

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

МЕТОДИ АНАЛІЗУ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ

КУРСОВА РОБОТА

*Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня бакалавра
за освітньою програмою
«Енергетичний менеджмент та інжиніринг
теплоенергетичних систем»
спеціальності 144 «Теплоенергетика»*

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2021

Методи аналізу енергоефективності будівель: Курсова робота [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 144 «Теплоенергетика» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ; уклад.: М.М. Шовкалюк, І.Ю.Білоус, О.І.Яценко, – Електронні текстові дані (1 файл: 0,4 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. –46 с.

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол №8 від 24.06.2021 р.)
за поданням Вченої ради Інституту енергозбереження та енергоменеджменту
(протокол №12 від 31.05.2021 р.)*

Електронне мережне навчальне видання

МЕТОДИ АНАЛІЗУ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ

КУРСОВА РОБОТА

Укладач: *Шовкалюк Марина Михайлівна*, канд. техн. наук, доцент

Білоус Інна Юріївна, канд. техн. наук, доцент

Яценко Олена Ігорівна

Відповідальний редактор *Буяк Н.А.*, канд. техн. наук

Рецензент *Розен Віктор Петрович*, д-р техн. наук, проф., професор кафедри АУЕК ІЕЕ „КПІ ім. Ігоря Сікорського”

Дане видання призначене для виконання курсової роботи з методів аналізу енергоефективності будівель для студентів спеціальності 144 «Теплоенергетика» освітньо-професійної програми «Енергетичний менеджмент та інжиніринг теплоенергетичних систем». Назва роботи: «Визначення показників енергоефективності будівель»

Видання включає індивідуальні завдання, приклади вирішення та необхідні додатки. Студенти мають продемонструвати вміння проводити розрахунки енергопотреб будівлі та її енергоспоживання з урахуванням ефективності роботи інженерних систем, а також класу енергоефективності.

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 МЕТА ТА ЗАВДАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ.....	6
2. ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ	6
3 РЕЖИМ ОПАЛЕННЯ.....	8
3.1 СУМАРНА ТЕПЛОПЕРЕДАЧА ТРАНСМІСІЄЮ ДЛЯ РЕЖИМУ ОПАЛЕННЯ	8
3.2 СУМАРНА ТЕПЛОПЕРЕДАЧА ВЕНТИЛЯЦІЄЮ ДЛЯ РЕЖИМУ ОПАЛЕННЯ	11
3.3 СУМАРНА ТЕПЛОПЕРЕДАЧА ДЛЯ РЕЖИМУ ОПАЛЕННЯ ...	12
3.4 ВНУТРІШНІ ТЕПЛОНАДХОДЖЕННЯ ДЛЯ РЕЖИМУ ОПАЛЕННЯ	13
3.5 ТЕПЛОНАДХОДЖЕННЯ ВІД СОНЦЯ ДЛЯ РЕЖИМУ ОПАЛЕННЯ	14
3.5.1 Визначення понижувальних коефіцієнтів затінення.....	14
3.5.2 Визначення еквівалентної площі інсоляції.....	16
3.5.2.1 Визначення еквівалентної площі інсоляції вікон.....	16
3.5.2.2 Визначення еквівалентної площі інсоляції непрозорих елементів	17
3.5.3 Визначення сонячної радіації	18
3.5.4 Визначення додаткового потоку внаслідок теплового випромінювання в атмосферу	19
3.5.5 Визначення сонячних теплонадходжень через елементи будівлі за рік	20
3.6 СУМАРНІ ТЕПЛОНАДХОДЖЕННЯ ДЛЯ РЕЖИМУ ОПАЛЕННЯ	21

3.7 КОЕФІЦІЄНТ ВИКОРИСТАННЯ НАДХОДЖЕНЬ ДЛЯ ОПАЛЕННЯ	22
3.8 ЕНЕРГОПОТРЕБА ДЛЯ ОПАЛЕННЯ	24
3.9 ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ДЛЯ ОПАЛЕННЯ.....	25
3.9.1 Енергоспоживання підсистеми тепловіддачі при опаленні.....	25
3.9.2 Енергоспоживання підсистеми розподілення при опаленні	27
3.9.3 Енергоспоживання підсистеми генерування при опаленні.....	28
4 РЕЖИМ ОХОЛОДЖЕННЯ	29
4.1 СУМАРНА ТЕПЛОПЕРЕДАЧА ТРАНСМІСІЄЮ ДЛЯ РЕЖИМУ ОХОЛОДЖЕННЯ	29
4.2 СУМАРНА ТЕПЛОПЕРЕДАЧА ВЕНТИЛЯЦІЄЮ ДЛЯ РЕЖИМУ ОХОЛОДЖЕННЯ	30
4.3. СУМАРНА ТЕПЛОПЕРЕДАЧА ДЛЯ РЕЖИМУ ОХОЛОДЖЕННЯ	30
4.4 ВНУТРІШНІ ТЕПЛОНАДХОДЖЕННЯ В ПЕРІОД ОХОЛОДЖЕННЯ	31
4.5 ТЕПЛОНАДХОДЖЕННЯ ВІД СОНЦЯ В ПЕРІОД ОХОЛОДЖЕННЯ	31
4.6 СУМАРНІ ТЕПЛОНАДХОДЖЕННЯ ДЛЯ РЕЖИМУ ОХОЛОДЖЕННЯ	32
4.7 КОЕФІЦІЄНТ ВИКОРИСТАННЯ НАДХОДЖЕНЬ ДЛЯ ОХОЛОДЖЕННЯ	32
4.8 ЕНЕРГОПОТРЕБА ДЛЯ ОХОЛОДЖЕННЯ	34
4.9 ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ДЛЯ ОХОЛОДЖЕННЯ.....	35
4.9.1 Енергоспоживання підсистеми розподілення при охолодженні.	35
4.9.2 Енергоспоживання підсистеми генерування при опаленні.....	36
9 ВИЗНАЧЕННЯ КЛАСУ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЛІ	37

ВСТУП

Гармонізація законодавчої [1] та нормативної бази України з європейськими вимогами [2] спрямована на стимулювання впровадження енергоефективних технічних рішень у сфері житлово-комунального господарства (ЖКГ). З набуттям чинності Закону України «Про енергетичну ефективність будівель» [1] та низки підзаконних актів [3-6] в Україні розпочато діяльність із сертифікації енергетичної ефективності будівель.

Розроблені атестованими енергоаудиторами енергетичні сертифікати вносяться до відкритої бази даних України (Портал державної електронної системи у сфері будівництва) [7].

Фактично ефективність використання теплової енергії в будівлях України у 3–5 разів нижча, ніж у західних країнах. Один із інструментів впливу на зниження споживання ресурсів будівельного фонду є впровадження у нормативну базу вимог щодо підвищення енергоефективності. В Україні впроваджено будівельні норми [8] та стандарти, що регламентують вимоги до методів розрахунку показників енергоефективності [9], а також вимоги до огорожувальних конструкцій будівель [10] та розрахункові параметри зовнішнього повітря [11].

У процесі роботи енергоаудитори мають вирішуватися різноманітні технічні, економічні, організаційні, юридичні та інші завдання в рамках реалізації проектів комплексної термомодернізації з урахуванням дотримання вимог щодо мікроклімату. Успішне розв'язання таких завдань вимагає підготовки достатньої кількості кваліфікованих фахівців, які для провадження професійної діяльності потребують систематизованих фундаментальних знань у сфері енергозбереження, енергоефективних технологій та енергоменеджменту.

У даному посібнику з урахуванням діючої нормативної бази та національної методики розрахунку наведено порядок визначення:

- енергопотреби будівлі;
- енергоспоживання будівлі з урахуванням ефективності роботи інженерних систем,
- класу енергоефективності

Навчальний посібник містить індивідуальні завдання для розрахунків і довідкові дані у додатках.

Методичні вказівки створені виконання курсової роботи «Визначення показників енергоефективності будівель» для здобувачів ступеня магістра за освітньою програмою «Енергетичний менеджмент та інжиніринг теплоенергетичних систем» спеціальності 144 «Теплоенергетика».

1 МЕТА ТА ЗАВДАННЯ КУРСОВОЇ РОБОТИ

Мета роботи: визначення показників енергоефективності будівлі.

Завдання роботи:

- 1) Визначити сумарну теплопередачу трансмісією та вентиляцією для режимів опалення і охолодження;
- 2) Визначити внутрішні теплонадходження;
- 3) Визначити теплонадходження від сонця;
- 4) Визначити енергопотребу на опалення;
- 5) Визначити енергопотребу на охолодження;
- 6) Визначити енергоспоживання за опалювальний період;
- 7) Визначити енергоспоживання за період охолодження;
- 8) Визначити клас енергоефективності будівлі.

2. ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ

Вихідні дані для виконання індивідуального завдання згідно з варіантом:

- 1) Тип будівлі, місто, геометричні розміри та характеристики зовнішніх огорожень, а також периметр підлоги P , [м] та кондиціонований об'єм V , [м³] наведено в додатку 1.
- 2) Одна із стін будівлі – внутрішня: її площу не задано у вихідних даних (проставлено знак «-» (прочерк). Під час розрахунку тепловтрат відповідно не враховується.
- 3) Тип підлоги в усіх варіантах – підлога по ґрунту.
Тип ґрунту:
 - парні варіанти: глина або мул,
 - непарні варіанти: пісок або гравій.
- 4) Значення заданої внутрішньої температури будівлі згідно з її призначенням (для режимів опалення та охолодження відповідно) обирати за табл 16. ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [9].
- 5) Значення розрахункової кратності інфільтрації прийняти:
 $n_{inf} = 0,6 \text{ год}^{-1}$ (за дод.Х ДБН В.2.5-67:2013 “Опалення, водопровід і каналізація”).
- 6) Графік використання будівлі:
 - житлові та лікарні: 24 год/добу,

- громадські різного типу, крім лікарні:
 - парні варіанти: 112 год/тиждень,
 - непарні варіанти: 84 год/тиждень.

7) Тип скління (вікна і входні двері):

- парні варіанти: подвійне скління з селективним низькоемісійним покриттям,
- непарні варіанти: потрійне скління.

8) Площу вікон за фасадами розподілити рівномірно на Пн та Пд, або у випадку, якщо одна з них – внутрішня, відповідно на З та С.

9) Система опалення: в усіх варіантах опалювальні прилади встановлені під вікнами без радіаційного захисту, підсистема розподілення розташована в опалюваному приміщенні; інші характеристики системи опалення згідно варіантів зведені в таблиці Д.1.6.

10) Система охолодження: в усіх варіантах холодна вода 7/12; ефективність системи управління/регулювання – клас В; тип холодильної машини – компресорна холодильна машина.

Приклад розрахунку у тексті посібника нижче наведено для варіанту 0.

3 РЕЖИМ ОПАЛЕННЯ

3.1 СУМАРНА ТЕПЛОПЕРЕДАЧА ТРАНСМІСІЄЮ ДЛЯ РЕЖИМУ ОПАЛЕННЯ

Сумарну теплопередачу трансмісією Q_{tr} , Вт·год, розраховують для кожного місяця за формулою (1):

$$Q_{tr} = H_{tr,adj} \cdot (\theta_{int,set,H} - \theta_e) \cdot t, \quad (1)$$

де

$\theta_{int,set,H}$ – задана внутрішня температура в будівлі в опалювальний період, °С, приймати за табл.16 ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [9];

θ_e – середньомісячна температура зовнішнього середовища, °С; приймати за табл. А2 ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [9];

t – тривалість місяцю, для якого проводиться розрахунок, год, приймати за табл. А1 (додаток А) в ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [9];

$H_{tr,adj}$ – загальний коефіцієнт теплопередачі трансмісією, Вт/К, встановлений для різниці температур всередині-ззовні:

$$H_{tr,adj} = H_D + H_G + H_u + H_A, \quad (2)$$

де

$H_u=0$ – узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією через некондиціоновані об'єми, Вт/К;

$H_A=0$ – узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до суміжних будівель, Вт/К;

H_D – узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до зовнішнього середовища (опір теплопередачі та площа огорожувальних конструкцій наведені згідно з індивідуальним варіантом у додатку 1), Вт/К:

$$H_D = b_{tr,x} \sum_{i=1}^n A_i U_i, \quad \text{де } U_i = \frac{1}{R_{\Sigma np}},$$

під час розрахунків H_D поправочний коефіцієнт $b_{tr,x} = 1$, тоді:

$$H_D = A_{ст.зх} \frac{1}{R_{ст.зх}} + A_{ст.пн} \frac{1}{R_{ст.пн}} + A_{ст.пд} \frac{1}{R_{ст.пд}} + A_{в} \frac{1}{R_{в}} + A_{дах} \frac{1}{R_{дах}} + A_{дв} \frac{1}{R_{дв}}, \quad (3)$$

$$H_D = 32,91 \frac{1}{2,34} + 34,81 \frac{1}{2,67} + 31,6 \frac{1}{2,34} + 12 \frac{1}{1,14} + 139 \frac{1}{1,05} + 2 \frac{1}{0,983} = 185,548 \frac{\text{Вт}}{\text{К}};$$

H_G – стаціонарний узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до ґрунту (див. рис. 1), Вт/К:

$$H_G = A \cdot U, \quad (4)$$

де

A – площа підлоги, за додатком 1, таблиця Д1.2, для варіанту 0: $A = 139 \text{ м}^2$;

U – коефіцієнт теплопередачі підлоги по ґрунту, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, визначається за формулою:

– якщо $d_t < B'$ (неізолювана або посередньо ізолюваною підлога):

$$U = \frac{2 \cdot \lambda}{\pi \cdot B' + d_t} \ln \left(\frac{\pi \cdot B'}{d_t} + 1 \right), \quad (5a)$$

– якщо $d_t > B'$ (добре ізолювана підлога):

$$U = \frac{\lambda}{0,457B' + d_t}, \quad (5b)$$

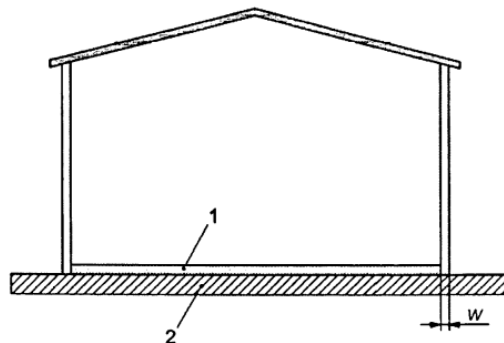
де

B' – характерний розмір підлоги, що дорівнює відношенню площі підлоги на половину периметра підлоги за формулою:

$$B' = \frac{A}{0,5 \cdot P}, \quad (6)$$

де

P – периметр підлоги за внутрішніми обмірами зовнішніх стін, для розрахунку згідно з індивідуальним варіантом обираємо за додатком 1, таблиця Д1.2, для варіанту 0: $P = 47,2 \text{ м}$.



1 – шар підлоги; 2 – ґрунт; w – товщина зовнішніх стін

Рис. 1 – Підлога по ґрунту

Тоді за формулою (6) характерний розмір підлоги:

$$B' = \frac{139}{0,5 \cdot 47,2} = 5,89.$$

d_t – еквівалентна товщина підлоги [м], яку розраховують за формулою:

$$d_t = w + \lambda \cdot (R_{si} + R_f + R_{se}), \quad (7)$$

де

w – загальна товщина зовнішньої стіни, включаючи всі шари, для варіанту 0 за додатком 1, таблиця Д.1.1: $w = 0,61 \text{ м}$;

λ – теплопровідність ґрунту:

$\lambda = 1,5 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ - за табл. Б1 в ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [9] для типу ґрунту «глина або мул»;

R_{si} – тепловий внутрішній поверхневий опір,

$R_{si} = 0,17 (\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$; за табл. Б2 в ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [9] (тепловий потік зверху вниз);

R_f – термічний опір підлоги заданої будівлі, включаючи всі шари,

$R_f = 3,06 (\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$, згідно з індивідуальним завданням за додатком 1, таблиця Д.1.2;

R_{se} – тепловий зовнішній поверхневий опір,

$R_{se} = 0,043 (\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$ за табл. Б2 в ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [9].

Еквівалентна товщина підлоги за формулою (7):

$$d_t = 0,61 + 1,5 \cdot (0,17 + 3,06 + 0,043) = 5,52 \text{ м.}$$

Отримали, що $d_t < B'$, тоді розрахунок коефіцієнта теплопередачі підлоги по ґрунту далі ведемо за формулою (5а):

$$U = \frac{2 \cdot 1,5}{\pi \cdot 5,892 + 5,52} \ln \left(\frac{\pi \cdot 5,892}{5,52} + 1 \right) = 0,184 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$$

тоді стаціонарний узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до ґрунту за формулою (4):

$$H_G = 139 \cdot 0,184 = 25,576 \frac{\text{Вт}}{\text{К}}.$$

Підставимо отримані значення у формулу (2):

$$H_{tr,adj} = 185,548 + 25,576 = 211,124 \frac{\text{Вт}}{\text{К}}.$$

Покажемо приклад розрахунку теплопередачі трансмісією за формулою (1) для січня місяця:

$$Q_{tr}^I = 211,124 \cdot (20 - (-4,7)) \cdot 744 \cdot 10^{-3} = 3879,784 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Теплопередача трансмісією для інших місяців опалювального періоду розраховується аналогічно.

Розрахунки теплопередачі трансмісією помісячно зведені в таблицю 1.

Таблиця 1 – Розрахунок теплопередачі трансмісією (опалювальний період)

Місяць	$\theta_e, \text{ }^{\circ}\text{C}$	$t, \text{ год}$	$H_{tr,adj}, \text{ Вт/К}$	$Q_{tr}, \text{ кВт}\cdot\text{год}$
I	-4,7	744	211,124	3879,784
II	-3,6	672		3348,258
III	1	744		2984,449
IV	9	240		557,367
X	8,1	360		904,455
XI	1,9	720		2751,368
XII	-2,5	744		3534,216
Разом				17959,897

3.2 СУМАРНА ТЕПЛОПЕРЕДАЧА ВЕНТИЛЯЦІЄЮ ДЛЯ РЕЖИМУ ОПАЛЕННЯ

Сумарну теплопередачу вентиляцією Q_{ve} , Вт·год, розраховують для кожного місяця за формулою:

$$Q_{ve} = H_{ve,adj} \cdot (\theta_{int,set,H} - \theta_e) \cdot t, \quad (8)$$

де

t – тривалість місяцю, для якого проводиться розрахунок, год, приймати за табл.А1 ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [9];

$H_{ve,adj}$ – загальний коефіцієнт теплопередачі вентиляцією, Вт/К, що розраховується наступним чином:

$$H_{ve,adj} = \rho_a \cdot c_a (\Sigma(b_{ve,k} \cdot q_{ve,k,mn})) \quad (9)$$

де

$\rho_a \cdot c_a$ – теплоємність повітря одиниці об'єму, за ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [9] дорівнює 0,33 Вт · год/(м³·К);

$b_{ve,k}$ – температурний поправочний коефіцієнт для k -го елемента повітряного потоку зі значенням $b_{ve,k} \neq 1$, якщо температура припливного повітря не дорівнює температурі зовнішнього середовища, для даного розрахунку приймаємо $b_{ve,k} = 1$;

$q_{ve,k,mn}$ – усереднена за часом витрата повітря, м³/год:

$$q_{ve,k,mn} = n_{inf} \cdot V, \quad (10)$$

де

n_{inf} – кратність повітрообміну за рахунок інфільтрації, враховуючи вплив механічної вентиляції, в зонах де вона присутня, та часу роботи системи вентиляції, $n_{inf} = 0,6$ год⁻¹;

V – кондиціонований об'єм зони/будівлі, м³, задано у додатку 1;

$$q_{ve,inf} = 0,6 \cdot 505 = 303 \frac{\text{м}^3}{\text{год}}.$$

Тоді, підставляючи значення до формули (9), отримаємо:

$$H_{ve,adj} = 0,33 \cdot 1 \cdot 303 = 99,99 \frac{\text{Вт}}{\text{К}}.$$

Покажемо приклад розрахунку теплопередачі вентиляцією за формулою (9) для січня місяця:

$$Q_{ve}^I = 99,99 \cdot (20 - (-4,7)) \cdot 744 \cdot 10^{-3} = 1837,496 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Теплопередача вентиляцією для інших місяців опалювального періоду розраховується аналогічно. Проміжні значення та розрахунки теплопередачі вентиляцією зведені в таблицю 2.

Таблиця 2 – Розрахунок теплопередачі вентиляцією для кожного місяця

Місяць	$\theta_e, \text{ }^{\circ}\text{C}$	$t, \text{ год}$	$H_{ve,adj}, \text{ Вт/К}$	$Q_{ve}, \text{ кВт}\cdot\text{год}$
I	-5,2	744	99,99	1837,496
II	-4,4	672		1585,761
III	0,7	744		1413,459
IV	9,4	216		263,974
X	8	384		428,357
XI	1,8	720		1303,07
XII	-2,9	744		1673,833
Разом				8505,95

3.3 СУМАРНА ТЕПЛОПЕРЕДАЧА ДЛЯ РЕЖИМУ ОПАЛЕННЯ

Сумарну теплопередачу для кожної зони будівлі та для кожного місяця, кВт·год, визначається за формулою:

$$Q_{ht} = Q_{tr} + Q_{ve}. \quad (11)$$

Покажемо розрахунок сумарної теплопередачі для січня місяця:

$$Q_{ht}^I = 3879,784 + 1837,496 = 5717,28 \text{ кВт}\cdot\text{год}.$$

Сумарна теплопередача для інших місяців знаходиться аналогічно. Для наочності зведемо розрахунок до таблиці 3.

Таблиця 3 – Розрахунок сумарної теплопередачі для режиму опалення

Місяць	$Q_{tr}, \text{кВт}\cdot\text{год}$	$Q_{ve}, \text{кВт}\cdot\text{год}$	$Q_{ht}, \text{кВт}\cdot\text{год}$
I	3879,784	1837,496	5717,28
II	3348,258	1585,761	4934,019
III	2984,449	1413,459	4397,908
IV	557,367	263,974	821,341
X	904,455	428,357	1332,812
XI	2751,368	1303,07	4054,438
XII	3534,216	1673,833	5208,049
Разом	17959,897	8505,95	26465,847

3.4 ВНУТРІШНІ ТЕПЛОАДХОДЖЕННЯ ДЛЯ РЕЖИМУ ОПАЛЕННЯ

Теплонадходження від внутрішніх теплових джерел у будівлі, що розглядається, кВт·год, для визначеного місяця розраховують за формулою:

$$Q_{int} = \left(\sum_k \Phi_{int,mn,k} \cdot A_f \right) \cdot t \cdot 10^{-3}, \quad (12)$$

де

$\sum_k \Phi_{int,mn,k}$ - усереднений за часом тепловий потік від k -го внутрішнього джерела, що включає теплонадходження від людей, освітлення та обладнання, Вт/м², обирається за таблицею 6 з ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [9];

A_f – опалювальна площа будівлі, згідно з варіантом за додатком 1, для варіанту 0: $A_f = 139$ м²;

t – тривалість періоду використання, год/місяць.

Для громадської будівлі (варіант 0):

- метаболічна теплота від людей $\Phi_{int,Oc}=4$ Вт/м²,
- освітлення $\Phi_{int,L}=7$ Вт/м²,
- обладнання $\Phi_{int,A}=6$ Вт/м²,
- графік використання: 50 год/тиждень.

Усереднений за часом тепловий потік, враховуючи графік використання, для вихідних даних варіанту 0:

$$\sum_k \Phi_{int,mn,k} = (\Phi_{int,Oc} + \Phi_{int,L} + \Phi_{int,A}) \cdot 50 / 168 = (4 + 7 + 6) \cdot 70 / 168 = 5,06 \text{ Вт/м}^2.$$

Покажемо приклад розрахунку внутрішніх теплонадходжень для січня місяця:

$$Q_{int}^I = 5,06 \cdot 139 \cdot 744 \cdot 10^{-3} = 523,285 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Таблиця 4 – Розрахунок внутрішніх теплонадходжень в опалювальний період

Місяць	t , год	$\sum_k \Phi_{int,mn,k}$, Вт/м ²	Q_{int} , кВт·год
I	744	5,06	523,285
II	672		472,644
III	744		523,285
IV	216		168,802
X	384		253,202
XI	720		506,405
XII	744		523,285
Разом			2970,908

3.5 ТЕПЛОАДХОДЖЕННЯ ВІД СОНЦЯ ДЛЯ РЕЖИМУ ОПАЛЕННЯ

Теплонадходження від сонця до будівлі, що розглядається, для кожного місяця, кВт·год, розраховують за формулою:

$$Q_{sol} = \left(\sum_k \Phi_{sol,mn,k} \right) \cdot t \cdot 10^{-3}, \quad (13)$$

де

t – тривалість місяцю, для якого проводиться розрахунок, год, приймати за табл. А1 (додаток А) в ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [9];

$\Phi_{sol,mn,k}$ – усереднений за часом тепловий потік від k -го джерела сонячного випромінювання, Вт.

Сонячні теплонадходження через k -ий елемент будівлі, Вт:

$$\Phi_{sol,mn,k} = F_{sh,ob,k} A_{sol,k} I_{sol,k} - F_{r,k} \Phi_{r,k}, \quad (14)$$

де

$F_{sh,ob,k}$ – понижувальний коефіцієнт затінення перешкодами для еквівалентної площі інсоляції k -ої поверхні;

$A_{sol,k}$ – еквівалентна площа інсоляції k -ої поверхні з даною орієнтацією та кутом нахилу у визначеній зоні чи об'ємі, м², визначається окремо для світлопрозорих та непрозорих поверхонь;

$I_{sol,k}$ – сонячна радіація, значення енергетичної освітленості сприймаючої площі k -ої поверхні з даною орієнтацією та кутом нахилу за середніх умов хмарності Вт/м², визначена за додатком А ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [9];

$F_{r,k}$ – коефіцієнт форми між елементом будівлі та небосхилом, який приймають:

$F_r = 1$ – для незатіненого горизонтального даху,

$F_r = 0,5$ – для незатіненої вертикальної стіни;

$\Phi_{r,k}$ – додатковий тепловий потік внаслідок теплового випромінювання в атмосфері від k -го елемента будівлі, Вт.

3.5.1 Визначення понижувальних коефіцієнтів затінення

За відсутності фактичних даних понижувальний коефіцієнт затінення $F_{sh,ob,k}$ необхідно розраховувати за формулою (враховуємо лише зовнішнє затінення, а засоби рухомого затінення не враховуємо):

$$F_{sh} = F_{hor} F_{ov} F_{fin}, \quad (15)$$

де

F_{hor} – частковий поправочний коефіцієнт затінення горизонту, визначають за табл.12 ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [9]);

F_{ov} – частковий поправочний коефіцієнт затінення для звисів, визначають за табл.13 ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [9]);

F_{fin} – частковий поправочний коефіцієнт затінення для ребер, визначають за табл.14-1 та табл.14-2 ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [9]); якщо ребра з обох боків від вікна, то відповідні значення з таблиць перемножуються.

Для користування таблицями 12, 13, 14-1 та 14-2 потрібно попередньо визначити архітектурно-будівельний кліматичний район для міста, де розташована будівля, для цього потрібно скористатися картою [11], що наведено у додатку 2 даного навчального посібника.

Для варіанту 0 (місто Київ – це I архітектурно-будівельний кліматичний район):

- коефіцієнт затінення горизонту для поверхонь з орієнтацією (кут 10°):
 - Пн: $F_{hor} = 0,99$;
 - С: $F_{hor} = 0,94$;
 - Пд: $F_{hor} = 0,96$;
 - З: $F_{hor} = 0,95$.
- коефіцієнт затінення для звисів для поверхонь з орієнтацією (кут 10°):
 - Пн: $F_{ov} = 0,99$;
 - С: $F_{ov} = 0,99$;
 - Пд: $F_{ov} = 1$;
 - З: $F_{ov} = 0,99$.
- коефіцієнт затінення для ребер (розташування ребер – ліворуч) для поверхонь з орієнтацією (кут 10°):
 - Пн: $F_{fin} = 1$;
 - С: $F_{fin} = 1$;
 - Пд: $F_{fin} = 1$;
 - З: $F_{fin} = 0,98$.

Тоді, підставляючи в формулу (15), отримаємо наступні результати:

- Пн: $F_{sh} = F_{hor}F_{ov}F_{fin} = 0,99 \cdot 0,99 \cdot 1 = 0,98$;
- С: $F_{sh} = F_{hor}F_{ov}F_{fin} = 0,94 \cdot 0,99 \cdot 1 = 0,93$;
- Пд: $F_{sh} = F_{hor}F_{ov}F_{fin} = 0,96 \cdot 1 \cdot 1 = 0,96$;
- З: $F_{sh} = F_{hor}F_{ov}F_{fin} = 0,95 \cdot 0,99 \cdot 0,98 = 0,92$;

3.5.2 Визначення еквівалентної площі інсоляції

3.5.2.1 Визначення еквівалентної площі інсоляції вікон

Еквівалентна площа інсоляції зашкленого елемента (вікна):

$$A_{sol} = F_{sh,gl} \cdot g_{gl} \cdot (1 - F_F) \cdot A_{w,p}, \quad (16)$$

де

$F_{sh,gl}$ – понижувальний коефіцієнт затінення для рухомих засобів, у випадку їх відсутності приймаємо $F_{sh,gl} = 1$;

F_F – частка площі обрамлення; за відсутності точних даних:

– $F_F = 0,3$ – для віконних та дверних блоків,

– $F_F = 0,2$ – для світлопрозорих фасадів будівлі;

$A_{w,p}$ – загальна площа проекції зашкленого елемента (наприклад, площа вікна), m^2 ;

- для розрахунків площу вікон, що задана у табл. Д1.2 в додатку 1 рівномірно розподіляємо по фасадам Пн та Пд,; а у разі, якщо один з цих фасадів – внутрішня стіна, відповідно розподіляємо вікна на 3 та С;

g_{gl} – загальний коефіцієнт пропускання сонячної енергії світлопрозорої частини елемента,

$$g_{gl} = F_w g_n, \quad (17)$$

де

F_w – поправочний коефіцієнт для нерозсіючого скління, приймають $F_w = 0,9$;

g_n – коефіцієнт загального пропускання сонячної енергії при нормальному куті падіння, приймають за таблицею 8 ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [9];

Для варіанту 0 (подвійне скління) $g_n = 0,75$.

Тоді:

$$g_{gl} = 0,9 \cdot 0,75 = 0,675.$$

Тоді за формулою (16) еквівалентна площа інсоляції вікна та зашкленних вхідних дверей:

$$A_{sol}^{в\acute{и}к.Пн} = 1 \cdot 0,675 \cdot (1 - 0,3) \cdot 6 = 2,835 \text{ м}^2,$$

$$A_{sol}^{в\acute{и}к.Пд} = 1 \cdot 0,675 \cdot (1 - 0,3) \cdot 6 = 2,835 \text{ м}^2;$$

$$A_{sol}^{д\acute{в}.Пн} = 1 \cdot 0,675 \cdot (1 - 0,3) \cdot 2 = 0,945 \text{ м}^2,$$

3.5.2.2 Визначення еквівалентної площі інсоляції непрозорих елементів

Еквівалентна площа інсоляції непрозорого елемента будівлі:

$$A_{sol} = a_{s,c} \cdot R_{se} \cdot U_c \cdot A_c, \quad (18)$$

де

$a_{s,c}$ – безрозмірний коефіцієнт поглинання сонячної радіації непрозорою частиною, приймають за даними таблиці 10 ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [9];

Для варіанту 0:

- для стін $a_{s,c} = 0,7$ (штукатурка вапняна темно-сіра або теракотова, з табл.Д.1.5);
- для даху $a_{s,c} = 0,9$ (сталь листова, пофарбована темно-червоною фарбою, з табл.Д.1.5);

R_{se} – тепловий зовнішній поверхневий опір непрозорої частини, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, приймають $R_{se} = 0,043 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$ згідно ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [9];

U_c – коефіцієнт теплопередачі непрозорої частини (стіни, дах), $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ обирається згідно індивідуального варіанту з додатку 1;

A_c – площа проєкції непрозорої частини (стіни, дах), м^2 ; обирається згідно індивідуального варіанту з додатку 1.

Тоді, підставляючи значення до формули (18), отримаємо для стін і даху відповідно до орієнтації по сторонам світу.

– Стіни:

$$A_{sol}^{Пн} = 0,7 \cdot 0,043 \cdot \frac{1}{2,67} \cdot 34,81 = 0,392 \text{ м}^2,$$

$$A_{sol}^3 = 0,7 \cdot 0,043 \cdot \frac{1}{2,34} \cdot 32,91 = 0,423 \text{ м}^2,$$

$$A_{sol}^{Пд} = 0,7 \cdot 0,043 \cdot \frac{1}{2,34} \cdot 31,6 = 0,406 \text{ м}^2.$$

– Дах:

$$A_{sol}^{дах} = 0,9 \cdot 0,043 \cdot \frac{1}{1,05} \cdot 139,04 = 5,125.$$

3.5.3 Визначення сонячної радіації

Сонячна радіація, $I_{sol,k}$, або значення енергетичної освітленості сприймаючої площі k -ої поверхні з даною орієнтацією та кутом нахилу за середніх умов хмарності $Вт/м^2$, визначена за додатком А (таблиця А.4) ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [9] та зведена до таблиці нижче.

Таблиця 5 – Середньомісячна сумарна сонячна радіація, що надходить на вертикальну та горизонтальну поверхню для середніх умов хмарності (м. Київ)

Місяць	I_{sol} , $Вт/м^2$ (м. Київ)			
	Пн	Пд	Зх	горизонтальна
I	13	50	22	32
II	24	70	38	59
III	35	90	61	101
IV	39	92	73	149
V	56	101	99	211
VI	67	96	105	228
VII	61	98	104	220
VIII	40	106	89	185
IX	29	102	66	130
X	19	75	37	71
XI	11	39	17	31
XII	9	35	15	22

3.5.4 Визначення додаткового потоку внаслідок теплового випромінювання в атмосферу

Додатковий тепловий потік внаслідок теплового випромінювання в атмосферу від k -го елемента будівлі $\Phi_{r,k}$ в загальному випадку визначається наступним чином, Вт:

$$\Phi_r = R_{se} \cdot U_c \cdot A_c \cdot h_r \cdot \Delta\theta_{er}, \quad (19)$$

де

U_c – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²·К), обирається для кожного елемента будівлі згідно з варіантами в додатку 1;

A_c – площа проекції елемента, м²;

h_r – коефіцієнт теплопередачі випромінюванням зовнішньої поверхні, Вт/(м²·К); який наближено можна визначити як

$$h_r = 5 \cdot \epsilon,$$

де

$\epsilon = 0,7$ для стіни;

$\epsilon = 0,5$ для вікон;

$\Delta\theta_{er}$ – середня різниця між температурою зовнішнього повітря та увною температурою атмосфери, для помірних широт приймають $\Delta\theta_{er} = 11$ К згідно з ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [9].

Розрахуємо додаткового теплового потоку внаслідок теплового випромінювання в атмосферу за формулою (19):

- для світлопрозорих поверхонь (вікна, заklenі вхідні двері):

$$\Phi_{r(\text{вікна})}^{\text{Пн}} = 0,043 \cdot \frac{1}{1,14} \cdot 6 \cdot 5 \cdot 0,5 \cdot 11 = 6,224 \text{ Вт},$$

$$\Phi_{r(\text{вх.двері})}^{\text{Пн}} = 0,043 \cdot \frac{1}{0,983} \cdot 2 \cdot 5 \cdot 0,5 \cdot 11 = 2,406 \text{ Вт},$$

$$\Phi_{r(\text{вікна})}^{\text{Пд}} = 0,043 \cdot \frac{1}{1,14} \cdot 6 \cdot 5 \cdot 0,5 \cdot 11 = 6,224 \text{ Вт}.$$

– для непрозорих конструкцій (стіни, дах):

$$\Phi_r^{\text{Пн}} = 0,043 \cdot \frac{1}{2,67} \cdot 34,81 \cdot 5 \cdot 0,7 \cdot 11 = 21,584 \text{ Вт},$$

$$\Phi_r^3 = 0,043 \cdot \frac{1}{2,34} \cdot 32,91 \cdot 5 \cdot 0,7 \cdot 11 = 23,283 \text{ Вт},$$

$$\Phi_r^{\text{Пд}} = 0,043 \cdot \frac{1}{2,34} \cdot 31,6 \cdot 5 \cdot 0,7 \cdot 11 = 22,356 \text{ Вт},$$

$$\Phi_r^{\text{дах}} = 0,043 \cdot \frac{1}{1,05} \cdot 139 \cdot 5 \cdot 0,7 \cdot 11 = 219,157 \text{ Вт}.$$

3.5.5 Визначення сонячних теплонадходжень через елементи будівлі за рік

Визначимо сонячні теплонадходження через k -ий елемент будівлі за формулою (14), Вт (на прикладі одного місяця - січня):

$$\Phi_{sol,mn,k} = F_{sh,ob,k} A_{sol,k} I_{sol,k} - F_{r,k} \Phi_{r,k},$$

– стіни:

$$\Phi_{sol,mn,ст.Пн} = 0,98 \cdot 0,392 \cdot 13 - 0,5 \cdot 21,584 = -5,798 \text{ Вт}$$

$$\Phi_{sol,mn,ст.З} = 0,922 \cdot 0,423 \cdot 22 - 0,5 \cdot 23,283 = -3,061 \text{ Вт}$$

$$\Phi_{sol,mn,ст.Пд} = 0,96 \cdot 0,406 \cdot 50 - 0,5 \cdot 22,356 = 8,31 \text{ Вт}$$

– вікна:

$$\Phi_{sol,mn,вік.Пн} = 0,98 \cdot 2,835 \cdot 13 - 0,5 \cdot 6,224 = 33,006 \text{ Вт}$$

$$\Phi_{sol,mn,вік.Пд} = 0,96 \cdot 2,835 \cdot 50 - 0,5 \cdot 6,224 = 132,968 \text{ Вт}$$

– входні засклені двері:

$$\Phi_{sol,mn,дв.Пн} = 0,98 \cdot 0,945 \cdot 13 - 0,5 \cdot 2,406 = 10,836 \text{ Вт}$$

– дах:

$$\Phi_{sol,mn,дах} = 1 \cdot 5,123 \cdot 32 - 1 \cdot 219,157 = -55,221 \text{ Вт}$$

Разом за січень через усі елементи огороження:

$$(\sum_k \Phi_{sol,mn,k}) = 121,04 \text{ Вт}$$

Тоді за формулою (13) визначимо теплонадходження від сонця для січня місяця. кВт·год:

$$Q_{sol} = \left(\sum_k \Phi_{sol,mn,k} \right) \cdot t \cdot 10^{-3} = 121,04 \cdot 744 \cdot 10^{-3} = 90,052 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Далі розрахунок для інших місяців року відбувається аналогічно, покажемо результати в таблиці 6.

Таблиця 6 – Розрахунок теплових надходжень від сонця в опалювальний період

Місяць	t , год	$\Phi_{sol,вік,дв,}$, Вт	$\Phi_{sol,ст,}$, Вт	$\Phi_{sol,дах,}$, Вт	$\sum_k \Phi_{sol,mn,k}$, Вт	Q_{sol} , кВт·год
I	744	176,810	-0,548	-55,221	121,041	90,055
II	672	279,418	17,713	83,100	380,231	255,515
III	744	374,598	38,704	298,266	711,568	529,407
IV	216	394,859	45,701	544,170	984,73	236,335
X	384	274,504	17,351	144,576	436,431	157,115
XI	720	146,891	-7,553	-60,344	78,994	56,876
XII	744	128,596	-10,661	-106,451	11,484	8,544
Разом						1333,847

3.6 СУМАРНІ ТЕПЛОНаДХОДЖЕННЯ ДЛЯ РЕЖИМУ ОПАЛЕННЯ

Сумарні теплові надходження, Вт·год, для кожної зони будівлі для кожного місяця визначимо за формулою:

$$Q_{gn} = Q_{int} + Q_{sol}. \quad (20)$$

Зведемо результати розрахунку за формулою (20) в таблицю 7.

Таблиця 7 – Розрахунок сумарних теплонадходжень за опалювальний період

Місяць	t , год	Q_{int} , кВт·год	Q_{sol} , кВт·год	Q_{gn} , кВт·год
I	744	523,285	90,055	613,34
II	672	472,644	255,515	728,159
III	744	523,285	529,407	1052,692
IV	216	168,802	236,335	405,137
X	384	253,202	157,115	410,317
XI	720	506,405	56,876	563,281
XII	744	523,285	8,544	531,829
Разом		2970,908	1333,847	4304,755

3.7 КОЕФІЦІЄНТ ВИКОРИСТАННЯ НАДХОДЖЕНЬ ДЛЯ ОПАЛЕННЯ

Безрозмірний коефіцієнт використання надходжень для опалення $\eta_{H,gn}$ – це функція співвідношення надходжень і втрат теплоти, γ_H , та числового параметра α_H , який залежить від інерції будівлі.

Покажемо розрахунок цього коефіцієнту на прикладі січня місяця.

Знайдемо безрозмірне співвідношення надходжень і втрат теплоти для режиму опалення:

$$\gamma_H = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}}, \quad (21)$$
$$\gamma_H^I = \frac{613,34}{5717,28} = 0,107.$$

Так як $\gamma_H^I > 0$ та $\gamma_H^I \neq 1$ скористаємося наступною формулою (у разі інших співвідношень потрібно використати формули з розділу 12.2 ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [9]):

$$\eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{\alpha_H}}{1 - \gamma_H^{\alpha_H + 1}}, \quad (22)$$

де

α_H – безрозмірний числовий параметр, що залежить від часової константи будівлі τ_H , визначений за формулою:

$$\alpha_H = \alpha_{H,0} + \frac{\tau}{\tau_{H,0}}, \quad (23)$$

де

$\alpha_{H,0}$ – довідковий безрозмірний числовий параметр, приймають рівним 1,0 ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [9];

$\tau_{H,0}$ – довідкова часова константа, що приймають рівною 15 год ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [9];

τ – часова константа зони будівлі, год:

$$\tau = \frac{c_m}{H_{tr,adj} + H_{ve,adj} + H_{ve,extra,adj}}, \quad (24)$$

де

$H_{tr,adj}$ – репрезентативне значення загального коефіцієнта теплопередачі трансмісією, Вт/К, розраховане в п.3.1;

$H_{ve,adj}$ – репрезентативне значення загального коефіцієнта теплопередачі вентиляцією, Вт/К, розраховане в п.3.2;

$H_{ve,extra,adj}$ – репрезентативне значення загального коефіцієнта теплопередачі за рахунок додаткової вентиляції від нічного та/або природного охолодження, Вт/К,

- для режиму опалення приймають $H_{ve,extra,adj} = 0$;

c_m – внутрішня теплоємність будівлі або зони будівлі, Вт·год/К:

$$c_m = C \cdot A_f, \quad (25)$$

де

C – внутрішня теплоємність будівлі, обирається за табл.15 ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [9], для розрахунку обираємо $C = 80$ Вт·год/(м²·К);

A_f – кондиціонована площа будівлі або зони будівлі, м².

Тоді за формулою (25):

$$c_m = 80 \cdot 139 = 11120 \text{ Вт} \cdot \frac{\text{год}}{\text{К}}.$$

Тоді, підставляючи значення до формули (24), отримаємо:

$$\tau = \frac{11120}{211,124 + 99,99 + 0} = 35,743 \text{ год.}$$

Тоді безрозмірний числовий параметр за формулою (23):

$$\alpha_H = 1 + \frac{35,743}{15} = 3,383.$$

Підставимо отримане значення у формулу (22):

$$\eta_{H,gn}^I = \frac{1 - 0,107^{3,383}}{1 - 0,107^{3,383+1}} = 1$$

Результати розрахунку безрозмірного коефіцієнту для кожного з місяців опалювального періоду наведені у таблиці 8.

Таблиця 8 – Розрахунок безрозмірного коефіцієнту для кожного місяця

Місяць	γ_H	c_m , Вт·год/К	τ , год	α_H	$\eta_{H,gn}$
I	0,107	11120	35,743	3,383	1
II	0,148				0,999
III	0,239				0,994
IV	0,493				0,951
X	0,308				0,987
XI	0,139				0,999
XII	0,102				1

3.8 ЕНЕРГОПОТРЕБА ДЛЯ ОПАЛЕННЯ

Для визначення сумарної енергопотребы на опалення скористаємося формулою:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,ht} + \eta_{H,gn} Q_{H,gn}. \quad (26)$$

де

$Q_{H,ht}$ – сумарна теплопередача в режимі опалення, кВт·год, визначені в п.3.3;

$\eta_{H,gn}$ – безрозмірний коефіцієнт використання надходжень, визначений в п.3.7;

$Q_{H,gn}$ – сумарні теплонадходження в режимі опалення, кВт·год, визначені в п. 3.6.

Покажемо розрахунок на прикладі січня місяця:

$$Q_{H,nd}^I = 5717,28 - 1 \cdot 613,34 = 5103,94 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Результати розрахунків енергопотребы на опалення зведені у таблицю 9.

Таблиця 9 – Енергопотреба на опалення

Місяць	$Q_{H,ht}$, кВт·год	$\eta_{H,gn}$, кВт·год	$Q_{H,gn}$, кВт·год	$Q_{H,nd}$, кВт·год
I	5717,28	1	613,34	5103,94
II	4934,019	0,999	728,159	4206,588
III	4397,908	0,994	1052,692	3351,532
IV	821,341	0,951	405,137	436,056
X	1332,812	0,987	410,317	927,829
XI	4054,438	0,999	563,281	3491,720
XII	5208,049	1	531,829	4676,220
Разом				22193,885

3.9 ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ДЛЯ ОПАЛЕННЯ

Енергоспоживання визначається як енергопотреба плюс втрати теплоти при виробленні (генеруванні), акумулюванні, транспортуванні, регулюванні, розподіленні та тепловіддачі.

3.9.1 Енергоспоживання підсистеми тепловіддачі при опаленні

Загальні тепловтрати підсистеми тепловіддачі визначаються помісячно за формулою, Вт·год:

$$Q_{H,em,ls,i} = \left(\frac{f_{hydr} \cdot f_{im} \cdot f_{rad}}{\eta_{em}} - 1 \right) \cdot Q_{H,em,out}, \quad (27)$$

де

$Q_{H,em,out,i} = Q_{H,nd,i}$ – енергія виходу від підсистеми тепловіддачі/виділення за конкретний місяць, Вт год, визначається в п. 3.8;

f_{hydr} – коефіцієнт, що враховує гідравлічне налагодження системи, визначається за таблицею 18 ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [9],

- для прикладу, де двотрубна системи з автоматичними регуляторами температури у приміщенні $f_{hydr} = 0,98$;

f_{im} – коефіцієнт, що враховує застосування періодичного теплового режиму приміщення,

- $f_{im} = 1$ для постійного теплового режиму;

f_{rad} – коефіцієнт, що враховує променеву складову теплового потоку використовується тільки для променевих систем опалення, тож

- $f_{rad} = 1$;

η_{em} – загальний рівень ефективності тепловіддавальної складової системи, визначається за формулою:

$$\eta_{em} = \frac{1}{[4 - (\eta_{str} + \eta_{ctr} + \eta_{emb})]}, \quad (28)$$

де

η_{ctr} – складова, яка враховує регулювання температури в приміщенні, визначається за табл. 17 ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [9],

- в прикладі розрахунку $\eta_{ctr} = 0,88$ для регулювання за усередненої температури повітря приміщень;

η_{emb} – складова, яка враховує питомі втрати зовнішніх огорожень, використовується для вбудованих систем опалення, тож

- $\eta_{emb} = 1$;

η_{str} – складова, яка враховує вертикальний профіль температури повітря в приміщенні, визначається, як середнє значення "температурного напору" та "питомих тепловтрат зовнішніх огорожувальних конструкцій" за формулою:

$$\eta_{str} = \frac{\eta_{str1} + \eta_{str2}}{2},$$

де

η_{str1}, η_{str2} – обираються за табл. 17 ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [9],

- для прикладу розрахунку обираємо $\eta_{str1} = 0,93$ для температурного напору 42,5 К та, враховуючи, що прилади опалення встановлені під вікнами без радіаційного захисту $\eta_{str2} = 0,83$.

Підставимо значення у формулу (28):

$$\eta_{em} = \frac{1}{[4 - (0,88 + 0,88 + 1)]} = 0,806.$$

Визначимо загальні тепловтрати підсистеми для січня за формулою (27):

$$Q_{H,em,ls}^I = \left(\frac{0,98 \cdot 1 \cdot 1}{0,806} - 1 \right) \cdot 5103,94 = 1101,843 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Енергію входу для підсистеми тепловіддачі розраховується за формулою:

$$Q_{H,em,in,i} = Q_{H,em,out,i} - k \cdot W_{H,em,aux,i} - Q_{H,em,ls,rvd,i} + Q_{H,em,ls,nrvd,i}, \quad (29)$$

де

k – коефіцієнт для розрахунку утилізованої частини додаткової енергії впродовж i -го місяця, показує, що частину додаткової енергії можна утилізувати безпосередньо в підсистемі тепловіддачі як теплоту;

$W_{H,em,aux,i}$ – додаткова енергія впродовж i -го місяця, Вт·год, розраховується за наявності додаткових джерел енергії, для розглянутого випадку $W_{H,em,aux,i} = 0$;

$Q_{H,em,ls,nrvd,i}$ – неутілізовані тепловтрати для підсистеми тепловіддачі впродовж i -го місяця, Вт·год, приймають $Q_{H,em,ls,nrvd,i} = Q_{H,em,ls,i}$;

$Q_{H,em,ls,rvd,i}$ – утилізовані тепловтрати підсистем тепловіддачі впродовж i -го місяця, Вт·год, приймають $Q_{H,em,ls,rvd,i} = 0$.

Визначимо енергію входу для підсистеми тепловіддачі для січня місяця, підставивши значення у формулу (29):

$$Q_{H,em,in,i}^I = 5103,94 + 1101,843 = 6205,783 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Результати розрахунків енергоспоживання підсистеми тепловіддачі для кожного місяця опалювального періоду зведено в таблицю 10.

3.9.2 Енергоспоживання підсистеми розподілення при опаленні

Загальні тепловтрати підсистеми розподілення визначаються помісячно за формулою, Вт·год:

$$Q_{H,dis,ls,i} = \sum \psi_{L,j} \cdot (\theta_{m,i} - \theta_i) \cdot L_j \cdot t_{op,an,i}, \quad (30)$$

де

- $\psi_{L,j}$ – лінійний коефіцієнт теплопередачі j -го трубопроводу, Вт/(м·К);
- $\theta_{m,i}$ – середня температура теплоносія в зоні упродовж i -го місяця, °С;
- θ_i – температура навколишнього середовища, °С;
- L_j – довжина трубопроводу, м;
- $t_{op,an,i}$ – час опалення впродовж i -го місяця, год.

Для розглянутої будівлі тепловтрати підсистеми розподілення (трубопроводів опалення) можна вважати утилізаційними, тому що підсистема розташована в опалюваному приміщенні.

У випадку, коли підсистема частково або повністю розміщена у неопалюваних приміщеннях необхідно проводити розрахунок тепловтрат за формулою (30).

Енергію входу для підсистеми розподілення розраховується за формулою:

$$Q_{H,dis,in,i} = Q_{H,dis,out,i} + Q_{H,dis,ls,nrvd,i}, \quad (31)$$

де

$Q_{H,dis,out,i}$ – енергія виходу з підсистеми розподілення упродовж i -го місяця, Вт·год,

$$- Q_{H,dis,out,i} = Q_{H,em,in,i}$$

$Q_{H,dis,ls,nrvd,i}$ – неутилізовані тепловтрати для підсистеми розподілення впродовж i -го місяця, Вт·год,

$$- \text{для розглянутого випадку } Q_{H,dis,ls,nrvd,i} = 0.$$

Результати розрахунків енергоспоживання підсистеми розподілення для кожного місяця опалювального періоду зведено в таблицю 10.

3.9.3 Енергоспоживання підсистеми генерування при опаленні

Загальні тепловтрати підсистеми генерування (виробництва) теплоти визначаються помісячно за формулою, Вт·год:

$$Q_{H,gen,ls,i} = Q_{H,gen,out,i} \cdot (1 - \eta_{H,gen}) / \eta_{H,gen}, \quad (32)$$

де

$Q_{H,gen,out,i}$ – енергія виходу з підсистем генерування упродовж i -го місяця, Вт·год,

$$- Q_{H,gen,out,i} = Q_{H,dis,in,i};$$

$\eta_{H,gen}$ – ефективність підсистеми генерування теплоти, визначається за табл. 27 ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [9];

- для розглянутої у прикладі будівлі, де централізоване теплопостачання з центральним якісним регулюванням за температурним графіком до 110°C без зрізки та без коригування в ІТП, $\eta_{H,gen} = 0,86$.

Визначимо тепловтрати підсистеми генерування для січня за формулою (32):

$$Q_{H,gen,ls,i}^I = 6205,783 \cdot (1 - 0,86) / 0,86 = 1010,244 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Енергоспоживання на потреби опалення визначається за формулою:

$$Q_{H,use,i} = Q_{H,gen,out,i} + Q_{H,gen,ls,i}. \quad (33)$$

Визначимо енергоспоживання, підставивши значення у формулу (33):

$$Q_{H,use,i}^I = 6205,783 + 1010,244 = 7216,027 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Результати розрахунку енергоспоживання підсистемами зведені до таблиці.

Таблиця 10 – Енергоспоживання для опалення

Місяць	$Q_{H,em,out}$, кВт·год	$Q_{H,em,ls}$, кВт·год	$Q_{H,em,in} =$ $Q_{H,dis,out}$, кВт·год	$Q_{H,dis,in} =$ $Q_{H,gen,out}$, кВт·год	$Q_{H,gen,ls}$, кВт·год	$Q_{H,use}$, кВт·год
I	5103,94	1101,843	6205,783	6205,783	1010,244	7216,027
II	4206,588	908,122	5114,710	5114,710	832,627	5947,337
III	3351,532	723,532	4075,064	4075,064	663,383	4738,447
IV	436,056	94,136	530,192	530,192	86,310	616,502
X	927,829	200,301	1128,130	1128,130	183,649	1311,779
XI	3491,720	753,796	4245,516	4245,516	691,131	4936,647
XII	4676,220	1009,507	5685,727	5685,727	925,583	6611,310
Разом						31378,049

4 РЕЖИМ ОХОЛОДЖЕННЯ

4.1 СУМАРНА ТЕПЛОПЕРЕДАЧА ТРАНСМІСІЄЮ ДЛЯ РЕЖИМУ ОХОЛОДЖЕННЯ

Сумарну теплопередачу трансмісією Q_{tr} , Вт·год, для охолодження розраховують для кожного місяця за формулою (34):

$$Q_{tr} = H_{tr,adj} \cdot (\theta_{int,set,c} - \theta_e) \cdot t, \quad (34)$$

де

$\theta_{int,set,c}$ – задана внутрішня температура в будівлі в період охолодження, °С, приймати за табл.16 ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [9];

$H_{tr,adj}$, θ_e , – те саме, що у формулі (1);

t – тривалість періоду охолодження, год/місяць, коли температура зовнішнього повітря вище 21°С, приймається для відповідного міста згідно з таблицею А.6 (Додаток А) в ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [9].

- Для міста Києва тривалість становить 740 год (варіант 0).
Враховуючи дані погодинної температури зовнішнього повітря за таблицею А.3 (Додаток А) в [9], тривалість періоду охолодження було розбито на три літні місяці.

Покажемо приклад розрахунку теплопередачі трансмісією за формулою (34) для червня місяця:

$$Q_{tr}^{VI} = 211,124 \cdot (24 - 18,3) \cdot 210 \cdot 10^{-3} = 252,715 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Теплопередача трансмісією для інших місяців періоду охолодження розраховується аналогічно.

Розрахунки теплопередачі трансмісією помісячно зведені в таблицю 11.

Таблиця 11 – Розрахунок теплопередачі трансмісією (режиму опалення)

Місяць	θ_e , °C	t , год	$H_{tr,adj}$, Вт/К	Q_{tr} , кВт·год
VI	18,3	210	211,124	252,715
VII	19,8	279		247,395
VIII	19	251		264,961
Разом				765,071

4.2 СУМАРНА ТЕПЛОПЕРЕДАЧА ВЕНТИЛЯЦІЄЮ ДЛЯ РЕЖИМУ ОХОЛОДЖЕННЯ

Сумарну теплопередачу вентиляцією Q_{ve} , Вт·год, розраховують для кожного місяця за формулою:

$$Q_{ve} = H_{ve,adj} \cdot (\theta_{int,set,C} - \theta_e) \cdot t, \quad (35)$$

де

$\theta_{int,set,C}, \theta_e, t$ – те саме, що у формулі (34);

$H_{ve,adj}$ – те саме, що у формулі (8) визначається у п. 3.2.

Покажемо приклад розрахунку теплопередачі вентиляцією за формулою (35) для червня місяця:

$$Q_{ve}^{VI} = 99,99 \cdot (24 - 18,3) \cdot 210 \cdot 10^{-3} = 119,688 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Теплопередача вентиляцією для інших місяців періоду охолодження розраховується аналогічно. Проміжні значення та розрахунки теплопередачі вентиляцією зведені в таблицю 12.

Таблиця 12 – Розрахунок теплопередачі вентиляцією для кожного місяця

Місяць	θ_e , °C	t , год	$H_{ve,adj}$, Вт/К	Q_{ve} , кВт·год
VI	18,3	210	99,99	119,688
VII	19,8	279		117,168
VIII	19	251		125,487
Разом				362,343

4.3. СУМАРНА ТЕПЛОПЕРЕДАЧА ДЛЯ РЕЖИМУ ОХОЛОДЖЕННЯ

Сумарна теплопередача для режиму охолодження визначається так само як для режиму опалення (п. 3.3).

Покажемо розрахунок сумарної теплопередачі для червня місяця:

$$Q_{ht}^{VI} = 252,715 + 119,688 = 372,403 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Сумарна теплопередача для липня та серпня знаходиться аналогічно. Результати розрахунку для трьох місяців зведені до таблиці 13.

Таблиця 13 – Розрахунок сумарної теплопередачі для режиму охолодження

Місяць	Q_{tr} , кВт·год	Q_{ve} , кВт·год	Q_{ht} , кВт·год
VI	252,715	119,688	372,403
VII	247,395	117,168	364,563
VIII	264,961	125,487	390,448
Разом	765,071	362,343	1127,414

4.4 ВНУТРІШНІ ТЕПЛОАДХОДЖЕННЯ В ПЕРІОД ОХОЛОДЖЕННЯ

Теплонадходження від внутрішніх теплових джерел для періоду охолодження визначаються так само як для періоду опалення (п. 3.4).

Приклад розрахунку внутрішніх теплонадходжень для червня місяця:

$$Q_{int}^{VI} = 5,06 \cdot 139 \cdot 210 \cdot 10^{-3} = 147,701 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Таблиця 14 – Розрахунок внутрішніх теплонадходжень в період охолодження

Місяць	t, год	$\sum_k \Phi_{int,mn,k}$, Вт/м ²	Q_{int} , кВт·год
VI	210	5,06	147,701
VII	279		196,232
VIII	251		176,538
Разом			520,471

4.5 ТЕПЛОАДХОДЖЕННЯ ВІД СОНЦЯ В ПЕРІОД ОХОЛОДЖЕННЯ

Теплонадходження від сонця для періоду охолодження визначаються так само як для періоду опалення (п. 3.5). Відрізнятимуться лише значення понижувальних коефіцієнтів затінення F_{sh} (табл.12 ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [9]). Сонячна радіація, $I_{sol,k}$, приймається за таблицею 5.

Приклад розрахунку сонячних теплонадходжень за формулою (13) для червня місяця, кВт·год:

$$Q_{sol}^{VI} = 1526,858 \cdot 210 \cdot 10^{-3} = 320,640 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Розрахунок для інших місяців року відбувається аналогічно, покажемо результати в таблиці 15.

Таблиця 15 – Розрахунок теплонадходжень від сонця в період охолодження

Місяць	t, год	$\Phi_{sol, \text{вік.дв.}}$, Вт	$\Phi_{sol, \text{ст.}}$, Вт	$\Phi_{sol, \text{дах.}}$, Вт	$\sum_k \Phi_{sol,mn,k}$, Вт	Q_{sol} , кВт·год
VI	210	505,143	72,828	948,887	1526,858	320,64
VII	279	488,984	70,968	907,903	1467,855	409,532
VIII	251	435,232	60,190	728,598	1224,020	307,229
Разом						1037,401

4.6 СУМАРНІ ТЕПЛОНАДХОДЖЕННЯ ДЛЯ РЕЖИМУ ОХОЛОДЖЕННЯ

Сумарні теплові надходження, Вт·год, для кожної зони будівлі для кожного місяця періоду охолодження визначаються за формулою (20). Результати розрахунку зведені в таблицю 16.

Таблиця 16 – Розрахунок сумарних теплонадходжень за період охолодження

Місяць	t , год	Q_{int} , кВт·год	Q_{sol} , кВт·год	Q_{gn} , кВт·год
VI	210	147,701	320,64	468,341
VII	279	196,232	409,532	605,764
VIII	251	176,538	307,229	483,767
Разом		520,471	1037,401	468,341

4.7 КОЕФІЦІЄНТ ВИКОРИСТАННЯ НАДХОДЖЕНЬ ДЛЯ ОХОЛОДЖЕННЯ

Безрозмірний коефіцієнт використання втрат для охолодження $\eta_{c,ls}$ – це функція співвідношення надходжень і втрат теплоти, γ_c , та числового параметра α_c , який залежить від інерції будівлі.

Безрозмірне співвідношення надходжень і втрат теплоти:

$$\gamma_c = \frac{Q_{c,gn}}{Q_{c,ht}}, \quad (36)$$

Покажемо розрахунок цього коефіцієнту на прикладі червня місяця:

$$\gamma_c^{VI} = \frac{468,341}{372,403} = 1,258.$$

Так як $\gamma_c^{VI} > 0$, $\gamma_c^{VI} \neq 1$ та $Q_{c,ht} > 0$ скористаємося наступною формулою (у разі інших співвідношень потрібно використати формули з розділу 12.3 ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [9]):

$$\eta_{c,ls} = \frac{1 - \gamma_c^{-\alpha_c}}{1 - \gamma_c^{-(\alpha_c+1)}}, \quad (37)$$

де

α_c – безрозмірний числовий параметр, що визначається за формулою:

$$\alpha_c = \alpha_{c,0} + \frac{\tau}{\tau_{c,0}}, \quad (38)$$

де

$\alpha_{c,0}$ – довідковий безрозмірний числовий параметр, приймають рівним 1,0 ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [9];

$\tau_{c,0}$ – довідкова часова константа, що приймають рівною 15 год [9];

τ – часова константа зони будівлі, визначена у розділі 3.7:

$$- \tau = 35,743 \text{ год.}$$

Розрахуємо безрозмірний числовий параметр за формулою (38):

$$\alpha_c = 1 + \frac{35,743}{15} = 3,383.$$

Підставимо отримане значення у формулу (37):

$$\eta_{c,ls}^{VI} = \frac{1 - 1,258^{-3,383}}{1 - 1,258^{-(3,383+1)}} = 0,851.$$

Результати розрахунку безрозмірного коефіцієнту для кожного з місяців періоду охолодження наведені у таблиці 17.

Таблиця 17 – Розрахунок безрозмірного коефіцієнту для кожного місяця періоду охолодження

Місяць	γ_c	c_m , Вт·год/К	τ , год	α_c	$\eta_{c,ls}$
VI	1,258	11120	35,743	3,383	0,851
VII	1,662				0,92
VIII	1,239				0,847

4.8 ЕНЕРГОПОТРЕБА ДЛЯ ОХОЛОДЖЕННЯ

Сумарна енергопотреба для охолодження визначається формулою:

$$Q_{C,nd} = Q_{C,gn} - \eta_{C,ls} Q_{C,ht} \quad (39)$$

де

$Q_{C,gn}$ – сумарні теплонадходження в режимі охолодження, кВт·год, визначено в п. 4.6.

$Q_{C,ht}$ – сумарна теплопередача в режимі охолодження, кВт·год, визначено в п. 4.3;

$\eta_{C,ls}$ – безрозмірний коефіцієнт використання втрат для охолодження, визначений в п. 4.7;

Покажемо розрахунок на прикладі січня місяця:

$$Q_{C,nd}^{VI} = 468,341 - 0,851 \cdot 372,403 = 151,426 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Результати розрахунків енергопотреби для охолодження зведені у таблицю 18.

Таблиця 18 – Енергопотреба для охолодження

Місяць	$Q_{C,ht}$, кВт·год	$\eta_{C,ls}$, кВт·год	$Q_{C,gn}$, кВт·год	$Q_{C,nd}$, кВт·год
VI	372,403	0,851	468,341	151,426
VII	364,563	0,92	605,764	270,366
VIII	390,448	0,847	483,767	153,058
Разом				574,85

4.9 ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ДЛЯ ОХОЛОДЖЕННЯ

4.9.1 Енергоспоживання підсистеми розподілення при охолодженні

Втрати теплоти підсистемою розподілення охолодження, кВт·год, визначаються за формулою:

$$Q_{C,dis,ls} = Q_{C,nd} \cdot ((1 - \eta_{C,ce}) + (1 - \eta_{C,ce,sens}) + (1 - \eta_{C,d})), \quad (40)$$

де

$Q_{C,nd}$ – енергопотреба для охолодження, визначена у п. 4.8;

$\eta_{C,ce}$ – ступінь утилізації теплообміну в системі охолодження, визначається за табл. 30 ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [9], для системи охолодження даної будівлі (холодна вода 7/12) обираємо

$$- \eta_{C,ce} = 1;$$

$\eta_{C,ce,sens}$ – ступінь явної утилізації теплообміну в системі охолодження, визначається за табл. 30 ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [9], для системи охолодження даної будівлі (холодна вода 7/12) обираємо

$$- \eta_{C,ce,sens} = 0,87;$$

$\eta_{C,d}$ – ступінь утилізації підсистеми розподілення, визначається за табл. 30 ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [9], для системи охолодження даної будівлі (холодна вода 7/12) обираємо

$$- \eta_{C,d} = 0,9.$$

Покажемо приклад розрахунку за формулою (40) для червня місяця:

$$Q_{C,dis,ls}^{VI} = 151,426 \cdot ((1 - 1) + (1 - 0,87) + (1 - 0,9)) = 34,828 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Енергія входу для підсистеми розподілення визначається за формулою, кВт·год:

$$Q_{C,dis,in} = Q_{C,dis,out} + Q_{C,dis,ls}, \quad (41)$$

де

$Q_{C,dis,out}$ – енергія виходу підсистеми розподілення упродовж i -го місяця, Вт·год, $Q_{C,dis,out} = Q_{C,nd}$.

Підставимо значення у формулу (41):

$$Q_{C,dis,in}^{VI} = 151,426 + 34,828 = 186,254 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

4.9.2 Енергоспоживання підсистеми генерування при опаленні

Енергія виходу для підсистеми генерування (виробництва) визначається за формулою, кВт·год:

$$Q_{C,gen,out} = Q_{C,dis,in}/\eta_{C,ac}, \quad (42)$$

де

$Q_{C,dis,in}$ – енергія входу для підсистеми розподілення, визначена у п.4.9.1;

$\eta_{C,ac}$ – ефективність автоматичного управління/регулювання, обирається в залежності від класу ефективності системи [9], для системи класу В $\eta_{C,ac} = 0,93$.

Покажемо розрахунок за формулою для червня місяця:

$$Q_{C,gen,out}^{VI} = 186,254/0,93 = 200,273 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Визначимо загальні тепловтрати підсистеми генерування (виробництва), кВт·год, за формулою:

$$Q_{C,gen,ls} = Q_{C,gen,out} (1 - \eta_{C,gen})/\eta_{C,gen}, \quad (43)$$

де

$\eta_{C,gen}$ – ефективність підсистеми генерування (виробництва), визначається шляхом множення сезонного коефіцієнта енергоефективності на ефективність генерування (виробництва) енергії для установки, обирається за табл. 31 ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [9], так як охолодження відбувається за допомогою компресорної машини з тепловідведенням до зовнішнього повітря

$\eta_{C,gen} = 2,25\eta_{pg}$, де $\eta_{pg} = 1 -$ ефективність генерації електроенергії при відсутності електрогенератора.

Розрахуємо загальні тепловтрати підсистеми генерування для червня:

$$Q_{C,gen,ls}^{VI} = 200,273 (1 - 2,25)/2,25 = -111,263 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Енергоспоживання для охолодження визначається за формулою:

$$Q_{C,use} = Q_{C,gen,out} + Q_{C,gen,ls}. \quad (44)$$

Визначимо енергоспоживання для червня за формулою (44):

$$Q_{C,use}^{VI} = 200,273 - 111,263 = 89,01 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Розрахунок енергоспоживання для періоду охолодження наведено у табл.19.

Таблиця 19 – Енергоспоживання для охолодження

Місяць	$Q_{C,em,in} = Q_{C,dis,out}$, кВт·год	$Q_{C,dis,ls}$, кВт·год	$Q_{C,dis,in}$, кВт·год	$Q_{C,gen,out}$, кВт·год	$Q_{C,gen,ls}$, кВт·год	$Q_{C,use}$, кВт·год
VI	151,426	34,828	186,254	200,273	-111,263	89,01
VII	270,366	62,184	332,550	357,581	-198,656	158,925
VIII	153,058	35,203	188,261	202,431	-112,462	89,969
Разом						337,904

9 ВИЗНАЧЕННЯ КЛАСУ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЛІ

Клас енергетичної ефективності будівлі визначається за даними, наведеними у таблиці 1 Наказу №261 [6], в залежності від показника Δ_{EP} , який є відсотковою різницею між загальним показником питомого енергоспоживання при опаленні та охолодженні, EP_{use} , кВт·год/м², [кВт·год/м³] та граничним питомим енергоспоживання при опаленні та охолодженні, EP_p , кВт·год/м², [кВт·год/м³].

Показник Δ_{EP} визначається за формулою, %:

$$\Delta_{EP} = [(EP_{use} - EP_p) / EP_p] \cdot 100, \quad (45)$$

де

EP_{use} – загальне питоме енергоспоживання при опаленні та охолодженні, кВт·год/м², [кВт·год/м³]:

$$EP_{use} = EP_{H,use} + EP_{C,use}, \quad (46)$$

де

$EP_{H,use}$, $EP_{C,use}$ – питоме енергоспоживання при опаленні та охолодженні відповідно, кВт·год/м², [кВт·год/м³].

Для розглянутої будівлі:

- $EP_{H,use} = 31378,049/505 = 62,135$ кВт·год/м³ (розділ 3.9);
- $EP_{C,use} = 337,904/505 = 0,669$ кВт·год/м³ (розділ 4.9).

Підставимо значення у формулу (46):

$$EP_{use} = 62,135 + 0,669 = 62,804 \text{ кВт·год/м}^3.$$

EP_p – граничне питоме енергоспоживання при опаленні та охолодженні; Відповідно до Додатку до Наказу №260 [5] для одноповерхової громадської будівлі, розміщеної у I температурній зоні України становить, кВт·год/м³:

$$EP_p = 38\Lambda_{bci} + 15,$$

де

Λ_{bci} – коефіцієнт компактності будівлі, м⁻¹ [8], визначається за формулою:

$$\Lambda_{bci} = A_{\Sigma} / V, \quad (47)$$

де

A_{Σ} – загальна площа внутрішніх поверхонь зовнішніх огорожувальних конструкцій, враховує покриття верхнього поверху і перекриття нижнього, м²;

V – опалюваний об'єм будівлі, визначається як об'єм обмежений внутрішніми поверхнями зовнішніх огорожувальних конструкцій, м³.

Підставимо значення у формулу (47):

$$\Lambda_{bci} = 391,4 / 505 = 0,775 \text{ м}^{-1}.$$

Тож граничне питоме енергоспоживання при опаленні та охолодженні розглянутої будівлі становить $EP_p = 44,45 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^3$.

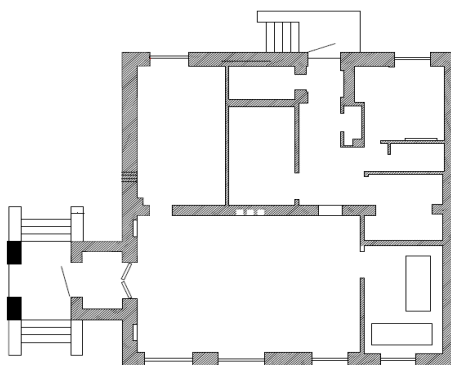
Розрахуємо показник Δ_{EP} , підставивши значення у формулу (45):

$$\Delta_{EP} = [(62,804 - 44,45) / 44,45] \cdot 100 = 41,291\%.$$

За допомогою таблиці 1 Наказу №261 [6] визначимо класу енергоефективності даної будівлі. Отримане значення відповідає класу енергоефективності F.

ІНДИВІДУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ

План та геометричні розміри будівлі



Вихідні дані (варіант 0):

Периметр підлоги: $P = 47,2$ м;

Кондиціонований об'єм будівлі:

$V=505$ м³;

Опалювальна площа будівлі:

$A_f=139,04$ м².

(P , V , A_f для інших варіантів – див. табл. Д.1.3)

Графік використання 70год/тижд.

Тип скління – подвійне скління.

Таблиця Д.1.1 - Характеристики стін

Вар	Площі стін, м ²				Опори теплопередачі стін, R, м ² К/Вт				Толщина зовн. стіни w, м
	З	Пн	Пд	Сх	З	Пн	Пд	Сх	
0	32,91	34,81	31,6	-(вн)	2,34	2,67	2,34	-(вн)	0,61
1	--	40	40	40	--	2	1,9	1,8	0,5
2	45	--	43	42	1,3	--	1,7	1,8	0,45
3	46	48	--	46	1,1	1,3	--	1,65	0,46
4	33	30	35	--	1,5	1,6	1,5	--	0,43
5	--	34	36	37	--	1,7	1,8	1,9	0,42
6	37	--	38	37	1,6	--	1,7	1,9	0,4
7	42	48	--	42	1,8	1,4	--	1,7	0,5
8	--	44	42	41	--	2,1	2,2	2,0	0,56
9	46	--	43	46	1,33	--	1,57	1,58	0,55
10	47	48	--	48	1,5	1,7	--	1,65	0,46
11	36	40	36	--	1,55	1,65	1,55	--	0,43
12	--	44	36	44	--	1,75	1,85	1,95	0,45
13	39	--	32	39	1,65	--	1,75	1,95	0,45
14	42	42	--	42	1,85	1,45	--	1,75	0,5
15	--	45	40	40	--	2,3	1,95	1,82	0,56
16	47	--	43	47	1,35	--	1,75	1,81	0,57
17	49	48	--	49	1,15	1,35	--	1,65	0,59
18	50	35	35	--	1,55	1,65	1,55	--	0,58
19	--	34	36	57	--	1,75	1,85	1,9	0,6
20	--	40	40	40	--	2,1	1,95	1,85	0,55

Таблиця Д.1.2 - Характеристики зовнішніх огорожень будівлі

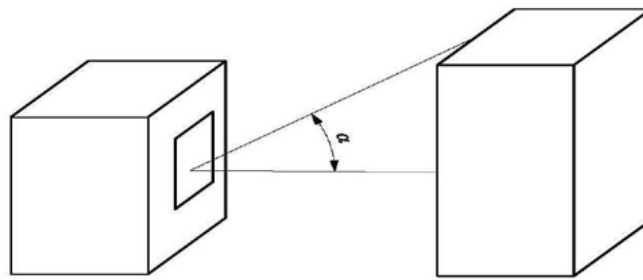
Вар	Вікна		Дах		Двері (Пн або у разі вн.стіни – 3)		Підлога	
	Площа, м ²	R, м ² К/Вт	Площа, м ²	R, м ² К/Вт	Площа, м ²	R, м ² К/Вт	Площа м ²	R _f , м ² К/Вт
0	12	1,14	139	1,05	2	0,983	139	3,06
1	10	0,4	150	1,1	2	0,5	150	3,1
2	11	0,38	145	1,2	2	0,4	145	3,2
3	12	0,42	155	1,3	2	0,55	155	3,3
4	13	0,4	150	1,4	2	0,45	150	3,4
5	14	0,38	144	1,5	2	0,5	144	3,5
6	15	0,42	145	1,6	2	0,4	145	3,6
7	10	0,4	146	1,7	2	0,55	146	3,7
8	11	0,38	147	1,8	2	0,45	147	3,8
9	12	0,42	148	1,9	2	0,5	148	3,9
10	13	0,4	149	2	2	0,4	149	3
11	14	0,38	152	1,1	2	0,55	152	2,9
12	15	0,42	135	1,2	2	0,45	135	2,8
13	10	0,4	138	1,3	2	0,5	138	2,7
14	11	0,38	136	1,4	2	0,4	136	2,6
15	12	0,42	137	1,5	2	0,55	137	2,65
16	13	0,4	138	1,6	2	0,45	138	2,75
17	10	0,38	139	1,7	2	0,5	139	2,85
18	11	0,42	140	1,8	2	0,4	140	2,95
19	12	0,4	142	1,9	2	0,55	142	3,05
20	13	0,38	144	2	2	0,45	144	3,15

Таблиця Д.1.3 – Периметр підлоги та кондиціонований об'єм

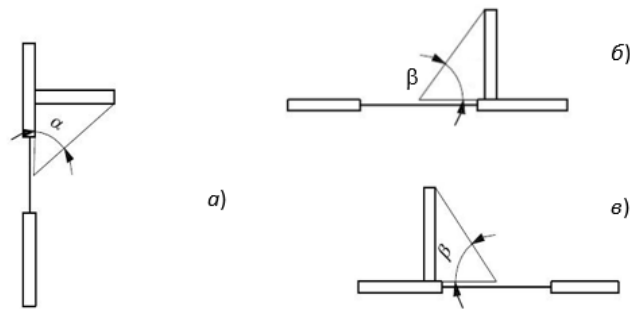
Найменування	Парні варіанти	Непарні варіанти
Периметр підлоги Р, м	45	50
Кондиціонований об'єм зони/будівлі; V, м ³	480	550
Опалювальна площа будівлі, A _f , м ²	137	160

Таблиця Д.1.4 – Тип будівлі, місце її розташування та характеристики огорожень (затінення по фасадам для усіх сторін світу)

Вар	Тип будівлі	Місто	Кут затінення горизонту, α , градусів	Кут затінення звисів, α , градусів	Кут затінення для ребер, β , градусів	
					ліворуч	праворуч
0	Адміністративна	Київ	10	10	10	-
1	Школа	Житомир	20	20	-	10
2	Гуртожиток	Запоріжжя	30	30	20	-
3	Громадська	Івано-Франківськ	40	40	-	20
4	Адміністративна	Київ	50	50	30	-
5	Офіс	Кіровоград	60	60	-	30
6	Школа	Чернівці	10	10	40	-
7	ВНЗ	Луцьк	20	20	-	40
8	Дитячий садочок	Запоріжжя	30	30	50	-
9	Поліклініка	Івано-Франківськ	40	40	-	50
10	Готель	Ужгород	30	30	30	-
11	Університет	Суми	20	20	-	20
12	Ресторан	Житомир	10	10	10	-
13	Фітнес-зал	Одеса	10	10	-	20
14	Лікарня	Миколаїв	20	20	30	-
15	Амбулаторія	Дніпро	30	30	-	40
16	Магазин	Рівне	20	20	20	-
17	Фітнес- центр	Хмельницький	10	10	-	30
18	Дитяча студія	Черкаси	20	20	10	-
19	ДНЗ	Чернігів	10	10	-	10
20	Магазин	Вінниця	20	20	20	-



Кут затінення від протилежних будинків та рельєфу, α



а – звис, б – ребро справа від вікна, в – ребро зліва від вікна

Рис. Д1 – Характеристики затінення огорожень

Таблиця Д.1.5 – Характеристики огорожень для розрахунку сонячних теплонадходжень

Вар	Матеріал зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції	
	стіни	даху
0	Штукатурка вапняна темно-сіра або теракотова	Сталь листова, пофарбована темно-червоною фарбою
1,11	Бетон	Захисний шар рулонної покрівлі із світлого гравію
2,12	Цегла керамічна	Руберойд з піщаною засипкою
3,13	Цегла сілікатна	Сталь листова, пофарбована білою фарбою
4,14	Облицювання природним каменем білим	Сталь покрівельна оцинкована
5,15	Пофарбування силікатне темно-сіре	Сталь листова, пофарбована зеленою фарбою
6,16	Плитка облицювальна керамічна	Захисний шар рулонної покрівлі із світлого гравію
7,17	Штукатурка цементна кремова	Руберойд з піщаною засипкою
8,18	Штукатурка цементна темнозелена	Сталь листова, пофарбована білою фарбою
9,19	Штукатурка цементна світлоблакитна	Сталь покрівельна оцинкована
10,20	Плитка облицювальна палева	Сталь листова, пофарбована зеленою фарбою

Таблиця Д.1.6 – Характеристика системи опалення

Вар	Підсистема тепловіддачі			Підсистема генерації	
	Регулювання температури повітря приміщення	Температурний напір	Гідравлічне налагодження	Рік	Джерело
0	За усередненої температури	42,5 К	Двотрубна. З регуляторами витрати	2006	Центр.теплопостачання з якісним регулюв. за температурним графіком до 110 °С без зрізки
1	П-регулювання (2 К)	30 К	Однотрубна. Не налагоджена.	1993	Конденсаційний газовий котел
2	П-регулювання (1 К)	60 К	Однотрубна. Наявні стабілізатори витрати	2001	Стандартний газовий котел
3	Відсутнє	42,5 К	Однотрубна. Налогоджена. Ручна.	1996	Центр.теплопостачання з постійною температурою теплоносія
4	За усередненої температури	30 К	Двотрубна. Не налагоджена.	2009	Котел на пелетах
5	П-регулювання (2 К)	60 К	Двотрубна. З регуляторами витрати	2018	Центр.теплопостачання з якісним регулюванням зі зрізкою і коригуванням в ІТП
6	П-регулювання (1 К)	42,5 К	Однотрубна. Не налагоджена.	2001	Низькотемпературний газовий котел
7	Відсутнє	30 К	Однотрубна. Наявні стабілізатори витрати	1996	Центр.теплопостачання з постійною температурою теплоносія
8	За усередненої температури	60 К	Однотрубна. Налогоджена. Ручна.	1993	Стандартний газовий котел
9	П-регулювання (2 К)	42,5 К	Двотрубна. Не налагоджена.	2007	Центр.теплопостачання з якісним регулюв. та ЦТП без коригування за погодними умовами
10	П-регулювання (1 К)	30 К	Двотрубна. З регуляторами витрати	2015	Стандартний котел, паливо - мазут
11	ПП-регулювання	60 К	Однотрубна. Не налагоджена.	2000	Центр.теплопостачання з якісним регулюв. за температурним графіком до 110 °С без зрізки

12	За усередненої температури	42,5 К	Однотрубна. Наявні стабілізатори витрати	2002	Низькотемпературний газовий котел
13	П-регулювання (2 К)	30 К	Однотрубна. Налогоджена. Ручна.	2001	Котел на пелетах
14	П-регулювання (1 К)	60 К	Двотрубна. Не налогоджена.	2010	Конденсаційний газовий котел
15	Відсутнє	42,5 К	Двотрубна. 3 регуляторами витрати	1999	Центр.теплопостачання з постійною температурою теплоносія
16	За усередненої температури	30 К	Однотрубна. Не налогоджена.	2010	Центр.теплопостачання з якісним регулюв. за температурним графіком до 110 °С зі зрізкою
17	П-регулювання (2 К)	60 К	Однотрубна. Наявні стабілізатори витрати	2012	Конденсаційний газовий котел
18	П-регулювання (1 К)	42,5 К	Однотрубна. Налогоджена. Ручна.	2004	Стандартний котел, паливо - мазут
19	П-регулювання	30 К	Двотрубна. Не налогоджена.	1998	Центр.теплопостачання з якісним регулюв. та ЦТП без коригування за погодними умовами
20	Відсутнє	60 К	Двотрубна. Не налогоджена.	2006	Стандартний газовий котел

пр ДСТУ-НБВ.1.1-XXX:201X

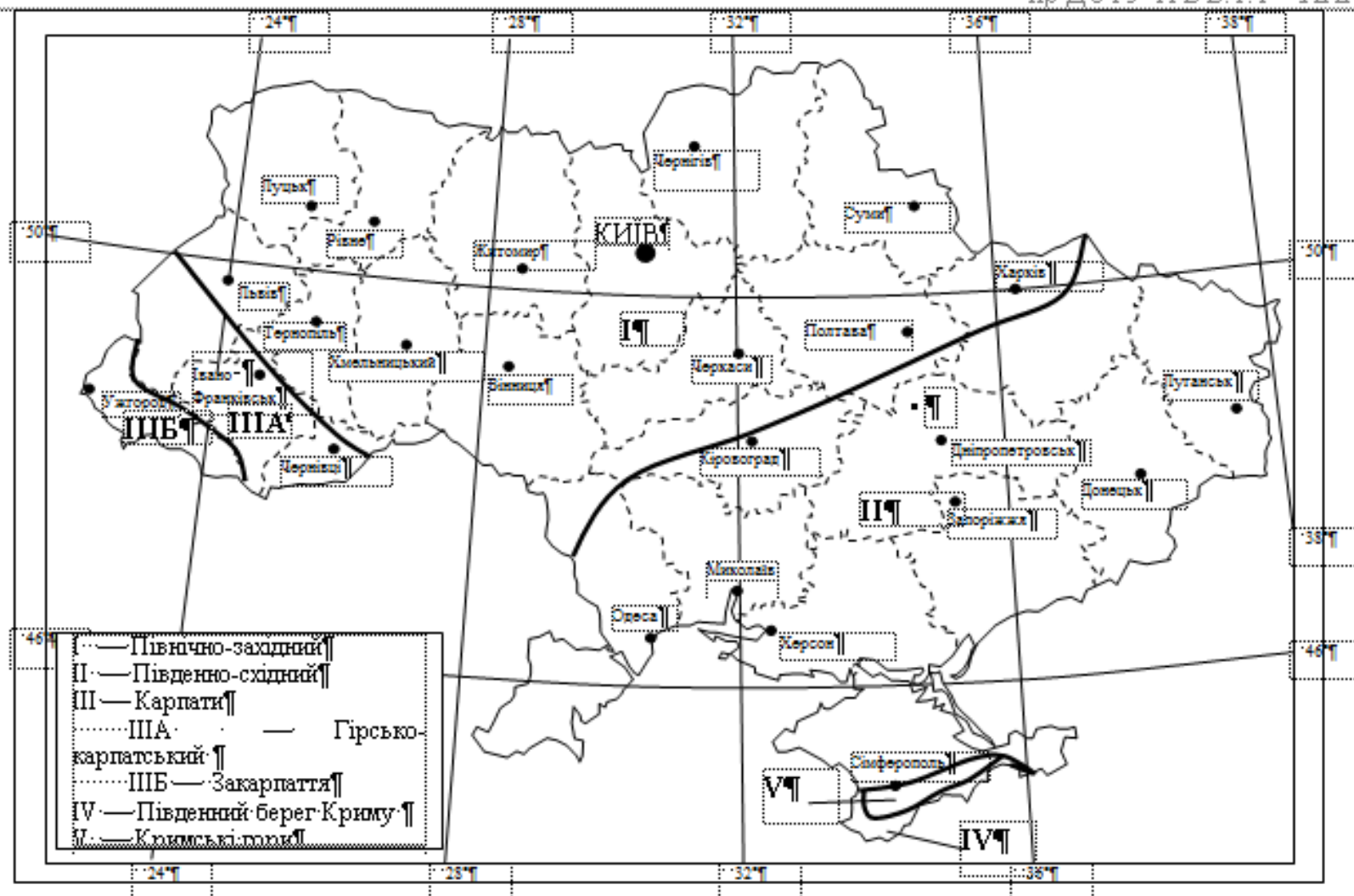


Рисунок 1 — Архітектурно-будівельно-кліматичне районування території України

ЛІТЕРАТУРА

1. Закон України «Про енергетичну ефективність будівель» №2118-VIII від 22.06.2017. Голос України. 22.07.2017. №134.
2. Directive 2010/31/eu of the European parliament and of the council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast) // Official Journal of the European Communities. 2010, L153. – p. 13-35.
3. Про затвердження Методики визначення енергетичної ефективності будівель: Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 11.07.2018 р. №169. Офіційний вісник України. 2018, № 55. С. 301.
4. Про затвердження Порядку проведення сертифікації енергетичної ефективності та форми енергетичного сертифіката: Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 11.07.2018 р. № 172. Офіційний вісник України. 2018, № 55. С. 334.
5. Про затвердження Мінімальних вимог до енергетичної ефективності будівель: Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 27.10.2020. №260. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1257-20>.
6. Про затвердження Змін до Методики визначення енергетичної ефективності будівель: Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 27.10.2020. № 261. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1254-20>.
7. Портал державної електронної системи у сфері будівництва. Режим доступу: <https://e-construction.gov.ua/>
8. ДБН В.2.6-31:2016. Теплова ізоляція будівель. К.: Мінрегіонбуд України, 2017. 37 с.
9. ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні. К. Мінрегіонбуд України, 2016. 205 с.
10. ДСТУ Б В.2.6-189:2013. Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель. К.: Мінрегіонбуд України, 2013. 55 с.
11. ДСТУ-Н Б В.1.1-2:2010. Будівельна кліматологія. К.: Мінрегіонбуд України. 2010.