цьому випадку так само, як і в задачі 1.5 з різними термінами служби в проектах затратного характеру, можна використовувати два методи розрахунку.

І метод. Визначаємо ЧДД проектів, що порівнюються, за розрахунковий період, враховуючи, що дисконтуючий множник при  $T = 10$  років і  $E = 0,1$  дорівнює 6,1446.

$$\text{ЧДД}_A = 1400 \cdot 6,1446 - 4000 = 4062 \text{ (тис. у. о.)}$$

Для того, щоб визначити ЧДД для варіанта В, необхідно попередньо розрахувати число заміни обладнання за розрахунковий період, оскільки в цьому проекті термін служби технічних засобів менший, ніж розрахункова межа:

$$N_{з(В)} = \frac{10}{5} - 1 = 1.$$

Тобто здійснюється одна заміна через 5 років.

Отже, дисконтовані капіталовкладення в проекті В:

$$K_{Н(В)} = 1900 + \frac{1900}{1,1^5} = 3080 \text{ (тис. у.о.)}.$$

$$\text{ЧДД}_В = 750 \cdot 6,1446 - 3080 = 1528 \text{ (тис. у. о.)}.$$

II метод. Виконаємо розрахунок враховуючи, що дисконтуючий множник при  $T = 5$  років і  $E = 0,1$  дорівнює 3,7908 року:

$$\text{ЧДД}_А = 1400 \cdot 6,1446 - 4000 \frac{6,1446}{6,1446} = 4062 \text{ (тис. у.о.)};$$

$$\text{ЧДД}_В = 750 \cdot 6,1446 - 1900 \frac{6,1446}{3,7908} = 1528 \text{ (тис. у.о.)}.$$

Маємо змогу переконатися, що результати розрахунків, виконані двома різними методами, практично співпадають.

Індекс прибутковості варіантів, що порівнюються:

$$\text{ІП}_А = \frac{4062}{4000} + 1 = 2,015;$$

$$\text{ІП}_В = \frac{1528}{3080} + 1 = 1,5.$$

Статичний термін окупності:

$$T_{ОА}^{(СТ)} = \frac{4000}{1400} = 2,86 \text{ (року)};$$

$$T_{ОВ}^{(СТ)} = \frac{1900}{750} = 2,53 \text{ (року)}.$$

Динамічний термін окупності визначається за допомогою Додатку 1.при  $\alpha_{T(PP)1} = 2,86$  роки і  $\alpha_{T(PP)2} = 2,53$  роки і уточнюється за формулою лінійної інтерполяції:

$$T_{OA} = T_{MIN} + (T_{MAX} - T_{MIN}) \frac{\alpha_{T(PP)1} - \alpha_{MIN}}{\alpha_{MAX} - \alpha_{MIN}} =$$

$$= 3 + (4 - 3) \cdot \frac{2,86 - 2,487}{3,17 - 2,487} = 3,55 \text{ (роки);}$$

$$T_{OB} = T_{MIN} + (T_{MAX} - T_{MIN}) \frac{\alpha_{T(PP)2} - \alpha_{MIN}}{\alpha_{MAX} - \alpha_{MIN}} =$$

$$= 3 + (4 - 3) \cdot \frac{2,53 - 2,487}{3,17 - 2,487} = 3,06 \text{ (роки).}$$

Результати розрахунків представлені в таблиці 10.

Таблиця 10 – Показники ефективності варіантів ЕЗЗ

Показники	Варіант 1	Варіант 2	Варіант, що є більш переважним за даним критерієм
1. Капіталовкладення, тис. у. о.	4000	1900	2
2. Річний дохід, у. о.	1400	750	1
3. ЧДД, тис. грн.	4062	1528	1
4. Індекс прибутковості інвестицій, відн.од.	2,15	1,5	1
5. Динамічний термін окупності, років	3,55	3,06	2
6. Статичний термін окупності, років	2,86	2,53	2

Аналіз показує, що проєкт А, в якому задіяне більш довготривале ТС, кращий практично по усім показникам. Однак, якщо орієнтуватися на термін окупності, то кращим виявиться проєкт В. Тому в цій ситуації для об'єктивної оцінки варіантів, що порівнюються, термін окупності неприпустимий, як основний показник оцінювання. Його можна використовувати в якості додаткового показника для всебічної оцінки порівнюваних проєктів.

**Задача 1.9.** На підприємстві передбачається заміна діючої вентиляційної установки на вентиляційну установку з утилізацією тепла. Вихідні дані наведені в таблиці 11. Податок на майно незначний і в розрахунках не враховується.

Таблиця 11 – Вихідні дані

Показники	Позначення	Існуюче обладнання ПВ-2678	Обладнання, що передбачається на заміну, X-266А
1. Енергоресурси, що споживаються, т у.п., в тому числі:	$B_y$	57,42	25,35
– тепла енергія, кВт·год	$Q$	316720	98183
– електроенергія, кВт·год	$W$	28704	34944
2. Капіталовкладення в нове обладнання, у. о.	$K_1$	x	14280
3. Балансова вартість діючого обладнання, у. о.	$K_2$	10320	x
4. Ціна реалізації старого обладнання при заміні (з вирахуванням) податку, у. о.	$Ц_{ГР}$	2000	x
5. Термін служби обладнання, років	$T$	9	9
6. Час експлуатації діючого обладнання до заміни, років	$T_E$	6	x
7. Норма амортизації, %	$H_A$	11,1	11,1
8. Затрати на ТО та ТР, у. о.	$P$	722,4	999,6
9. Ціна теплової енергії для підприємства, у. о./кВт·год	$Ц_Q$	0,02	0,02
10. Тариф на електроенергію, у. о./кВт·год	$Ц_W$	0,034	0,034
11. Ставка податку на прибуток, %	$C_{НП}$	25	25
12. Норма дисконту, %	$E$	10	10

## Розв'язок

1. Розрахунок сукупних дисконтованих затрат в базовому варіанті.

1.1. Поточні витрати в базовому варіанті, в розрахунку на 1 рік (за існуючого обладнання).

Затрати на теплову енергію:

$$T_1 = 0,02 \cdot 316720 = 6334,4 \text{ (у. о.)}$$

Затрати на електроенергію:

$$EE_1 = 0,034 \cdot 28704 = 975,9 \text{ (у. о.)}$$

Амортизаційні відрахування:

$$A_1 = 0,01 \cdot 11,1 \cdot 10320 = 1145,5 \text{ (у. о.)}$$

Витрати на ТО та ТР обладнання приймаємо за умовою:

$$P_1 = 722,4 \text{ (у. о.)}$$

Річні витрати базового варіанта:

$$C_1 = 6334,4 + 975,9 + 1145,5 + 722,4 = 9178,3 \text{ (у. о.)}$$

1.2. Визначаємо дисконтуючий множник при  $T-T_0$  і при  $T$ :

$$\alpha_{(T_1-T_2)} = 2,4869 \text{ (роки)}$$

$$\alpha_{T_1} = 5,759 \text{ (роки)}$$

1.3. Визначаємо сукупні дисконтовані затрати для базового варіанта при розрахунковому періоді  $T = \infty$ :

$$\begin{aligned} \text{СДЗ}_1 &= (C_1 - A_1 + \text{НИ}_1) \alpha_{(T_1-T_0)} + ((C_1 - A_1 + \text{НИ}_1) \alpha_{T_1} + K_1) \frac{(1+E)^{T_0}}{(1+E)^{T_1} - 1} = \\ &= (9178,3 - 1145,5) \cdot 2,4869 + ((9178,3 - 1145,5) \cdot 5,759 + 10320) \frac{(1+0,1)^6}{(1+0,1)^9 + 1} = \\ &= 93807 \text{ (у.о.)} \end{aligned}$$

2. Розрахунок сукупних дисконтованих затрат в новому варіанті.

2.1. Поточні витрати в новому варіанті, в розрахунку на рік (при застосування енергозберігаючого обладнання).

Затрати на теплову енергію:

$$T_2 = 0,02 \cdot 98183 = 1963,7 \text{ (у. о.)}.$$

Затрати на електроенергію:

$$EE_2 = 0,034 \cdot 34944 = 1188 \text{ (у. о.)}.$$

Амортизаційні відрахування:

$$A_2 = 0,01 \cdot 11,1 \cdot 14280 = 1585 \text{ (у. о.)}.$$

Витрати на ТО та ТР обладнання приймаємо за умовою:

$$P_2 = 999,6 \text{ (у. о.)}.$$

Річні витрати нового варіанта:

$$C_2 = 1963,7 + 1188 + 1585 + 999,6 = 5736,3 \text{ (у. о.)}.$$

2.2. Визначаємо збільшення податку на прибуток у новому варіанті:

$$\Delta \text{НП} = (C_1 - C_2) \cdot 0,25 = (9178,3 - 5736,3) \cdot 0,25 = 860,5 \text{ (у. о.)}.$$

2.3. Оскільки в нашому варіанті  $T_1 = T_2$ , то дисконтуючий множник при  $T_2$ :

$$\delta_{T_2} = 5,759 \text{ (роки)}.$$

2.4. Визначаємо сукупні дисконтовані затрати для нового варіанта при розрахунковому періоді  $T = \infty$ :

$$\begin{aligned} \text{СДЗ}_2 &= ((C_2 - A_2 + \text{НИ}_2) \alpha_{T_2} + K_2) \frac{(1 + E)^{T_2}}{(1 + E)^{T_2} - 1} - \text{Ц}_{\text{пп}} = \\ &= ((5736,3 - 1585 + 860,5) \cdot 5,759 + 14280) \frac{(1 + 0,1)^9}{(1 + 0,1)^9 - 1} - 2000 = 72699 \text{ (у.о.)}. \end{aligned}$$

Висновок. Оскільки  $\text{СДЗ}_1 > \text{СДЗ}_2$ , заміна старого обладнання є ефективною.

3. Визначаємо показники ефективності нового обладнання.

3.1. Приріст чистого прибутку:

$$\text{ЧП} = (C_1 - C_2) - \Delta \text{НП} = 9178,3 - 5736,3 - 860,5 = 2581,5 \text{ (у. о.)}.$$

3.2. Річний дохід:

$$Д = ЧП + (A_2 - A_1) = 2581,5 + (1585 - 1145,5) = 3021 \text{ (у. о.)}.$$

3.3. ЧДД проекту за термін служби ТС (9 років) визначається з виразу:

$$ЧДД = Д \cdot \alpha_T - (K_2 - Ц_{\text{ПР}}) = 3021 \cdot 5,759 - (14280 - 2000) = 5117,9 \text{ (у. о.)}.$$

3.4. Індекс прибутковості проекту:

$$ІП = \frac{ЧДД}{K_2 - Ц_{\text{ПР}}} + 1 = \frac{5117,9}{14280 - 2000} + 1 = 1,42.$$

3.5. Для розрахунку терміну окупності капіталовкладень визначаємо граничне значення дисконтуючого множника:

$$\alpha_{T(\text{ПР})} = \frac{K - Ц_{\text{ПР}}}{Д} = \frac{14280 - 2000}{3021} = 4,06.$$

З Додатку 1, застосувавши метод лінійної інтерполяції, знаходимо значення терміну окупності інвестицій:  $T_0 = 5,5$  роки.

**Задача 1.10.** У виробничому процесі задіяне морально застаріле енергоємне обладнання, яке в даний час не випускається промисловістю. При модернізації виробництва морально застаріле обладнання передбачається замінити сучасним, що забезпечує суттєве зниження енергозатрат.

Потрібно розрахувати ефективність заміни діючого обладнання на більш прогресивне і зробити висновок щодо ефективності проекту для випадків:

а) обладнання, що замінюється, не може бути використане на підприємстві і не підлягає продажу;

б) обладнання, що замінюється, в подальшому не буде використовуватися, але може бути негайно реалізоване за остаточною вартістю.

Вихідні дані.

Балансова вартість обладнання, що замінюється ( $C_{\text{Об1}}=21$  тис. у. о.); вартість придбання нового обладнання ( $C_{\text{Об2}} = 27$  тис. у. о.); коефіцієнт, що враховує затрати на монтаж обладнання ( $k_M=0,12$ ).

Річні поточні витрати:

- до заміни обладнання ( $C_1 = 22$  тис. у. о.);
- після заміни ( $C_2 = 16$  тис. у. о.).

Норма амортизації обладнання ( $p_A = 14,3\%$ ); термін окупності старого обладнання до заміни ( $T_{\text{Э}} = 3$  роки); підприємство сплачує податок на прибуток за ставкою ( $c_{\text{НП}} = 25\%$ ); норма дисконту ( $E = 0,1$ ).

#### Розв'язок

1. Визначаємо капіталовкладення в нове обладнання:

$$K_{\text{НОВ}} = C_{\text{ОБ2}} \cdot (1 + k_M) = 27 \cdot (1 + 0,12) = 30,24 \text{ (тис. у. о.)}$$

2. Визначаємо економію поточних витрат:

$$\Delta C = C_1 - C_2 = 22 - 16 = 6 \text{ (тис. у. о.)}$$

3. Визначаємо приріст чистого прибутку:

$$\text{ЧП} = (C_1 - C_2) \cdot \left( \frac{1 - c_{\text{НП}}}{100} \right) = 6 \cdot (1 - 0,25) = 4,5 \text{ (тис. у. о.)}$$

4. Визначаємо амортизаційні відрахування по варіантам, що порівнюються:

$$A_1 = \frac{p_A}{100} \cdot C_{\text{ОБ1}} = \frac{14,3}{100} \cdot 21 = 3 \text{ (тис. у.о.)};$$

$$A_2 = \frac{p_A}{100} \cdot K_{\text{НОВ}} = \frac{14,3}{100} \cdot 30,24 = 4,32 \text{ (тис. у.о.)}$$

5. Визначаємо річний дохід від інвестицій:

$$D_t = \text{ЧП} + (A_2 - A_1) = 4,5 + (4,32 - 3) = 5,82 \text{ (тис. у. о.)}$$

**Задача 1.11.** Інвестиції в проєкт, без вартості ліцензії, – 4000 тис. грн. Проєкт забезпечує постійний річний дохід 1300 тис. грн. протягом 7 років. Ліквідаційна вартість активів в кінці розрахункового періоду – 400 тис. грн. Прийнята ліцензійна ставка – 0,16. Процентна ставка по діловим операціям ліцензування – 0,12. Проєкт фінансується за рахунок власних коштів ліцензіата.

Потрібно визначити граничну вартість ліцензії, розмір щорічних виплат ліцензіару та ефект ліценціата.

#### Розв'язок

Чистий дисконтований дохід проєкту за умови безкоштовної передачі ліцензії визначається за формулою:

$$\text{ЧДД} = D_t \alpha_T + \frac{Л}{(1+E)^T} - K,$$

де  $\alpha_T$  – динамічний множник, що визначається при  $T = 7$  років і  $E = 0,16$ .

Таким чином,

$$\text{ЧДД} = 1300 \cdot 4,0386 + \frac{400}{(1+0,16)^7} - 4000 = 1392 \text{ (тис. грн.)}.$$

ЧДД використовується для визначення верхньої межі капіталовкладень та ціни ліцензії. Сума капіталовкладень та ціни ліцензії не повинна перевищувати  $5392 \cdot (4000 + 1392)$  тис. грн. У випадку більш високої ціни прибутковість капіталовкладень буде нижчою 16%, і проєкт стає не вигідним.

Ліцензіар, за умовами досягнутого договору про передачу ліцензій, отримує 26% від ЧДД, що складає  $362 \cdot (0,26 \cdot 1392)$  тис. грн. Платежі виплачуються щорічно рівними частинами протягом семи років з врахуванням процентної ставки по діловим операціям ліцензування ( $E_L = 0,12$ ).

Щорічна виплата ліцензіару визначається за формулою:

$$P_L = \frac{Ц_L}{\alpha_{TL}} = \frac{362}{4,5641} = 79,3 \text{ (тис. грн.)},$$

де  $Ц_L$  – ціна ліцензії (362 тис. грн.);  $\alpha_{TL}$  – дисконтуючий множник, що визначається за  $T = 7$  років і  $E_L = 0,12$ .

ЧДД ліценціата, з врахуванням поточних виплат за ліцензію, визначається за формулою:

$$\begin{aligned} E_{LT} &= (D_t - P_L) \alpha_T + \frac{Л}{(1+E)^T} - K = (1300 - 79,3) \cdot 4,0388 + \frac{400}{(1+0,16)^7} - 4000 \\ &= 1072 \text{ (тис. грн.)}. \end{aligned}$$

ЧДД ліцензіата за рахунок поточних виплат за ліцензію зменшується на 320 тис. грн. (1392-1072). Потрібно звернути увагу на не збігання відсоткових ставок  $E$  та  $E_L$  ( $E > E_L$ ). З цієї причини зменшення ЧДД ліцензіата складає 320 тис. грн., що відрізняється від ціни ліцензії на 362 тис. грн. При оплаті ліцензії на початку розрахункового періоду ефект інвестора складе  $1030 \cdot (1392 - 362)$  тис. грн. За умовами даного прикладу, ліцензіату більш вигідні поточні платежі. В порівнянні з попередніми, тобто з оплатою в початку періоду, вони дозволяють отримати додатковий ефект  $42 \cdot (362 - 320)$  тис. грн. Таким чином, при  $E > E_L$  ліцензіату вигідно переносити оплату ліцензії на більш пізній термін, а при  $E < E_L$  – на більш ранній.

**Задача 1.12.** Здійснення проєкту з використанням ліцензії забезпечує отримання доходу ліцензіатом протягом 12 років. ЧДД за цей період дорівнює 5 млн. грн. за умови безкоштовної передачі ліцензії. Ліцензія продається за 2 млн. грн. Попередній платіж складає 0,3 млн. грн. Решта  $1,7 \cdot (2 - 0,3)$  млн. грн., за умовами договору, повинна бути виплачена протягом 8 років рівними щорічними платежами з врахуванням відсотків. Отже, платежі здійснюються за період, що менший терміну інвестиційного проєкту. Ставка за поточними платежами рівна 10%. Термін першого поточного платежу настає через рік після попереднього, тобто на початку другого року.

#### Розв'язок

Величина поточного платежу визначається за формулою:

$$P_{\text{ТЕК}} = \frac{(C_L - P_{\text{ПР}})(1 + E_L)^T}{\alpha_{\text{ТЛ}}},$$

що за умовами нашого договору складе:

$$P_{\text{ТЕК}} = \frac{(2 - 0,3)(1 + 0,1)^1}{5,3349} = 350,52 \text{ (тис. грн.)}.$$

Коефіцієнт  $\alpha_{\text{ТЛ}}$  визначається з Додатку 1 при ставці  $E_L = 10\%$  і терміні 8 років.

Практично в багатьох випадках ліцензіар розділяє ризик ліцензіата, і поточні платежі визначаються приблизно до прибутку ліцензіата. При збільшенні чи зменшенні прибутку виплати ліцензіару, відповідно, збільшуються чи зменшуються.

## 2. ЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕПЛОВОЇ ІЗОЛЯЦІЇ ТА ТЕПЛООБМІННИКІВ

**Задача 2.1.** Визначити річну економію умовного палива при виконанні теплової ізоляції парового колектора. Температура зовнішньої поверхні колектора дорівнює температурі пари і складає  $t_{\text{пар}}=190^{\circ}$ . Діаметр колектора  $d_1=450$  мм. Його довжина  $l=22$  м. Температура повітря в приміщенні  $t_{\text{пов}}=20^{\circ}$ . Число годин роботи  $\tau=7250$  год. ККД котельні  $\eta_{\text{ку}}=0,86$ . Коефіцієнт випромінювання поверхні колектора  $C=4,6$  Вт/м<sup>2</sup>град.

Розв'язок

Коефіцієнт тепловіддачі конвекції і випромінювання для неізольованого колектору:

$$\alpha_{\text{КОНВ}} = 1,16 \cdot 1,43 \cdot \sqrt[3]{t_{\text{пар}} - t_{\text{пов}}} = 1,16 \cdot 1,43 \cdot \sqrt[3]{190 - 20} = 9,27 \text{ (Вт/м}^2\text{·град);}$$

$$\alpha_{\text{ВИПР}} = \frac{C \left[ \left( \frac{273 + t_{\text{пар}}}{100} \right)^4 - \left( \frac{273 + t_{\text{пов}}}{100} \right)^4 \right]}{t_{\text{пар}} - t_{\text{пов}}} = \frac{4,6 \cdot \left[ \left( \frac{273 + 190}{100} \right)^4 - \left( \frac{273 + 20}{100} \right)^4 \right]}{190 - 20} = 10,63 \text{ (Вт/м}^2\text{·град);}$$

$$\alpha_{\text{неіз}} = \alpha_{\text{КОНВ}} + \alpha_{\text{ВИПР}} = 9,27 + 10,63 = 19,9 \text{ (Вт/м}^2\text{·град);}$$

Теплові втрати з 1 м неізольованого колектора:

$$q_{\text{неіз}} = 3,14 \cdot d_1 \cdot \alpha_{\text{неіз}} \cdot (t_{\text{пар}} - t_{\text{пов}}) \cdot 3,6 = 3,14 \cdot 0,45 \cdot 19,9 \cdot (190 - 20) \cdot 3,6 = 17,178 \text{ (кДж/год).}$$

Річні втрати:

$$Q_{\text{неіз}} = q_{\text{неіз}} \cdot l \cdot \tau = 17,178 \cdot 2,2 \cdot 7250 \cdot 10^{-6} = 273 \text{ (ГДж).}$$

Для ізоляції застосуємо совелитові плити. Температуру на поверхні ізоляції приймемо  $45^{\circ}$ . Середня температура ізоляційного шару:

$$t_{\text{із}} = \frac{190 + 45}{2} = 117,5^{\circ};$$

Коефіцієнт теплопровідності матеріалу ізоляції:

$$\lambda_{\text{ізол}} = (0,085 + 0,00009 \cdot t_{\text{із}}) \cdot 1,16 = (0,085 + 0,00009 \cdot 117,5) \cdot 1,16 = 0,097 \text{ (Вт/м}^* \text{град)}.$$

Приймаємо товщину ізоляцію( $\Delta$ )70мм, тоді зовнішній діаметр труби  $d_2 = 590$ мм.

$$\ln \frac{d_2}{d_1} = \ln \frac{590}{450} = 0,27.$$

Коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha_{\text{ізол}} = [8,1 + 0,045 \cdot (t_{\text{пов.ізол}} - t_{\text{пов}})] \cdot 1,16 = [8,1 + 0,045 \cdot (45 - 20)] \cdot 1,16 = 10,7 \text{ (Вт/м}^2 \cdot \text{град)};$$

Теплові втрати з 1м ізольованого колектора:

$$q_{\text{ізол}} = \frac{3,14 \cdot (t_{\text{пар}} - t_{\text{пов}})}{\ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2 \lambda_{\text{ізол}}}} = \frac{3,14 \cdot (190 - 20)}{0,27 + \frac{1}{2 \cdot 0,097}} = 344,8 \text{ (Вт)}$$

Знайдемо товщину ізоляційного шару:

$$\ln \frac{d_2}{d_1} = 2 \cdot 3,14 \cdot \sigma_{\text{ізол}} \cdot \frac{t_{\text{пар}} - t_{\text{пов.ізол}}}{q_{\text{пит}}} = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,097 \cdot \frac{190 - 45}{344,8} = 0,256$$
$$\frac{d_2}{d_1} = e^{0,256} = 2,718^{0,256} = 1,29$$

$$d_2 = 1,29 \cdot d_1 = 1,29 \cdot 450 = 580 \text{ (мм)}$$

Товщина ізоляції:

$$\Delta_{\text{із}} = \frac{580 - 450}{2} = 65 \text{ (мм)}.$$

Вона не співпадає з прийнятою на 5мм, що менше 10%.

Визначимо дійсну температуру на поверхні ізоляції:

$$t_{\text{д. пов. ізол}} = t_{\text{пов}} + \frac{q_{\text{ізол}}}{3,14 d_2 \sigma_{\text{ізол}}} = 20 + \frac{344,8}{3,14 \cdot 0,58 \cdot 10,7} = 37,4^\circ \text{C}.$$

Річні втрати теплової енергії ізольованого колектора:

$$Q_{\text{ізол}} = 1 \cdot q_{\text{ізол}} \cdot \tau \cdot 10^{-6} \cdot 3,6 = 2,2 \cdot 344,8 \cdot 7250 \cdot 10^{-6} \cdot 3,6 = 19,8 (\text{ГДж}).$$

Річна економія тепла:

$$\Delta Q = Q_{\text{неіз}} - Q_{\text{ізол}} = 273 - 19,8 = 253,2 (\text{ГДж}).$$

Річна економія палива:

$$\Delta B = \frac{\Delta Q \cdot 10^{-3}}{Q_{\text{н}}^{\text{р}} \cdot \eta_{\text{КВ}}} = \frac{253,2 \cdot 10^3}{29303 \cdot 0,86} = 10 (\text{тон у.п.}),$$

де  $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$  - нижча робоча теплота згоряння умовного палива.

**Задача 2.2.** Визначити кількість тепла, який віддає газ в котлах-утилізаторах котельні спиртзаводу для отримання гарячої води, якщо температура газів на вході в котлах-утилізаторах  $v=320^\circ\text{C}$ , а температура газів на виході  $v'=200^\circ\text{C}$ . Коефіцієнт надлишку повітря  $\alpha_{\text{в}}=1,4$ . Середня об'ємна теплоємність газів  $C_{\text{гор}}=1,415$  кДж/м<sup>3</sup>град. Витрата палива одним котлоагрегатом 0,2кг/с. В котельні встановлені два котлоагрегати, які працюють на вугіллі складом:  $C^{\text{р}}=49,3\%$ ,  $H^{\text{р}}=3,6\%$ ,  $S^{\text{р}}=3,0\%$ ,  $N^{\text{р}}=1\%$ ,  $O^{\text{р}}=8,3\%$ ,  $A^{\text{р}}=21,8\%$ ,  $W^{\text{р}}=13,0\%$ .

Розв'язок

Теоретичний об'єм повітря:

$$V^{\circ} = 0,089 \cdot C^{\text{р}} + 0,266 \cdot H^{\text{р}} + 0,039 \cdot (S^{\text{р}} - O^{\text{р}}) = 0,089 \cdot 49,3 + 0,266 \cdot 3,6 + 0,033 \times \\ \times (3,0 - 8,3) = 5,17 (\text{м}^3 / \text{кг})$$

Теоретичний об'єм газів:

$$\begin{aligned} V_r^o &= 0,0187 \cdot (C^p + 0,375 \cdot S^p) + 0,79 \cdot V^o + 0,8 \cdot \left( \frac{N^p}{100} \right) + 0,0124 \cdot (9 \cdot H^p + W^p) + \\ &+ 0,0161 = 0,0187 \cdot (49,3 + 0,375 \cdot 3) + 0,79 \cdot 5,17 + 0,8 \cdot \frac{1}{100} + 0,0124 \cdot (9 \cdot 3,6 + 13) + \\ &+ 0,0161 \cdot 5,17 = 5,67 (\text{м}^3 / \text{кг}) \end{aligned}$$

Витрата газів перед утилізатором:

$$\begin{aligned} V_r &= n \cdot B_p \cdot [V_r^o + (\alpha_y - 1) \cdot V^o] \cdot \left( \frac{v + 273}{273} \right) = 2 \cdot 0,25 \cdot [5,67 + (1,4 - 1) \cdot 5,17] \times \\ &\times \left( \frac{320 + 273}{273} \right) = 8,4 (\text{м}^3 / \text{с}) \end{aligned}$$

Витрата газів за утилізатором:

$$\begin{aligned} V_r' &= n \cdot B_p \cdot [V_r^o + (\alpha_y - 1) \cdot V^o] \cdot \left( \frac{v + 273}{273} \right) = 2 \cdot 0,25 \cdot [5,67 + (1,4 - 1) \cdot 5,17] \times \\ &\times \left( \frac{200 + 273}{273} \right) = 6,7 (\text{м}^3 / \text{с}) \end{aligned}$$

Середня витрата газів при їх охолодженні в утилізаторі з 320°C до 200°C:

$$V_{\text{ср}} = (V_r + V_r') / 2 = (8,4 + 6,7) / 2 = 7,55 (\text{м}^3 / \text{с}).$$

Кількість теплоти, що віддається газом:

$$Q_r = V_{\text{ср}} \cdot C'_{\text{ср}} \cdot (v - v') = 7,55 \cdot 1,415 \cdot (320 - 200) = 1282 \text{ (кДж/с)}.$$

**Задача 2.3.** Визначити кількість виробленої теплоти у вигляді пари в котлі утилізаторі (КУ) за рахунок теплоти відхідних газів трьох хлібопечей, якщо температура газів на виході з печей  $v = 700$  °С, температура газів на виході з котла утилізатора  $v' = 200$ °С, коефіцієнт надлишку повітря за КУ  $\alpha_y = 1,3$ ; витрата палива трьома печами  $B = 0,05$  м<sup>3</sup>/с. Коефіцієнт, який враховує невідповідність режиму і числа годин роботи КУ і печей  $\beta = 1$ ; коефіцієнт

втрати теплоти  $\xi = 0,1$ . Печі працюють на газі складом  $CO_2 = 0,2\%$ ,  $CH_4 = 98,2\%$ ,  $C_2H_2 = 0,4\%$ ,  $C_3H_3 = 0,1\%$ ,  $C_4H_{10} = 0,1\%$ ,  $N_2 = 1,0\%$ .

### Розв'язок

Теоретичний об'єм повітря:

$$V^o = 0,0478 \cdot \left[ 0,5 \cdot (CO + H_2) + 1,5 \cdot H_2S + CH_4 + \sum \left( \frac{m+n}{4} \right) \cdot C_m H_n + O_2 \right] = (M^3 / M^3).$$

$$= 0,0478 \cdot [0,5 \cdot (98,2 + 3,5 \cdot 0,4 + 5 \cdot 0,1 + 6,5 \cdot 0,1)] = 9,51$$

Об'єм трьохатомних газів в димових газах:

$$V_{RO_2} = 0,01 \cdot (CO_2 + CO + H_2S + \sum m \cdot C_m H_n) = 0,01 \cdot (0,2 + 98,2 \cdot 2 \cdot 0,4 + 3 \cdot 0,1 + 4 \cdot 0,1) = 1 \quad (M^3 / M^3).$$

Теоретичний об'єм азоту:

$$V_{N_2}^o = 0,79 \cdot V^o + \frac{N_2}{100} = 0,79 \cdot 95,1 + \frac{1}{100} = 7,52 \quad (M^3 / M^3).$$

Теоретичний об'єм водяної пари:

$$V_{H_2O}^o = 0,01 \left[ H_2S + H_2 + \sum \left( \frac{n}{2} \right) \cdot C_m H_n + 0,124 \cdot d_r \right] + 0,0161 \cdot V = 0,01 \times (M^3 / M^3),$$

$$\times (2 \cdot 98,2 + 3 \cdot 0,4 + 4 \cdot 0,1 + 0,5) + 0,0161 \cdot 9,51 = 2,13$$

де  $d_r$  — вологовміст газу віднесений до 1 м<sup>3</sup> вологого газу, (г/м<sup>3</sup>).

Ентальпія газів на виході з печі:

$$I_z = I_z^o + (\alpha_y - 1) \cdot I_{нов}^o = V_{RO_2} + (C_v)_{CO_2} + V_{N_2}^o \cdot (C_v)_{N_2} + V_{H_2O}^o \cdot (C_v)_{H_2O} + (\alpha_y - 1) \times$$

$$\times V^o \cdot (C_v)_{нов} = 1 \cdot 1461 + 7,52 \cdot 946 + 2,13 \cdot 1147 + (1,3 - 1) \cdot 9,51 \cdot 879 = 13811 \quad (кДж / M^3).$$

Теплоємності складових димових газів наведені в таблиці 12.

Таблиця 12 – Теплоємності складових димових газів

t	$(C_v)_{CO_2}$	$(C_v)_{N_2}$	$(C_v)_{O_2}$	$(C_v)_{H_2O}$	$(C_v)_{пов.}$
100	169	130	132	151	132
1000	2202	1394	1478	1725	1436

Ентальпія газів на виході з котла утилізатора:

$$I'_2 = I_2^o + (\alpha_y - 1) \cdot I_{нов}^o = V_{RO_2} + (C_v)_{CO_2} + V_{N_2}^o \cdot (C_v)_{N_2} + V_{H_2O}^o \cdot (C_v)_{H_2O} + (\alpha_y - 1) \times \\ \times V_{нов}^o \cdot (C_v)_{нов} = 1 \cdot 357 + 7,52 \cdot 260 + 2,13 \cdot 304 + (1,3 - 1) \cdot 9,51 \cdot 266 = 5489 \quad (\text{кДж/ м}^3).$$

Кількість виробленої теплоти у вигляді теплоти в котлі утилізаторі:

$$Q_m = B_p \cdot (I_2 - I'_2) \cdot \beta \cdot (1 - \xi) = 0,05 \cdot (13811 - 5489) + 1 \cdot (1 - 0,1) = 375 \quad (\text{кДж/с}).$$

**Задача 2.4.** Визначити необхідну площу поверхні нагріву теплообмінного апарату типу водоповітряного рекуператора для забезпечення ступеня утилізації теплоти стічних вод, рівного 0,8. Стічна вода використовується для попереднього нагрівання дуттєвого (прибув ного) повітря. Поверхня нагріву виконана у вигляді коридорного пучка оребрених труб. Зовнішній діаметр труб  $d = 12$  мм; товщина стінки труби  $\delta = 1$  мм; робоча довжина  $L = 5,2$  м; діаметр круглих ребер  $D = 23$  мм; товщина ребра  $\delta_p = 0,3$  мм; ступінь оребрення  $\psi = 8,2$ ; гідравлічний діаметр  $d_e = 4,7$  мм; теплопровідність матеріалу ребра  $\lambda = 116$  Вт/м·К. Вода рухається по трубах, повітря – в міжтрубному просторі. Число ходів гріючого теплоносія  $z = 5$ . Термічним опором стінки і гідравлічним опором при повороті води в трубах знехтувати. Потужність, що витрачається на прокачування води по трубах, не повинна перевищувати 60 Вт. Швидкість повітря прийняти рівною 5 м/с. Початкову температуру води  $t'_2 = 49^\circ\text{C}$ , повітря  $t'_1 = 6^\circ\text{C}$ ; витрата води  $G_2 = 0,65$  кг/с, повітря  $G_1 = 0,3$  кг/с.

Розв'язок

1. Температура повітря на виході з апарату при ефективності теплообмінника:

$$\varepsilon = \frac{t''_1 - t'_1}{t'_2 - t'_1} = 0,8;$$

$$t''_1 = \varepsilon(t'_2 - t'_1) + t'_1 = 0,8 \cdot (49 - 6) + 6 = 40,4 \quad (^\circ\text{C}).$$

2. Середня температура повітря:

$$t_1 = \frac{t''_1 + t'_1}{2} = \frac{40,4 + 6}{2} = 23,2 \quad (^\circ\text{C}).$$

3. Теплофізичні властивості повітря при  $t_1$ :

$$\rho_1 = 1,2 \text{ кг/м}^3; \quad \nu_1 = 15,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}; \quad C_{p1} = 1005 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К}); \quad Pr_1 = 0,703; \\ \lambda_1 = 0,0259 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}).$$

4. Теплова потужність апарату:

$$Q = G_1 \cdot C_{p1} \cdot (t_1'' - t_1') = 0,3 \cdot 1005 \cdot (40,4 - 6) = 10370 \text{ (Вт)}.$$

5. Температура гріючого теплоносія (води) на виході з апарату:

$$t_2'' = t_2' - \frac{Q}{G_2 \cdot C_{p2}} = 49 - \frac{10370}{0,65 \cdot 4180} = 45,2 \text{ (}^\circ\text{C)}.$$

Тут теплоємність води взята при середній температурі води  $46,5^\circ\text{C}$ .  
Перевіряємо значення середньої температури води:

$$t_2 = \frac{t_2'' + t_2'}{2} = \frac{45,2 + 49}{2} = 47,1 \text{ (}^\circ\text{C)}.$$

Воно близько до раніше прийнятого  $t_2 = 46,5^\circ\text{C}$ , тому остаточно  $t_2 = 47,1^\circ\text{C}$ .

6. Теплофізичні властивості води при  $t_2 = 47,1^\circ\text{C}$ :

$$\rho_2 = 985 \text{ кг/м}^3; \quad \nu_2 = 0,669 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}; \quad C_{p2} = 4180 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К}); \quad Pr_2 = 3,6; \\ \lambda_2 = 0,638 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}).$$

7. Потужність, що витрачається на прокачування води по трубах з внутрішнім діаметром  $d_2$  довжиною  $L$ , може бути розрахована за формулою:

$$N = \frac{G_2 \cdot \Delta P}{\rho_2 \cdot \eta} = \frac{G_2 \cdot \xi \cdot W_2^2 \cdot L}{2 \cdot \eta \cdot d_2},$$

де  $\eta = 0,65$  – ККД насоса;  $\Delta P = \frac{\xi \cdot \rho_2 \cdot W_2^2 \cdot L}{2 \cdot d_2}$  – гідравлічний опір.

Приймаємо, що режим протікання води турбулентний. Тоді коефіцієнт опору для гідравлічно гладких труб  $\xi = 0,316 Re^{0,25}$  і швидкість води всередині труб дорівнює:

$$W_2 = \left( \frac{2 \cdot N \cdot \eta \cdot d^{1,25}}{0,316 \cdot G_2 \cdot L \cdot v^{0,25}} \right)^{\frac{1}{1,75}} = \left( \frac{2 \cdot 14 \cdot 0,65 \cdot (0,01)^{1,25}}{0,316 \cdot 0,65 \cdot 5,2 \cdot (0,669 \cdot 10^{-6})^{0,25}} \right)^{\frac{1}{1,75}} = 1,47 \text{ (м/с)}.$$

8. Число Рейнольдса для води:

$$Re_2 = \frac{W_2 \cdot d_2}{v_2} = \frac{1,45 \cdot 0,01}{0,571 \cdot 10^{-6}} = 25700,$$

тобто відповідає розвиненому турбулентному режиму протікання.

9. Число Нуссельта при турбулентному протіканні води в трубі:

$$Nu_2 = 0,023 \cdot Re_2^{0,8} \cdot Pr_2^{0,4} = 0,023 \cdot 25700^{0,8} \cdot 3,6^{0,4} = 129,7$$

10. Коефіцієнт тепловіддачі з боку води:

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 \cdot \lambda_2}{d_2} = \frac{129,7 \cdot 0,618}{0,01} = 8017 \text{ (Вт/м}^2 \cdot \text{К)}.$$

11. Число Рейнольдса для повітря:

$$Re_1 = \frac{W_1 \cdot d_e}{v_1} = \frac{5 \cdot 0,0047}{15,6 \cdot 10^{-6}} = 1506$$

13. Число Нуссельта:

$$Nu_1 = 0,3 \cdot Re_1^{0,625} \cdot \varphi^{-0,375};$$

$$Pr_1^{0,333} = 0,3 \cdot 1506^{0,625} \cdot 8,2^{-0,375} \cdot 0,703^{0,333} = 11,7.$$

13. Коефіцієнт тепловіддачі з боку повітря:

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_1}{d_e} = \frac{11,7 \cdot 0,0259}{0,0047} = 64,7 \text{ (Вт/м}^2 \cdot \text{К)}.$$

#### 14. Ефективність оребрення.

– Ефективна висота круглого ребра:

$$l' = \frac{D-d}{2} \left( 1 + 0,805 \cdot \lg \left( \frac{D}{d} \right) \right) = \frac{0,023 - 0,012}{2} \left( 1 + 0,805 \cdot \lg \left( \frac{0,023}{0,012} \right) \right) = 0,006751 \text{ (м)}$$

;

– комплекс:

$$ml' = \left( \frac{2\alpha_1}{\lambda_p \cdot \delta_p} \right)^{0,5} \cdot l' = \left( \frac{2 \cdot 64,5}{116 \cdot 0,0003} \right)^{0,5} \cdot 0,006751 = 0,411;$$

– ефективність одиночного ребра:

$$\frac{\text{th}(ml')}{ml'} = \frac{\text{th}(0,411)}{0,411} = 0,947;$$

– ефективність ребристої поверхні:

$$\eta_0 = 1 - \frac{\psi - 1}{\psi} \cdot (1 - \eta_p) = 1 - 0,878 \cdot (1 - 0,947) = 0,953.$$

#### 15. Коефіцієнт теплопередачі, віднесений до внутрішньої поверхні труб:

$$k_2 = \left( \frac{1}{\alpha_2} + \frac{1}{\alpha_1 \cdot \eta_0 \cdot \psi} \right)^{-1} = \left( \frac{1}{8017} + \frac{1}{64,7 \cdot 0,953 \cdot 8,2} \right)^{-1} = 475 \text{ (Вт/м}^2 \cdot \text{К)}.$$

#### 16. Логарифмічний температурний напір між теплоносіями:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_6 - \Delta t_m}{\ln \frac{\Delta t_6}{\Delta t_m}} \cdot \varepsilon_{\Delta t} = \frac{39,2 - 8,6}{\ln \frac{39,2}{8,6}} \cdot 0,95 = 20,2 \text{ (}^\circ\text{C)},$$

де  $\Delta t_6 = t_2'' - t_1' = 45,2 - 6,0 = 39,2^\circ\text{C}$  і  $\Delta t_m = t_2' - t_1'' = 49,0 - 40,4 = 8,6^\circ\text{C}$ ;  $\varepsilon_{\Delta t} = 0,95$

– поправка на вид відносно руху теплоносіїв (для перехресного струму)

$$\text{при } P = \frac{t_1'' - t_1'}{t_2' - t_1'} = \frac{40,6 - 6,0}{49,0 - 6,0} = 0,8 \text{ і } R = \frac{t_2' - t_2''}{t_1'' - t_1'} = \frac{49,0 - 45,2}{40,4 - 6,0} = 0,11.$$

17. Поверхня теплообміну:

$$F = \frac{Q}{k \cdot \Delta t} = \frac{10370}{475 \cdot 20,2} = 1,08 \text{ (м}^2\text{)}.$$

**Задача 2.5.** Визначити економічну ефективність теплоутилізатора за наступних умов: тривалість роботи пральні на протязі опалювального періоду  $n_{\text{от.}} = 2100$  год/рік; температура повітря в приміщенні пральні  $20^\circ\text{C}$ ; середня температура зовнішнього повітря на протязі опалювального періоду дорівнює  $-5^\circ\text{C}$ ; вартість теплоти  $3,6$  грн/ГДж ( $15$  грн/Гкал); коефіцієнт переходу від ГДж до МВт –  $3,6$ .

Розв'язок

При середній об'ємній масі повітря  $1,2$  кг/м<sup>3</sup> та його теплоємності, яка дорівнює  $1$  кДж/кг·°C ( $0,24$  ккал/кг·°C), а також об'ємі повітря  $5000$  м<sup>3</sup>/год вартість збереженої з допомогою утилізатора теплоти складе:

$$\Delta Q = 5000 \cdot 1 \cdot (20 + 5) \cdot 0,39 \cdot 2100 \cdot 3,6 \cdot 3,6 \cdot 10^{-6} = 1330 \text{ (грн/рік)}.$$

Затрати на теплоутилізатор з його монтажем і пристроєм підводу та відводу повітроводів дорівнює  $1000$  грн. Відповідно, проведені затрати на теплоутилізатор окупляться вартістю зекономленої теплоти всього за  $0,75$  року, а економічний ефект за рік роботи утилізатора складе:

$$E_{\text{ф}} = 1330 - \left( \frac{1000}{4} \right) = 0,07 \cdot 1000 = 1010 \text{ (грн/рік)}.$$

**Задача 2.6.** В системі кондиціонування громадської будівлі (рис. 1) повітря навколишнього середовища з температурою  $t_{\text{зовн}} = -10^\circ\text{C}$  і відносною вологістю  $\varphi_{\text{н}} = 40\%$  надходить в камеру змішування, де змішується з частиною витяжного повітря. Пройшовши термовологісну обробку в центральному кондиціонері 2, повітря надходить в обслуговуване приміщення 3 з параметрами  $t_2 = 20^\circ\text{C}$  і  $\varphi_2 = 49\%$ . Температуру і відносну вологість повітря на виході з цеху прийняти відповідно рівними  $t_3 = 23^\circ\text{C}$  і  $\varphi_3 = 44\%$ . Витрату припливного повітря вважати рівною  $G_0 = 12,44$  кг/с. Ступінь рециркуляції  $\alpha_{\text{р}} = 0,51$ .

Побудуйте процес термовологісної обробки повітря в системі кондиціонування в Н, d- діаграмі. Визначте, яку теплову потужність можна заощадити при застосуванні рециркуляції в схемі кондиціонування повітря в порівнянні з прямою схемою.

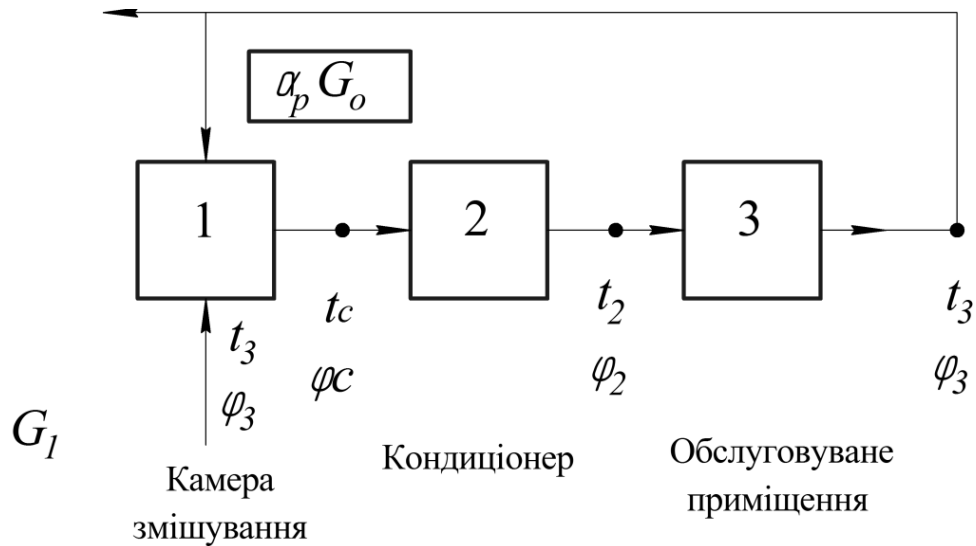


Рисунок 1 – Схема кондиціонування громадської будівлі

#### Розв'язок

Для вирішення завдання можна використовувати два методи: аналітичний із застосуванням формул, що описують зміну стану вологого повітря, і графоаналітичний із застосуванням Н, d - діаграми. Спочатку розглянемо другий з них.

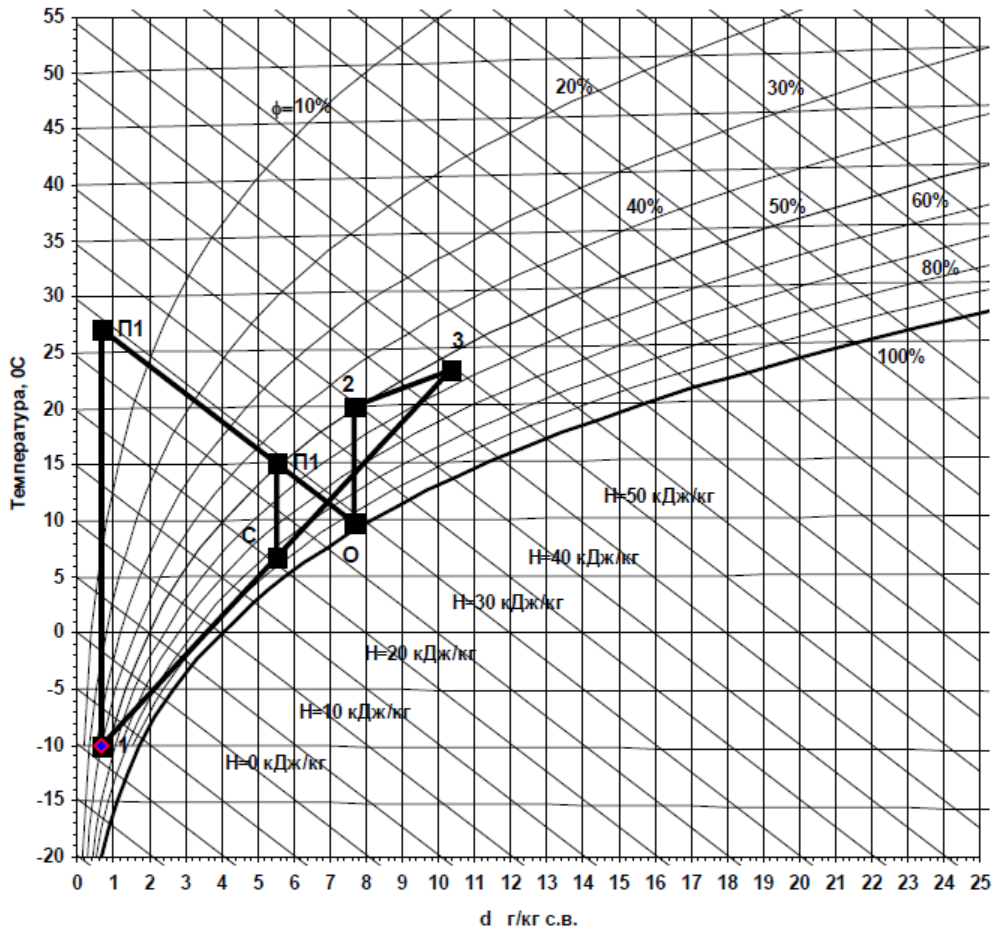


Рисунок 2 – Зміна стану вологого повітря в системі кондиціонування громадської будівлі

1. Наносимо на діаграму (рис. 2) точки 1,2 і 3, відповідні параметрам зовнішнього, приточного і витяжного повітря. Положення цих точок визначається по перетинанню відповідних ізотерм і ліній постійної відносної вологості. По діаграмі знаходимо ентальпії  $H_1 = 8,5$  кДж/кгс.в.,  $H_2 = 39$  кДж/кг с.в.,  $H_3 = 49$  кДж/кг с.в., вологовмісту  $d_1 = 0,7$  г/кг с.в.,  $d_2 = 7,5$  г/кг с. в.,  $d_3 = 10,3$  г/кг с.в.

2. Наносимо на діаграму точку «О» - кінцеву точку процесу адиабатного зволоження повітря в камері зрошення. Положення точки «О» визначається перетином лінії постійного вологовмісту  $d_2$  і лінії відносної вологості, що відповідає 95%. Далі завдання розбивається на два етапи: побудова процесів вологого повітря для системи з рециркуляцією і прямою системою.

Ентальпію і вологовміст повітря після камери зрошення визначаємо по діаграмі:  $H_0 = 29$  кДж/кг с.в.,  $d_0 = 7,6$  г/кг с.в.

3. Визначаємо параметри повітря після змішування двох потоків (свіжого зовнішнього з параметрами «1» і рециркулюючого з параметрами «3») Точка

"С" на діаграмі знаходиться, як точка перетину відрізка «1-3» і ізоентальпії  $H_c$  (або лінії  $DC = \text{const}$ ). Чисельне значення ентальпії  $H_c$  знаходиться з рівнянь теплового та матеріального балансу:

$$G_0 = G_1 + G_3;$$

$$G_1 = (1 - \alpha_p) \cdot G_0;$$

$$G_3 = \alpha_p \cdot G_0;$$

$$G_0 \cdot H_c = G_1 \cdot H_1 + G_3 \cdot H_3;$$

$$G_0 \cdot d_c = G_1 \cdot d_1 + G_3 \cdot d_3.$$

У наведених рівняннях  $G$  – масова витрата повітря, кг/с;  $H$  – ентальпія, кДж/кг. Ентальпія і вологовміст перед підігрівачем першого ступеня згідно з наведеними рівнянням балансу будуть:

$$H_c = \alpha_p \cdot H_3 + (1 - \alpha_p) \cdot H_1 = 0,51 \cdot 49 + (1 - 0,51) \cdot (-8,5) = 20,8 \text{ (кДж/кг с.в.)}$$

$$d_c = \alpha_p \cdot d_3 + (1 - \alpha_p) \cdot d_1 = 0,51 \cdot 0,7 + (1 - 0,51) \cdot 10,3 = 5,4 \text{ (г/кг с.в.)}$$

4. Знаходимо положення точки «П1» (параметри повітря після підігрівача першої ступені кондиціонера). Положення точки «П1» на діаграмі знаходиться по перетинанню лінії  $DC = \text{const}$  і ізоентальпії  $H_0$ . Параметри повітря після підігрівача першої ступені визначаються за положенням на діаграмі точки «П1», вони рівні  $t_{п1} = 27$  °С,  $H_{п1} = H_c = 29,2$  кДж/кг с.в.

5. Для прямооточної системи положення точки «П1» знаходиться по перетинанню ліній постійної ентальпії  $H_c$  і постійного вологовмісту  $d_1$ .

6. На результуючій діаграмі нанесено наступне:

- змішування двох потоків 1-С, 3-С;
- підігрів повітря в повітропідігрівачі 1-го ступеня 1-П1 (прямоточна система) і С-П1(система з рециркуляцією);
- адиабатне зволоження в камері зрошування П1-О;
- підігрів повітря в повітропідігрівачі 2-го ступеня О-2;
- політропний процес нагріву і зволоження повітря в приміщенні, що обслуговується.

7. Розраховуємо енергозберігаючий ефект від застосування рециркуляції.  
Витрати теплової потужності в прямоточній системі:

$$Q_{\text{пр}} = (H_0 - H_1) + (H_2 - H_0) = H_2 - H_1.$$

Витрати теплової потужності в системі з рециркуляцією повітря:

$$Q_p = (H_0 - H_c) + (H_2 - H_0) = H_2 - H_c.$$

Економія теплової потужності:

$$\Delta Q = Q_{\text{пр}} - Q_p = H_c - H_1 = 20,8 - (-8,5) = 29,3 \text{ (кДж/кг с.в.)}$$

#### Аналітичний розрахунок

1. Розраховуємо ентальпію вологого повітря (параметри повітря 1 і 3) за формулою:

$$H = C_v \cdot t + d(r_0 + C_n t);$$

$$H_1 = -8,4 \text{ (кДж/кг с.в.)};$$

$$H_3 = 49,5 \text{ (кДж/кг с.в.)}.$$

2. Розраховуємо ентальпію повітря після змішування:

$$H_c = \alpha_p \cdot H_3 + (1 - \alpha_p) \cdot H_1 = 0,51 \cdot 49,5 - (1 - 0,51) \cdot 8,4 = 21,1 \text{ (кДж/кг с.п.)}.$$

3. Економія теплової потужності:

$$\Delta Q = Q_{\text{пр}} - Q_p = H_c - H_1 = 21,1 - (-8,4) = 29,5 \text{ (кДж/кг с.п.)}.$$

**Задача 2.7.** Оцініть енергозберігаючий ефект від застосування рекуперативного теплообмінника в системі загальнообмінної вентиляції вважаючи, що в обслуговуємому приміщенні присутні внутрішні тепловиділення загальною потужністю, рівної  $Q = 70$  кВт. Потужність теплових втрат через огорожувальні конструкції  $Q_{\text{втр}} = 50$  кВт. Масові витрати прихідного  $G_{\text{п}}$  і викидного  $G_{\text{в}}$  повітря прийняти рівними  $G_{\text{п}} = G_{\text{в}} = G = 2$  кг/с. Вологовміст зовнішнього повітря дорівнює

$d_{з\text{овн}} = 3 \text{ г/кг с.в.}$  У попередньому підігрівачі повітря нагрівається до  $t_{н1} = 5^\circ \text{C}$ . Температура припливного повітря  $t_{п} = 20^\circ \text{C}$ . Ефективність теплообмінника утилізатора  $\varepsilon = 0,6$ . Схема вентиляції представлена на рис. 3.

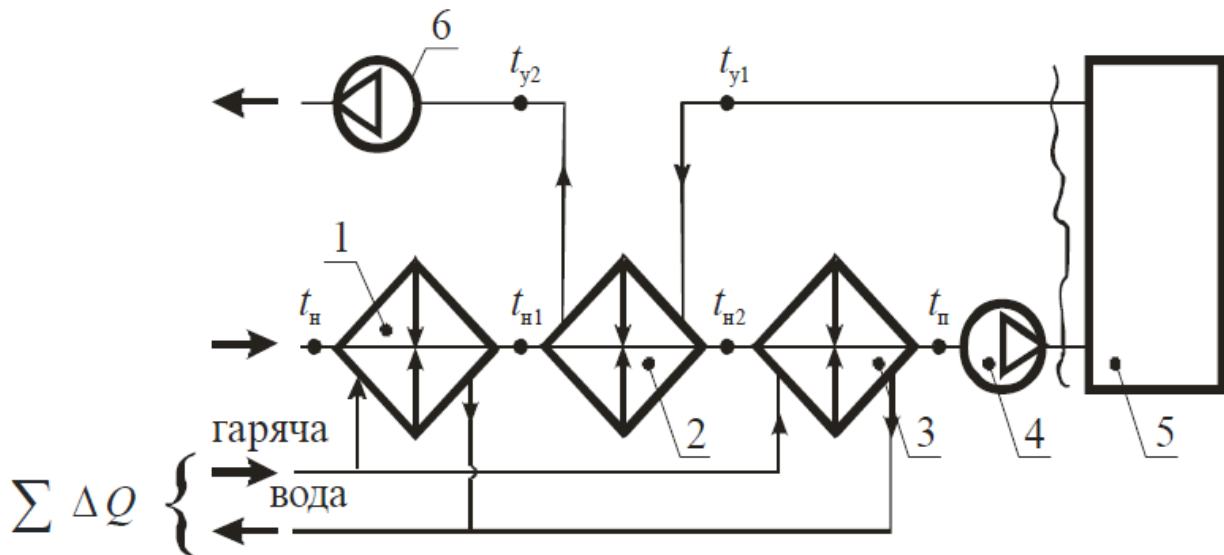


Рисунок 3 –Принципова схема системи вентиляції з теплообмінником-утилізатором

(1 – попередній підігрівач (калорифер); 2 – рекуперативний теплообмінник;  
3 – підігрівач (калорифер); 4 ,6 –вентилятори; 5 – вентильоване приміщення.

#### Розв'язок

Рівняння теплових балансів для теплообмінника-утилізатора, вентильованого приміщення і системи в цілому будуть:

$$Q_{\text{ту}} = G(H_{\text{н2}} - H_{\text{н1}}) = G(H_{\text{y1}} - H_{\text{y2}});$$

$$G(H_{\text{п}} - H_{\text{y1}}) + Q - Q_{\text{втр}} = 0;$$

$$-G(H_{\text{y2}} - H_{\text{н}}) + \sum Q + \Delta Q = 0,$$

де  $\sum Q = Q_1 + Q_2$  – сумарна потужність, що підводиться до повітря,  $\Delta Q = Q - Q_{\text{втр}}$  – надлишкова теплова потужність у вентильованому приміщенні. З рівняння теплового балансу системи випливає, що витрати теплової потужності по обігріву повітря в системі вентиляції з теплообмінником-утилізатором дорівнюють:

$$\sum Q_y = G(H_{\text{y2}} - H_{\text{н}}) - \Delta Q.$$

Для прямої системи загальнообмінної вентиляції, якщо прийняти  $H_{y2} = H_{y1}$ , витрати теплової потужності з обігріву повітря:

$$\sum Q = G(H_{y1} - H_n) - \Delta Q.$$

Енергозберігаючий ефект від застосування теплообмінника-утилізатора в абсолютних одиницях (економія теплової потужності, що підводиться від зовнішнього джерела тепlopостачання)  $\Delta Q_e$  буде:

$$\sum Q_e = \sum Q - \sum Q_y = G(H_{y1} - H_{y2}) = \Delta Q_{ty}.$$

З урахуванням ефективності теплообмінника утилізатора:

$$\sum Q_e = G \cdot \varepsilon (H_{y1} - H_{n1});$$

$$\varepsilon = \frac{H_{y2} - H_{y1}}{H_{y1} - H_{n1}}.$$

Для відповіді на поставлене запитання необхідно розрахувати ентальпії вологого повітря  $H_1$ ,  $H_n$ ,  $H_{y1}$ .

$$H_{n1} = C_v t_{n1} + d_{n1} (r_0 + C_n t_{n1}) = 1,005 \cdot 5 + 3 \cdot 10^{-3} \cdot (2500 + 1,807 \cdot 5) = 12,56 \text{ (кДж/кг с.в.)};$$

$$H_n = C_v t_n + d_n (r_0 + C_n t_n) = 1,005 \cdot 20 + 3 \cdot 10^{-3} \cdot (2500 + 1,807 \cdot 20) = 27,71 \text{ (кДж/кг с.в.)}.$$

Ентальпію  $H_{y1}$  знайдемо з рівняння теплового балансу приміщення:

$$H_{y1} = \left( \frac{\Delta Q}{G} \right) + H_n = \left( \frac{20}{2} \right) + 27,71 = 37,71 \text{ (кДж/кг с.в.)}.$$

Енергозберігаючий ефект:

$$\sum Q_e = G \cdot \varepsilon (H_{y1} - H_{n1}) = 2 \cdot 0,6 \cdot (37,71 - 12,56) = 25,15 \text{ (кВт)}.$$

### 3. ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В БУДІВЛЯХ

Метою теплотехнічного розрахунку огорожувальних конструкцій будівель є визначення опору теплопередачі  $R_o$ , а також товщини утепленого шару огороження, при якому в помешканнях будинку забезпечується заданий температурний режим з урахуванням потрібних економічних показників.

Для заданого міста проектування вибирають такі дані:

$t_5$  – розрахункова зимова температура найбільш холодної п'ятиденки забезпеченням 0,92 (додаток 2);

$t_{хд}$  – розрахункова зимова температура найбільш холодної доби забезпеченням 0,92 (додаток 2);

$t_3$  – середня температура найбільш холодних трьох днів; визначається як середнє арифметичне із температур найбільш холодних днів і найбільш холодної п'ятиденки (додаток 2).

Зони 1÷4 – температурна зона з карти температурного зонування України (додаток 3).

З додатку 2 визначають зону вологості пункту будівництва (суху або нормальну), потім з урахуванням вологісного режиму приміщень знаходять умови експлуатації А або Б огорожувальних конструкцій (додаток 4). Для житлових кімнат приймають нормальний вологісний режим.

У пояснювальній записці виконують ескізи огорожувальних конструкцій з найменуванням матеріалів конструктивних шарів.

За додатком 5 виписують теплотехнічні показники будівельних матеріалів усіх конструктивних шарів огорожень для визначених умов експлуатації А або Б:

– в'язкість матеріалу  $\gamma$ , кг/м<sup>3</sup>;

– розрахунковий коефіцієнт теплопровідності  $\lambda$ , Вт/(м·°С);

– коефіцієнт теплосвоєння  $S$ , Вт/(м<sup>2</sup>·°С).

Конструкція зовнішньої стіни наведена на рис. 4.

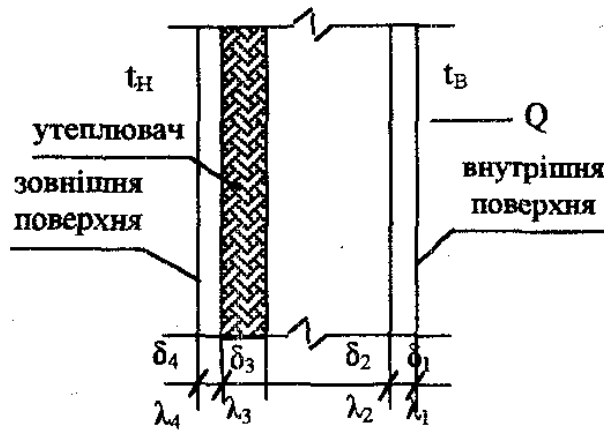


Рисунок 4 – Конструкція зовнішньої стіни

Послідовність розрахунку

1) Термічний опір конструкції зовнішньої стіни знаходять за формулою:

$$R_0 = R_B + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_H,$$

де  $R_3 = \delta_3/\lambda_3$  – термічний опір необхідного шару утеплювача заданого за завданням типу,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ ;  $\lambda_3$  – коефіцієнт теплопровідності матеріалу утеплювача,  $\text{Вт}/\text{м} \cdot \text{°C}$ ;  $\delta_3$  – необхідна товщина утеплювача, м.

$$R_3 = R_0 - (R_B + R_1 + R_2 + R_4 + R_H),$$

де  $R_B$  – опір теплопередачі на внутрішній поверхні стіни,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ .

$$R_B = 1/\alpha_B,$$

де  $\alpha_B$  – коефіцієнт тепловіддачі на внутрішній поверхні стіни, приймають  $\alpha_B = 8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ .

$R_H$  – опір тепловіддачі з зовнішньої поверхні стіни,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ .

$$R_H = 1/\alpha_H,$$

де  $\alpha_H$  – коефіцієнт тепловіддачі з зовнішньої поверхні стіни для зимових умов, приймають  $\alpha_H = 23 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ .

Термічні опори шарів стіни, включаючи шар утеплювача, визначають таким чином:

$$R_1 = \delta_1/\lambda_1; R_2 = \delta_2/\lambda_2; R_4 = \delta_4/\lambda_4,$$

де  $\delta_1, \delta_2, \delta_4$  – товщини конструктивних шарів стіни, м;  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_4$  – коефіцієнти теплопровідності конструктивних шарів стіни, Вт/(м<sup>2</sup>·°С).

2) Потрібний опір теплопередачі  $R_o^{пот}$ , м<sup>2</sup>·°С/Вт, визначають за формулою:

$$R_o^{пот} = n(t_b - t_3)/\Delta t^H \cdot \alpha_b,$$

де  $n$  – коефіцієнт, який приймають залежно від положення зовнішньої поверхні огорожувальних конструкцій щодо зовнішнього повітря відповідно з додатку 6, для зовнішньої стіни  $n=1$ ;  $\Delta t^H$  – нормативний температурний перепад між температурою внутрішнього повітря і температурою внутрішньої поверхні огороження ( $t_b - \tau_b$ ), приймають : для житлових будівель, зовнішніх стін  $\Delta t^H = 6^\circ\text{C}$ , громадських  $\Delta t^H = 7^\circ\text{C}$ ;  $t_b$  – значення розрахункової температури повітря в приміщенні, дорівнює  $20^\circ\text{C}$  для житлових будинків;  $t_3$  – розрахункова зимова температура зовнішнього повітря, °С, приймають за табл. 13. На початку розрахунку рекомендується приймати для зовнішньої стіни середню інерційність  $D$ , коли  $4 < D < 7$ .

Таблиця 13 – Розрахункова зимова температура

Теплова інерція огорожувальних конструкцій	$t_3, ^\circ\text{C}$
Більше 1,5 до 4 – мала інерційність	Середня температура найбільш холодних діб забезпеченням 0,92
Більше 4 до 7 – середня інерційність	Середня температура найбільш холодних трьох діб
Більше 7 – висока інерційність	Середня температура найбільш холодної п'ятиденки забезпеченням 0,92

Значення розрахункової зимової температури зовнішнього повітря  $t_3$  приймають за додатком 2 з урахуванням теплової інерції  $D$ :

$$D = R_1 S_1 + R_2 S_2 + R_3 S_3 + R_4 S_4,$$

де  $R_1, R_2, R_3, R_4$  – опори тепловіддачі шарів огороження;

$S_1, S_2, S_3, S_4$  – розрахункові коефіцієнти тепло засвоєння шарів огороження.

Оскільки товщина утеплювача  $\delta_{ут} = \delta_3$  невідома, визначити показник теплової інерції  $D$  неможливо. Тому спочатку задають інтервал  $D$ . Рекомендується приймати для зовнішніх стін середню інерційність  $4 < D < 7$ , тоді температуру холодних днів приймають як півсуми температури холодних днів  $t_{хд}$  і температури холодної п'ятиденки  $t_5$ :

$$t_3 = (t_{хд} + t_5)/2;$$

Приймаємо  $R_0 = R_0^{пот}$ :

$$R_0 = R_0^{пот} = R_B + R_1 + R_2 + R_4 + R_H.$$

Значення  $R_3$  не враховуємо, бо треба знайти товщину стіни  $\delta_{ст}$ , а також опір конструкції стіни  $R_0$ , який би відповідав санітарно-гігієнічним нормам:

$$R_0 = 1/\alpha_B + \delta_1/\lambda_1 + \delta_2/\lambda_2 + \delta_3/\lambda_3 + 1/\alpha_H,$$

звідки знаходимо товщину стіни  $\delta_2 = x$ , м.

Для подальшого розрахунку приймаємо найближчий стандартний розмір стіни: для цеглової – з урахуванням конструктивних розмірів кладки (0,38 м, 0,51 м, 0,64 м), для панельних – за будівельним каталогом (мінімальна товщина панелі – 0,25 м).

Опір теплопередачі огорожувальної конструкції  $R_0$  житлових і громадських будівель вибираємо найбільшим між потрібним опором теплопередачі  $R_0^{пот}$  та нормативним значенням опору теплопередачі  $R_{норм}$  для відповідної температурної зони України (дод.7) для міста проектування:

$$R_0 \geq R_0^{пот}, R_{норм}.$$

Тут  $R_0^{пот}$  – потрібний опір теплопередачі, який повинен відповідати санітарно-гігієнічним нормам.

Оскільки  $R_0^{\text{пот}} < R_{\text{норм}}$ :

$$R_{\text{норм}} = R_B + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_H,$$

звідки:

$$R_3 = R_{\text{норм}} - (R_B + R_1 + R_2 + R_4 + R_H).$$

Товщина шару утеплювача  $\delta_3 = R_3 \cdot \lambda_3$ .

Збільшуємо розрахункове значення товщини шару утеплювача до найбільшого ближнього нормативного типорозміру теплоізоляційних виробів заданого типу.

Далі визначаємо теплову інерцію  $D$  з урахуванням значення  $\delta_{\text{ут}}$ :

$$D = R_1 S_1 + R_2 S_2 + R_3 S_3 + R_4 S_4.$$

Одержану величину  $D$  порівнюємо з прийнятою на початку розрахунку ( $4 < D < 7$ ).

У випадку невідповідності перераховуємо  $R_0^{\text{пот}}$  і повторюємо розрахунок. При повторному розрахунку як розрахункову зимову температуру зовнішнього повітря  $t_3$  приймають температуру, що відповідає одержаній тепловій інерції.

**Задача 3.1.** Визначити сумарну витрату теплоти на технологічні потреби опалення, вентиляцію і гаряче водопостачання м'ясокомбінату продуктивністю  $P_i = 6,25$  т/год, якщо питома витрата теплоти на виробку м'яса  $q_i = 1,35$  ГДж/т. Об'єм опалювальних приміщень  $V = 45 \cdot 10^3$  м<sup>3</sup>, об'єм приміщень що вентилуються 80% від об'єму опалювальних. Питома відносна характеристики будівлі  $q_0 = 0,2$  Вт/м<sup>3</sup>К, питома вентиляційна характеристика будівлі  $q_v = 0,3$  Вт/м<sup>3</sup>К. Витрата гарячої води на технологічні потреби  $G_B = 6$  кг/с, середня температура гарячої води  $t_{\text{гв}} = 50^0$ , температура холодної води  $t_{\text{хв}} = 10^0$ . Середня температура повітря в середині приміщення  $t_{\text{вн}} = 20^0$ , зовнішня температура  $t_{\text{зовн}} = 25^0$ . ККД водонагрівачів  $\eta = 0,96$ .

Розв'язок

Витрата теплоти на технологічні потреби:

$$Q_{\text{техн}}^p = 278 \cdot 10^3 \cdot \sum q_i \cdot P_i = 278 \cdot 10^3 \cdot 1,35 \cdot 6,25 = 2,35 \cdot 10^6 \text{ (Вт)}.$$

Витрата теплоти на опалення:

$$Q_{\text{оп}}^p = q_0 \cdot V \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{зовн}}) = 0,2 \cdot 45 \cdot 10^3 \cdot (20 + 25) = 405 \cdot 10^3 \text{ (Вт)};$$

$$Q_{\text{вент}}^p = q_{\text{в}} \cdot V \cdot 0,8 \cdot (t_{\text{вн}} - t_{\text{зовн}}) = 0,3 \cdot 45 \cdot 10^3 \cdot 0,8 \cdot (20 + 25) = 486 \cdot 10^3 \text{ (Вт)}.$$

Середня витрата теплоти на гаряче водопостачання:

$$Q_{\text{ГВ}}^{\text{cp}} = \frac{G_{\text{в}} \cdot c_{\text{рв}} \cdot (t_{\text{ГВ}} - t_{\text{ХВ}})}{\eta} = \frac{6 \cdot 4168 \cdot (50 - 10)}{0,96} = 1046 \cdot 10^3 \text{ (Вт)}.$$

Розрахункова витрата теплоти:

$$Q_{\text{ГВ}}^p = 2 \cdot Q_{\text{ГВ}}^{\text{cp}} = 2 \cdot 1046 \cdot 10^3 = 2092 \cdot 10^3 \text{ (Вт)}.$$

Сумарна витрата теплоти:

$$Q = Q_{\text{техн}}^p + Q_{\text{оп}}^p + Q_{\text{вент}}^p + Q_{\text{ГВ}}^p = 2,35 \cdot 10^6 + 405 \cdot 10^3 + 486 \cdot 10^3 + 2092 \cdot 10^3 = 5333 \cdot 10^3 \text{ (Вт)}.$$

**Задача 3.2.** Виконати теплотехнічний розрахунок зовнішньої стінки будівлі для таких умов: матеріал стінки – цегляна кладка ( $\gamma = 1800 \text{ Вт/м}^3$ ;  $\lambda = 0,7 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ ;  $S = 9,2 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°C)}$ ); внутрішнє помешкання – житлове ( $t_{\text{в}} = 20\text{°C}$ ); умови експлуатації – А (вологісний режим помешкання – нормальний; зона вологості розташування будівлі –суха). Вихідні кліматичні дані:  $t_{\text{з}(5)} = -23\text{°C}$ ,  $t_{\text{з}(1)} = -28\text{°C}$ ,  $t_{\text{з}(3)} = 0,5(-23 + (-28)) = -25,5\text{°C}$ . Конструкція зовнішнього огороження наведена на рис. 5.

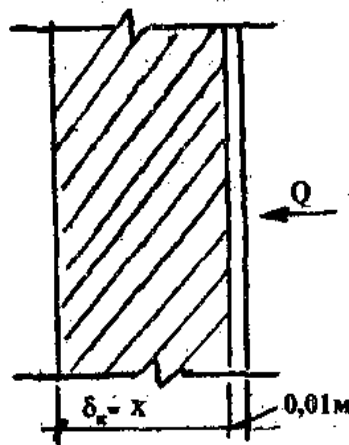


Рисунок 5 – Конструкція зовнішнього огороження

Розв'язок

Потрібний опір теплопередачі  $R_o^{\text{пот}}$ ,  $\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ , при  $t_b = 20^\circ\text{C}$ :

$$R_o^{\text{пот}} = 1/8,7 + 0,01/0,76 + \delta_k/0,70 + 1/23.$$

Приймаємо, що  $R_o^{\text{пот}} = R_o$ :

$$0,83 = 0,186 + \delta_k/0,70.$$

З виразу визначаємо товщину стінки:  $\delta_k = 0,45 \text{ м}$ .

Приймаємо найближчий стандартний розмір стіни –  $0,51 \text{ м}$ .

Знаходимо опір теплопередачі конструкції з урахуванням стандартної товщини:

$$R_o^{\text{пот}} = 1/8,7 + 0,01/0,76 + 0,51/0,70 + 1/23;$$

$$R_o = 0,899 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт} \text{ або } K = 1,11 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C}).$$

Визначаємо теплову інерцію конструкції:

$$D = 0,028 \cdot 9,6 + 0,728 \cdot 9,2 = 6,96.$$

Отже, температура зовнішнього повітря прийнята правильно.

**Задача 3.3.** Розрахувати товщину утеплювача з плит ППУ для зовнішньої стінки з керамзитобетонних панелей. Температурна зона розташування будівлі – четверта. Кількість градусо-днів опалювального періоду  $S = 3799$ .

Розв'язок

За нормативами (додаток 7) значення опору теплопередачі дорівнює  $2,2 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$ . З додатку 5 виписуємо теплотехнічні показники конструктивних шарів.

Прийнято: умови експлуатації Б. Конструкція зовнішнього огороження наведена на рис. 6.

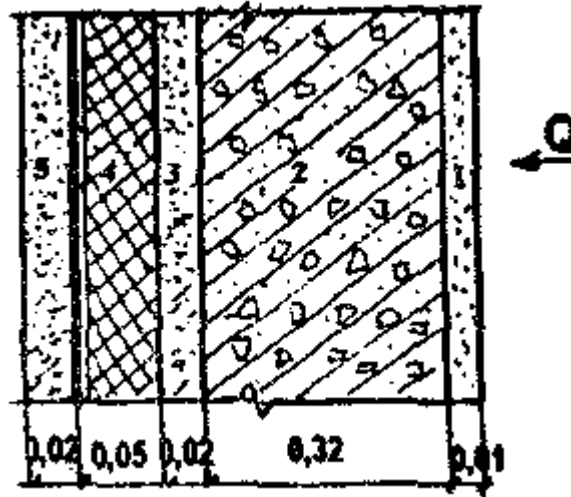


Рисунок 6 – Конструкція зовнішнього огородження

1 шар – цементно-піщаний розчин:  $\gamma = 1800 \text{ Вт/м}^3$ ;  $\lambda = 0,93 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ ;  
 $\delta = 0,01 \text{ м}$ .

2 шар – керамзитобетонна панель:  $\gamma = 1200 \text{ Вт/м}^3$ ;  $\lambda = 0,52 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ ;  
 $\delta = 0,32 \text{ м}$ .

3 шар – цементно-піщаний розчин:  $\gamma = 1400 \text{ Вт/м}^3$ ;  $\lambda = 0,93 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ ;  
 $\delta = 0,02 \text{ м}$ .

4 шар – плити ППУ:  $\gamma = 30 \text{ Вт/м}^3$ ;  $\lambda = 0,027 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ ;  $\delta = x \text{ м}$ .

5 шар – цементно-піщаний розчин:  $\gamma = 1800 \text{ Вт/м}^3$ ;  $\lambda = 0,93 \text{ Вт/(м}\cdot\text{°C)}$ ;  
 $\delta = 0,02 \text{ м}$ .

6 шар – армуюча сітка з полімерів.

Загальний термічний опір теплопередачі конструкції з послідовно розташованими однорідними шарами знаходимо за формулою:

$$R_k = 1/\alpha_B + \delta_1/\lambda_1 + \delta_2/\lambda_2 + \delta_3/\lambda_3 + \delta_4/\lambda_4 + \delta_5/\lambda_5 + 1/\alpha_H.$$

Прирівнюємо  $R_k = R_{\text{норм}} = 2,2 \text{ м}^2\cdot\text{°C/Вт}$  (дод. 7):

$$2,2 = 0,114 + 0,01 + 0,61 + 0,02 + x/0,027 + 0,02 + 0,043,$$

звідки  $x = 0,037 \text{ м}$ . З конструктивних міркувань приймаємо товщину утеплювача плити  $\delta = 0,04 \text{ м}$ . Тоді:

$$R_k = 0,817 + 0,04/0,027 = 2,29 \text{ м}^2\cdot\text{°C/Вт}.$$

При проектуванні, реконструкції і капітальних ремонтах житлово-громадських споруд треба використовувати нормативні значення опору теплопередачі світлових отворів, тобто  $R_{o}^{np} \leq R_{норм}$  світлових отворів;  $R_{норм}$  визначаємо за додатком 7.

**Задача 3.4.** В повітрі завжди присутня водяна пара. Чим більша температура його, тим більше в повітрі може міститися водяної пари (рис. 7.). В більшості випадків повітря містить менше пари ніж може в ньому міститись. Конденсація виникає коли  $t_{cp}$  різко падає або холодна поверхня знаходиться в теплому приміщенні. Візьмемо, наприклад, приміщення з температурою повітря  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , відносною вологістю 80%. При цьому повітря містить  $0,8 \cdot 17,5\text{ г/м}^3$  вологи в  $1\text{ м}^3$  повітря і при похолоданні температура знизиться біля вікна до  $0^{\circ}\text{C}$ . Повітря біля вікна може містити тільки максимум  $1,8\text{ г/м}^3$  води;  $\epsilon\ 14\text{ г/м}^3$  – таким чином спостерігається конденсація водяної пари.

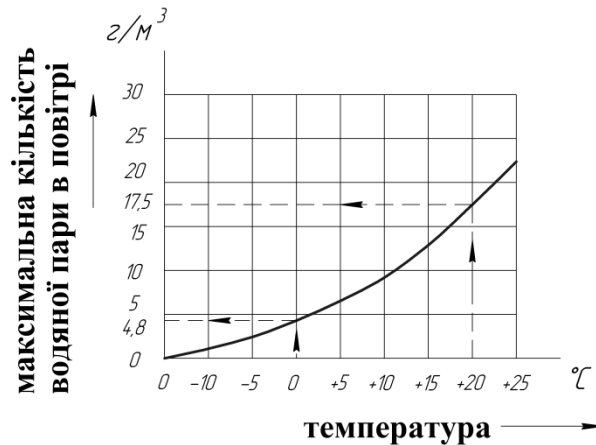


Рисунок 7 – Діаграма вмісту пари у повітрі в залежності від температури

Температура, при якій починається конденсація, називається точкою конденсації.

Виникнення конденсації шкідливе, оскільки вона може провокувати пошкодження конструкції, ізолююча властивість матеріалу знижується. Вологі середовища, крім того, шкідливі для здоров'я.

Визначити чи буде конденсація на поверхні шару штукатурки. Переріз стіни зображений на рис. 8.

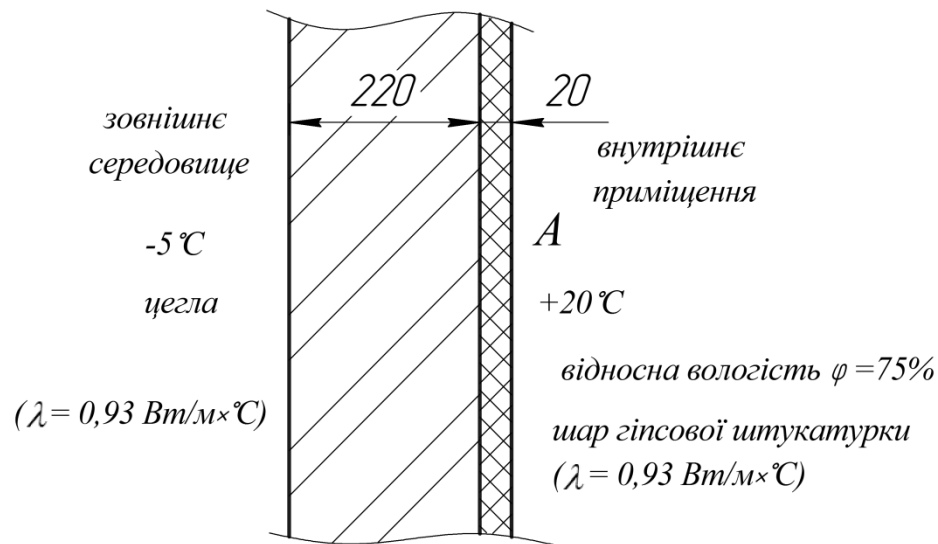


Рисунок 8 – Переріз стіни

Розв'язок

$$R_{\text{заг}} = R_u + R_k + R_{\text{ш}} + R_i$$

$$R_{\text{заг}} = (0,04 + \frac{0,22}{0,81} + \frac{0,02}{0,93} + 0,15) = 0,48 (\text{м}\cdot^{\circ}\text{C/Вт})$$

Температура в точці А:

$$T = 20 - \frac{0,15}{0,48} * 25 = 12,2 (^{\circ}\text{C})$$

Повітря всередині приміщення містить  $0,75 \cdot 17,5 = 13$  (г/м<sup>3</sup>) вологи значить є конденсація.

**Задача 3.5.** Встановити поверхню, де спостерігається конденсація в захисній конструкції. Переріз стіни наведений на рис. 9.

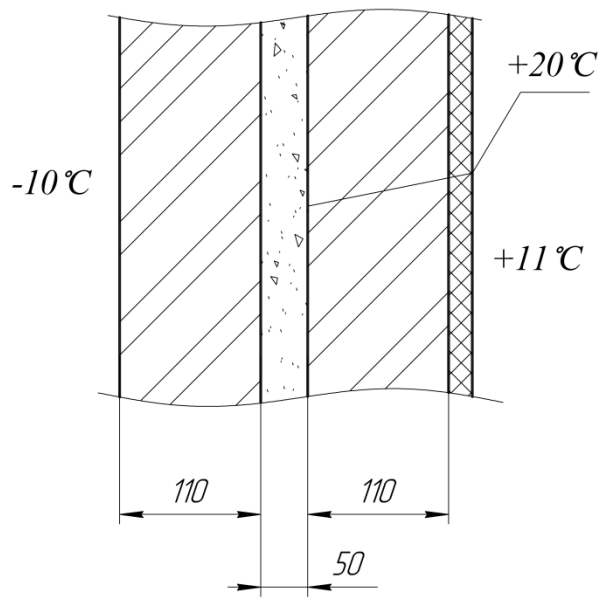


Рисунок 9 – Переріз стіни

Для пустотілої стіни заповненої шаром цементного розчину  $R_{заг}$  дорівнює:

$$R_{заг} = R_u + R_{mat} + R_i$$

$$R_{заг} = 0,04 + \frac{0,11}{0,9} + \frac{0,05}{1,16} + \frac{0,1}{1,0} + 0,15 = 0,46 \text{ (м} \cdot \text{°C/Вт)}$$

Температура на внутрішній поверхні дорівнює:

$$t_{в.п.} = t_{в.с.} - R_i \cdot (t_{вн} - t_{зовн}) / R_{заг}$$

$$t_{в.п.} = 20 - 0,15 \cdot (20 + 10) / 0,46 = +11 \text{°C}$$

Ця температура більш низька ніж в точці конденсації, розрахованій в попередньому прикладі.

**Задача 3.6.** Виконати розрахунок тепловтрат у кутовому приміщенні першого поверху житлового будинку у м. Львові. Приміщення має зовнішню стіну площею  $F_{ст1} = 20 \text{ м}^2$  південної орієнтації з вікном площею  $F_v = 2,56 \text{ м}^2$ , зовнішню стіну площею  $F_{ст2} = 20 \text{ м}^2$  західної орієнтації та підлогу площею  $F_{п} = 40 \text{ м}^2$ . Коефіцієнти теплопередачі зовнішніх стін  $K_{ст} = 0,42 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$ , вікна  $K_v = 2,38 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$ , напівпідвального перекриття  $K_{перекр.} = 0,39 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$ . Температура зовнішнього повітря для найбільш холодної п'ятиденки  $t_{х5} = -15 \text{°C}$ . Температура внутрішнього повітря в кімнаті  $t_{в} = 21 \text{°C}$ .

## Розв'язок

Розрахунок тепловтрат приміщення (для кожної конструкції) проводимо за формулами.

– Для основних тепловтрат:

$$Q_{\text{втр.осн}} = k \cdot F \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{х5}}) \cdot n \text{ [Вт]},$$

де  $n$  – поправковий коефіцієнт на різницю температур (дод. 8);  $F$  – площа конструкції;  $k$  – коефіцієнти теплопередачі;  $t_{\text{в}}$ ,  $t_{\text{х5}}$  – внутрішня температура і температура найбільш холодної п'ятиденки.

– З врахуванням додаткових тепловтрат:

$$Q_{\text{втр}} = Q_{\text{втр.осн}} \cdot m \text{ [Вт]},$$

де  $m$  – поправковий коефіцієнт на додаткові тепловтрати (на орієнтацію, куткове приміщення, інфільтрацію (додаток 8)). Результати розрахунків зведені в таблицю 14.

Таблиця 14 – Результати розрахунків

Назва приміщення і внутрішня температура $t_{\text{в}}$ , °С	Захищення					Різниця температур $(t_{\text{в}} - t_{\text{х5}})$ , °С	Коефіцієнт теплопередачі $k$ , Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	Основні тепловтрати $Q_{\text{втр.осн}}$ , Вт	Додаткові тепловтрати			Тепловтрати $Q_{\text{втр}}$ , Вт
	Назва	Орієнтація	Розміри, мм		Площа $F$ , м <sup>2</sup>				на орієнтацію %	на куткове приміщення %	коефіцієнт $m$	
			ширина	висота								
Житлова кімната, 20°С	ЗС	Пд	6,26	3,0	16,22	[20-(-19)]·1=39	0.42	266	-	5	1.05	279
	В	Пд	1,6	1,6	2,56	39	2.38	238	-	5	1.05	250
	ЗС	Зх	3,0	3,0	18,78	39	0.42	308	5	5	1.1	338
	Пл	-	5,75	5,75	33,06	39·0.75=29.3	0.39	378	-	-	1.0	378
$\Sigma Q_{\text{втр}} = 1245 \text{ (Вт)}$ Домішки на інфільтрацію 15% від $\Sigma Q_{\text{втр}}$ : $0,15 \cdot 1245 = 187 \text{ (Вт)}$ Сумарні тепловтрати приміщення: $1245 + 187 = 1432 \text{ (Вт)}$												

Примітка. ЗС – зовнішня стіна; В – вікно; Пл – підлога (над підвальним перекриттям).

**Задача 3.7.** Фактичне теплоспоживання системою гарячого водопостачання житлового будинку, виявлене за результатами інструментального енергоаудиту, складає 120 кВт. Оцініть потенціал енергозбереження, якщо розрахункова кількість споживачів гарячої води  $m = 100$  чоловік. Температура гарячої води  $55^\circ\text{C}$ , температура холодної водопровідної води в опалювальний період  $5^\circ\text{C}$ , в літній період  $15^\circ\text{C}$ .

#### Розв'язок

Середньодобова витрата теплоти на гаряче водопостачання в опалювальний період визначається за формулою:

$$Q_{\text{ГВ,З}}^{\text{ср.д}} = 1,2 \cdot m \cdot a \cdot (t_{\text{Г}} - t_{\text{х,З}}) \cdot C_{\text{р}}^{\text{ср}} \text{ [кДж/добу]},$$

де  $a = 105 \div 120$  кг/(чол-добу) – норма водоспоживання для житлових будинків квартирної типу, обладнаних ванними;  $C_{\text{р}}^{\text{ср}} = 4,19$  кДж/(кг · К) – середня питома теплоємність води;

Тоді:

$$Q_{\text{ГВ,З}}^{\text{ср.д}} = 1,2 \cdot 100 \cdot 120 \cdot (55 - 5) \cdot 4,19 = 3016800 \text{ (кДж/добу)}.$$

Середнє навантаження на гаряче водопостачання в опалювальний період:

$$Q_{\text{ГВ,З}}^{\text{ср}} = \frac{Q_{\text{ГВ,З}}^{\text{ср.д}}}{24 \cdot 3600} = \frac{3016800}{24 \cdot 3600} = 34,92 \text{ (кВт)}.$$

Розрахункове максимальне теплове навантаження на гаряче водопостачання:

$$Q_{\text{ГВ}}^{\text{р}} = \chi \cdot Q_{\text{ГВ,З}}^{\text{ср}} = 2,4 \cdot 34,92 = 83,8 \text{ (кВт)},$$

де  $\chi$  – розрахунковий коефіцієнт годинної нерівномірності, орієнтовно для житлових і громадських будівель приймають  $\chi = 2,4$ .

Потенціал енергозбереження можна оцінити, як різницю фактичного і розрахункового теплових навантажень:

$$Q_{\text{ф}} - Q_{\text{ГВ}}^{\text{р}} = 120 - 83,8 = 32,2 \text{ (кВт)}.$$

## ЛІТЕРАТУРА

1. Бакалін Ю. І. Енергозбереження та енергетичний менеджмент : навч. посіб. Харків : БУРУН і К, 2006. 320 с.
2. Джеджула В. В. Енергозбереження промислових підприємств: методологія формування, механізм управління : монографія. Вінниця : ВНТУ, 2014. 347 с.
3. Дудар І. Н., Потапова Т. Е. Енергозберігаючі будівлі та споруди. Частина 2. Вінниця : ВНТУ, 2006. 170 с.
4. Енергетичний інжиніринг та менеджмент. Проектування ефективних енергетичних систем : навч. посіб. / П. Г. Плешков та ін.; ред. П. Г. Плешков. Кропивницький : ЦНТУ, 2018. 156 с.
5. Краснянський М. Енергозбереження : навч. посіб. Київ : Кондор, 2020. 136 с.
6. Маляренко В. А., Немировський І. А. Енергозбереження та енергетичний аудит : навч. посіб. 2-ге вид., перероб. і допов. Харків : ХПІ, 2010. 344 с.
7. Мартинов А. В., Неженцев О. Б., Шевченко М. О. Основи енергозбереження : навч. посіб. Східноукр. нац. ун-т ім. В. Даля. Луганськ, 2016. 231 с.
8. Методичні вказівки до розрахунково-графічного завдання з дисципліни «Інженерне обладнання споруд» (для студентів 4 курсу денної форми навчання спеціальності 6.120100–«Містобудування») / уклад. Г. А. Усик. Харків : ХНАМГ, 2007. 34 с.
9. Методичні вказівки щодо виконання практичних робіт і самостійної роботи з навчальної дисципліни «Методи та засоби енергозбереження в електротехнічних комплексах» для аспірантів очної форми навчання зі спеціальності 141– «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» третього (освітньо-наукового) рівня / уклад.: В. О. Огарь, Ю. О. Алексеєва. Кременчук : 2019. 64 с.
10. Основи ефективного використання електричної енергії в системах електроспоживання промислових підприємств : навч. посіб. / О. І. Соловей та ін. / М-во освіти і науки України. Кіровоград : КНТУ, 2015. 287 с.
11. Практичний посібник з енергозбереження для об'єктів промисловості, будівництва та житлово-комунального господарства України / О. М. Закладний та ін. Луганськ : Місячне сяйво, 2009. 696 с.
12. Разумний Ю. Т., Заїка В. Т., Степаненко Ю. В. Енергозбереження : навч. посіб. 2-е вид. Дніпро : Національний гірничий університет, 2008. 166 с.
13. Харківський Б. Т., Косенко В. Ф., Сімененко С. Т. Енергоресурсозбереження : навч. посіб. / Східноукр. нац. ун-т ім. В. Даля. Луганськ : Ноулідж, 2012. 213 с.

## Додаток 1

Дисконтуючий множник при стандартному інвестуванні  
в кінці кожного періоду суми в 1 у. о.

Роки	Норма дисконту Е													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	0,990	0,980	0,971	0,962	0,952	0,943	0,935	0,926	0,917	0,909	0,901	0,893	0,885	0,877
2	1,970	1,942	1,913	1,886	1,859	1,833	1,808	1,783	1,759	1,736	1,713	1,690	1,668	1,647
3	2,941	2,884	2,829	2,775	2,723	2,673	2,624	2,577	2,531	2,487	2,444	2,402	2,361	2,322
4	3,902	3,808	3,717	3,360	3,546	3,465	3,387	3,312	3,240	3,170	3,102	3,037	2,975	2,914
5	4,853	4,713	4,580	4,452	4,329	4,212	4,100	3,993	3,890	3,791	3,696	3,605	3,517	3,433
6	5,795	5,601	5,417	5,242	5,076	4,917	4,767	4,623	4,486	4,355	4,231	4,111	3,998	3,889
7	6,728	6,472	6,230	6,002	5,786	5,582	5,389	5,206	5,033	4,868	4,712	4,564	4,423	4,228
8	7,652	7,325	7,020	6,733	6,463	6,210	5,971	5,747	5,535	5,335	5,146	4,968	4,799	4,639
9	8,566	8,162	7,786	7,435	7,108	6,802	6,515	6,247	5,995	5,759	5,537	5,328	5,132	4,946
10	9,471	8,983	8,530	8,111	7,722	7,360	7,024	6,710	6,418	6,145	5,889	5,650	5,426	5,216
11	10,368	9,787	9,253	8,760	8,306	7,887	7,499	7,139	6,805	6,495	6,207	5,938	5,687	5,453
12	11,255	10,575	9,954	9,385	8,863	8,384	7,943	7,536	7,161	6,814	6,492	6,191	5,918	5,660
13	12,134	11,348	10,635	9,986	9,394	8,853	8,358	7,904	7,487	7,103	6,750	6,424	6,122	5,842
14	13,004	12,106	11,296	10,563	9,899	9,295	8,745	8,244	7,786	7,367	6,982	6,628	6,303	6,002
15	13,865	12,849	11,938	11,118	10,380	9,712	9,108	8,559	8,061	7,606	7,191	6,811	6,462	6,142
16	14,718	13,578	12,561	11,652	10,838	10,106	9,447	8,851	8,313	7,824	7,379	6,974	6,604	6,265
17	15,562	14,292	13,166	12,166	11,274	10,477	9,763	9,122	8,544	8,022	7,549	7,120	6,729	6,373
18	16,398	14,992	13,754	12,659	11,690	10,828	10,059	9,372	8,756	8,201	7,702	7,250	6,840	6,467

Продовження додатка 1

Роки	Норма дисконту Е													
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	30	35	40
1	0,870	0,862	0,855	0,848	0,840	0,833	0,826	0,820	0,813	0,807	0,800	0,769	0,741	0,714
2	1,626	1,605	1,585	1,566	1,547	1,528	1,510	1,492	1,474	1,457	1,440	1,361	1,289	1,225
3	2,283	2,246	2,210	2,179	2,140	2,107	2,074	2,042	2,011	1,981	1,952	1,816	1,696	1,589
4	2,855	2,798	2,743	2,690	2,639	2,589	2,540	2,494	2,448	2,404	2,362	2,166	1,997	1,849
5	3,352	3,274	3,159	3,127	3,058	2,991	2,926	2,864	2,804	2,745	2,689	2,436	2,220	2,035
6	3,785	3,685	3,589	3,498	3,410	3,326	3,245	3,168	3,092	3,021	2,951	2,643	2,385	2,168
7	4,160	4,039	3,922	3,812	3,706	3,605	3,508	3,416	3,327	3,242	3,161	2,802	2,508	2,263
8	4,487	4,344	4,207	4,078	3,954	3,837	3,726	3,619	3,518	3,421	3,329	2,925	2,598	2,331
9	4,722	4,607	4,451	4,303	4,163	4,031	3,905	3,786	3,673	3,566	3,463	3,019	2,665	2,379
10	5,019	4,833	4,659	4,494	4,339	4,193	4,054	3,923	3,799	3,682	3,571	3,092	2,715	2,414
11	5,234	5,029	4,836	4,656	4,487	4,327	4,177	4,035	3,902	3,776	3,656	3,147	2,752	2,438
12	5,421	5,197	4,988	4,793	4,611	4,439	4,279	4,127	3,985	3,851	3,725	3,190	2,779	2,456
13	5,583	5,343	5,118	4,910	4,715	4,533	4,362	4,203	4,053	3,912	3,780	3,223	2,799	2,469
14	5,725	5,468	5,229	5,008	4,802	4,611	4,432	4,265	4,108	3,966	3,824	3,249	2,814	2,478
15	5,847	5,576	5,324	5,092	4,876	4,676	4,489	4,315	4,153	4,001	3,859	3,268	2,826	2,484
16	5,954	5,669	5,405	5,162	4,938	4,730	4,536	4,357	4,189	4,033	3,887	3,283	2,834	2,489
17	6,047	5,487	5,475	5,222	4,990	4,775	4,576	4,391	4,219	4,059	3,910	3,295	2,840	2,492
18	6,128	5,818	5,534	5,273	5,033	4,812	4,608	4,419	4,243	4,080	3,928	3,304	2,844	2,494

Продовження додатка 1

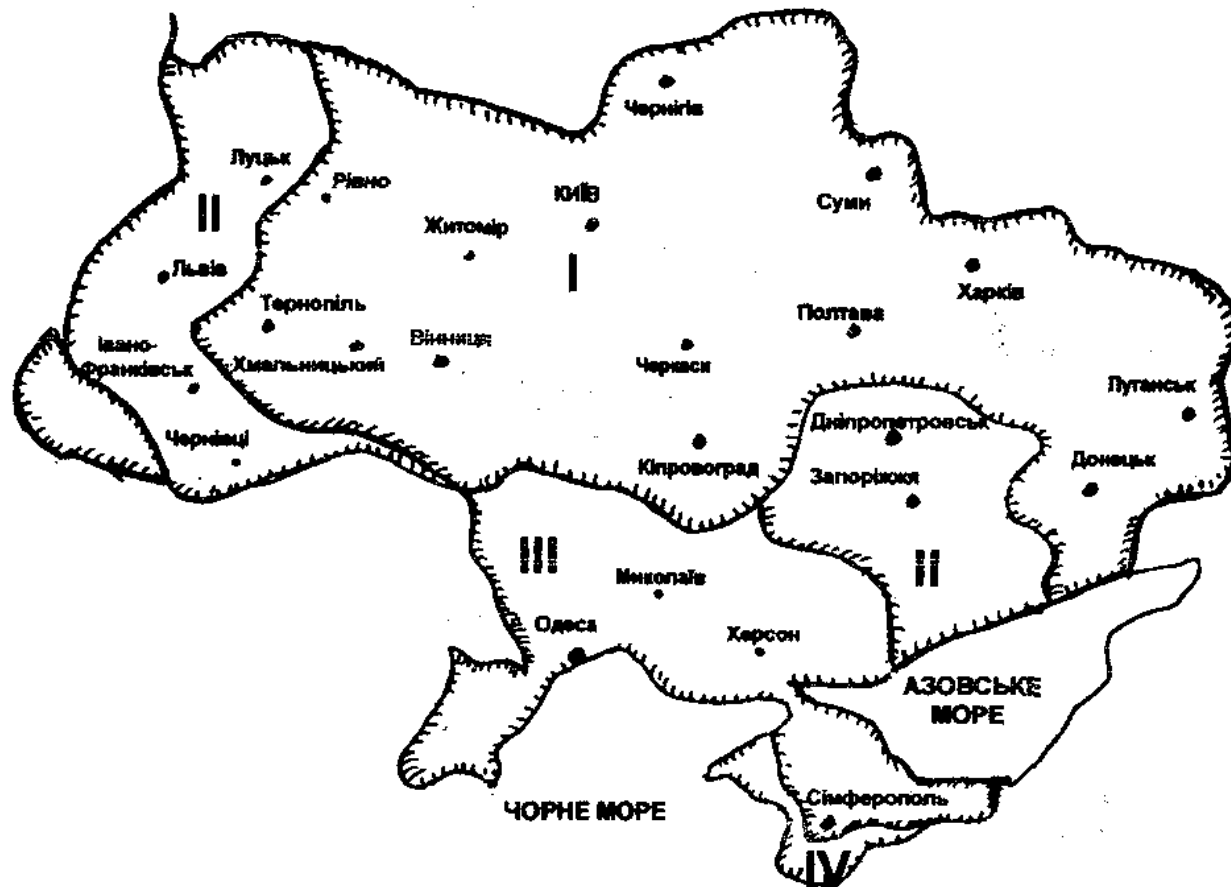
Роки	Норма дисконту Е											
	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
1	0,690	0,667	0,645	0,625	0,606	0,588	0,571	0,555	0,541	0,526	0,513	0,500
2	1,165	1,111	1,061	1,016	0,973	0,934	0,898	0,864	0,833	0,819	0,776	0,750
3	1,493	1,407	1,330	1,260	1,196	1,138	1,0855	1,096	0,991	0,961	0,911	0,875
4	1,720	1,605	1,503	1,412	1,331	1,258	1,191	1,131	1,076	1,034	0,980	0,938
5	1,876	1,737	1,615	1,508	1,413	1,328	1,252	1,184	1,122	1,072	1,015	0,969
6	1,983	1,824	1,687	1,605	1,492	1,394	1,307	1,213	1,147	1,091	1,034	0,984
7	2,057	1,883	1,734	1,605	1,492	1,394	1,307	1,230	1,161	1,101	1,043	0,992
8	2,109	1,922	1,764	1,628	1,511	1,408	1,318	1,219	1,168	1,106	1,048	0,996
9	2,144	1,948	1,783	1,642	1,522	1,417	1,325	1,244	1,172	1,108	1,050	0,998
10	2,168	1,965	1,796	1,652	1,528	1,422	1,328	1,247	1,174	1,110	1,051	0,999
11	2,185	1,977	1,804	1,657	1,532	1,424	1,331	1,248	1,175	1,110	1,052	0,999
12	2,197	1,985	1,809	1,661	1,535	1,426	1,332	1,249	1,176	1,111	1,052	1,000
13	2,205	1,990	1,812	1,663	1,536	1,427	1,332	1,249	1,176	1,111	1,053	1,000
14	2,210	1,993	1,810	1,664	1,537	1,428	1,333	1,250	1,176	1,111	1,053	1,000
15	2,214	1,995	1,826	1,665	1,538	1,428	1,333	1,250	1,176	1,111	1,053	1,000
16	2,216	1,997	1,817	1,666	1,538	1,428	1,333	1,250	1,176	1,111	1,053	1,000
17	2,218	1,998	1,817	1,666	1,538	1,428	1,333	1,250	1,176	1,111	1,053	1,000
18	2,220	2,000	1,818	1,666	1,538	1,428	1,333	1,250	1,177	1,111	1,053	1,000

## Розрахункові параметри зовнішнього повітря для деяких міст України

Місто	Розрахункова зимова температура повітря, °С			Середня швидкість повітря, м/с	Зона вологості	Кількість градусо-днів опалювального періоду, S
	t <sub>з</sub> забезпеч. 0,92	t <sub>хд</sub> забезпеч. 0,92	t <sub>з</sub> холодного терміну			
Бердянськ	-19	-25	-7	-	суха	3024
Вінниця	-21	-26	-10	5,2	норм.	3610
Джанкой	-17	-25	-5	1	суха	2640
Дніпропетровськ	-23	-26	-9	5,7	суха	3325
Донецьк	-23	-29	-10	6,2	суха	3623
Євпаторія	-16	-20	-3	7,1	суха	2324
Житомир	-22	-25	-9	5,4	норм.	3610
Запоріжжя	-22	-25	-8	2,1	суха	3202
Івано-Франківськ	-20	-22	-9	5,8	норм.	3330
Ізмаїл	-14	-20	-5	7	суха	2812
Керч	-15	-19	-4	9	суха	2174
Київ	-22	-26	-10	4,2	норм.	3572
Кіровоград	-21	-25	-9	5,7	суха	3515
Конотоп	-24	-28	-11	4,3	норм.	3919
Луганськ	-25	-29	-10	5,2	норм.	3528
Луцьк	-20	-23	-8	6,3	норм.	3403
Львів	-19	-23	-9	5,1	норм.	3476
Любашівка	-20	-24	-9	-	норм.	3311
Маріуполь	-23	-25	-9	8	норм.	3253
Миколаїв	-20	-22	-7	10	суха	2904
Одеса	-18	-21	-6	11	суха	2805

## Продовження додатка 2

1	2	3	4	5	6	7
Полтава	-23	-27	-11	6,2	суха	3721
Рівно	-21	-25	-9	5,1	норм.	3555
Севастополь	-11	-14	0	9	суха	2015
Сімферополь	-15	-20	-4	8	суха	2544
Слав'янськ	-23	-29	-10	5,2	суха	3585
Суми	-24	-28	-12	5,0	норм.	3997
Тернопіль	-21	-25	-9	5,1	норм.	3515
Ужгород	-18	-22	-6	4,3	норм.	2657
Умань	-21	-26	-9	5,7	суха	3572
Феодосія	-15	-19	-2	6	суха	2174
Харків	-23	-28	-11	6,1	суха	3799
Херсон	-19	-22	-7	8	суха	2906
Хмельницький	-21	-25	-9	5,7	норм.	3553
Черкаси	-22	-26	-9	1	суха	3591
Чернігів	-23	-27	-10	3,8	норм.	3763
Чернівці	-20	-25	-9	5,4	суха	3228
Ялта	-6	-8	+1	8,7	суха	1613



Карта-схема температурних зон України

I зона –  $S > 3501$  градусо-діб; II зона –  $S = 3001 \div 3500$  градусо-діб;  
 III зона –  $S = 2501 \div 3000$  градусо-діб; IV зона –  $S < 2500$  градусо-діб  
 (S – значення градусо-діб опалювального періоду – див. додаток 2)

## Додаток 4

Умови експлуатації огорожувальних конструкцій залежно від  
вологісного режиму приміщень та зон вологості

Вологісний режим приміщень	Умови експлуатації А і Б в зонах вологості		
	сухий	нормальний	вологий
сухий	А	А	Б
нормальний	А	Б	Б
вологий	Б	Б	Б

Примітка. Для житлових приміщень приймають нормальний вологісний режим ( $\varphi_n = 50-60\%$ ).

## Додаток 5

Теплотехнічні показники будівельних матеріалів і конструкцій

Матеріал	Щільність $\gamma_0$ , кг/м <sup>3</sup>	Розрахункові коефіцієнти (при умові експлуатації за дод. 4)			
		теплопровідність $\lambda$ , Вт/(м·°С)		теплотасвоєння S, Вт/(м <sup>2</sup> ·°С)	
		А	Б	А	Б
1	2	3	4	5	6
1. Залізобетон	2500	1,92	2,04	17,98	16,95
2. Туфобетон	1200	0,41	0,47	6,33	7,20
3. Пемзобетон	1200	0,40	0,43	5,94	6,41
4. Керамзитобетон на керамзитовому піску і керамзитобетон	1200	0,44	0,52	6,36	7,57
5. Те саме	500	0,17	0,23	2,55	3,25
6. Керамзитобетон на перлітовому піску	1000	0,35	0,41	5,57	6,43
7. Те саме	800	0,29	0,35	4,54	5,32
8. Перлітобетон	1200	0,44	0,50	6,96	8,01
9. Те саме	600	0,19	0,23	3,24	3,84
10. Газо- та пінобетон, газо- та піносилікат	800	0,33	0,37	4,92	5,63
	600	0,22	0,26	3,36	3,91
	400	0,14	0,15	2,19	2,42
	300	0,11	0,13	1,68	1,95
11. Газо- та пінозалізобетон	1000	0,44	0,50	6,68	8,01
	800	0,35	0,41	5,48	6,44
12. Цементно-піщаний розчин	1800	0,76	0,93	9,60	11,09
13. Складний (пісок, вапно, цемент) розчин	1700	0,70	0,87	8,95	10,42
14. Вапняно-піщаний розчин	1600	0,70	0,81	8,69	9,76

## Продовження додатка 5

1	2	3	4	5	6
Цегляна кладка із суцільної цегли:					
15. Глиняної звичайної на цементно-піщаному розчині (ДОСТ 530-80)	1800	0,70	0,81	9,20	10,12
16. Глиняної звичайної на цементно-шлаковому розчині	1700	0,64	0,76	8,64	9,70
17. Глиняної звичайної на цементно-перлитовому розчині	1600	0,58	0,70	8,08	9,23
18. Силікатної (ДОСТ 379-79) на цементно-піщаному розчині	1800	0,76	0,87	9,77	10,90
19. Трепельної (ДОСТ 379-79) на цементно-піщаному розчині	1200	0,47	0,52	6,26	6,44
20. Гравій керамзитовий (ДОСТ 9799-83)	600	0,17	0,20	2,62	2,91
21. Те саме	300	0,12	0,13	1,56	1,66
22. Щебінь із доменного шлаку (ДОСТ 5578-76), шлакової пемзи (ДОСТ 9760-75) і аглопориту (ДОСТ 11991-83)	400	0,14	0,16	1,94	2,12
23. Бітумні, нафтові будівельні та покрівельні	1000	0,17	0,17	4,56	4,56
24. Асфальтобетон	2100	1,05	1,05	16,43	16,43
25. Лінолеум полівінілхлоридний багат шаровий	1800	0,35	0,35	8,22	8,22
26. Сосна та ялина уздовж волокон	500	0,29	0,35	5,56	6,33
27. Дуб уздовж волокон	700	0,35	0,41	6,90	7,83
28. Мати мінераловатні прошивні	125	0,06	0,07	0,73	0,82
29. Те саме	75	0,06	0,06	0,55	0,61
30. Пінополістирол	150	0,05	0,06	0,89	0,99
31. Те саме	100	0,41	0,05	0,65	0,82
32. Те саме	40	0,04	0,05	0,41	0,49
33. Пінопласт ПХВ	125	0,06	0,06	0,86	0,99
34. Те саме	100	0,05	0,05	0,68	0,80
35. Пінополіуретан	80	0,05	0,05	0,67	0,70
36. Те саме	60	0,04	0,04	0,53	0,55
37. ISOVER	50	0,03	0,04	1,3	1,49

## Додаток 6

### Коефіцієнт $n$

Огороджувальні конструкції	Коефіцієнт
1. Зовнішні стіни та покриття (в тому числі вентилявані зовнішнім повітрям), перекриття горищні (з крівлею із штучних матеріалів)	1
2. Перекриття над холодними підвалами, до яких надходить зовнішнє повітря, перекриття горищні (з крівлею із рулонних матеріалів)	0,9
3. Перекриття над неопалювальними підвалами без світлових отворів	0,6
4. Перекриття над підвалами з світловими отворами	0,75

## Додаток 7

### Нормативи опору теплопередачі зовнішніх огороджувальних конструкцій житлово-громадських будівель та споруд

№	Назва огороджувальної конструкції	Нормативи значення опору теплопередачі огороджувальних конструкцій ( $m^2 \cdot ^\circ C / W$ )			
		I зона $S > 3501$ гр.-д.	II зона $3001 < S < 3500$ гр.-д.	III зона $2501 < S < 3000$ гр.-д.	IV зона $S < 2500$ гр.-д.
1	2	3	4	5	6
<b>А. Нове будівництво</b>					
	<b>Зовнішні стіни</b>				
1.	Крупнопанельні, монолітні та об'ємноблочні з утеплювачем:				
	а) з полімерних матеріалів	2,5	2,4	2,2	2,0
	б) з мінераловати або інших матеріалів	2,2	2,1	1,9	1,8
2.	Блочні:				
	а) з чарункового бетону	2,0	1,9	1,7	1,5
	б) з пористим заповнювачем	1,8	1,7	1,5	1,3
3.	Цегляні, з керамічних каменів і дрібних блоків:				
	а) повнотілі з утеплювачем	2,2	2,1	1,9	1,7
	б) багатошлітинні	1,6	1,5	1,4	1,2
	<b>Покриття та перекриття</b>				
4.	Покриття та перекриття горищ (окрім «теплих» горищ)	2,7	2,5	2,4	2,0

Продовження додатка 7

1	2	3	4	5	6
5.	Перекриття над проїздами та холодними підвалами, які з'єднані із зовнішнім повітрям	3,0	2,9	2,4	2,0
6.	Перекриття над неопалювальними підвалами				
	а) зі світловими отворами в стінах	2,5	2,4	2,2	2,0
	б) без світлових отворів	2,3	2,2	2,0	1,8
7.	Вікна й балконні двері	0,5	0,42	0,42	0,39
<b>Б. Реконструкція, капітальний ремонт</b>					
1.	Зовнішні стіни	2,2	2,1	1,9	1,7
2.	Покриття та перекриття горищ	2,5	2,4	2,2	2,0
3.	Перекриття над проїздами і підвалами	Як для нового будівництва			
4.	Вікна й балконні двері				

Примітка. Для багатошарових стін з утеплювачем табличні значення треба приймати з коефіцієнтом 0,95 при наявності одного вікна і з коефіцієнтом 0,9 – при вікні на двері.

**Додаток 8**

Додаткові тепловтрати:

- на орієнтацію
- Пн, Сх., ПнСх, ПнЗх - 10%
- Зх, ПдСх -50%
- на куткове приміщення - 5%
- на нагрівання повітря, яке інфільтрує в приміщенні житлових громадських і допоміжних будівель

Кількість поверхів будинку	Розрахунковий поверх							
	1	2	3	4	5	6	7	8
	Значення додавання, %							
3	5	-	-	-	-	-	-	-
4	10	5	-	-	-	-	-	-
5	10	10	5	-	-	-	-	-
6	15	10	5	5	-	-	-5	-
7	20	15	10	5	-	-	-	-
8	20	15	10	10	5	-	-	-

*Електронне навчальне видання*

**Олена Миколаївна Нанака  
Олексій Вікторович Бабенко  
Олексій Михайлович Головченко**

**Методичні вказівки до виконання практичних робіт з  
дисципліни «Підвищення енергоефективності систем  
енергопостачання» зі спеціальності «Електрична інженерія»  
(освітня програма «Енергоменеджмент та енергоефективні  
технології»)**

Рукопис оформив: О. Нанака

Редактор: Г. Суровенко

Оригінал-макет виготовлено в РВВ ВНТУ

Підписано до видання 6.04.2026

Гарнітура Times New Roman.

Зам. № P2026-037.

Видавець та виготовлювач  
Вінницький національний технічний університет,  
Редакційно-видавничий відділ.

ВНТУ, ГНК, к. 114.

Хмельницьке шосе, 95,

м. Вінниця, 21021.

press.vntu.edu.ua;

Email: rvv.vntu@gmail.com.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.