

**Міністерство освіти і науки України
Луцький національний технічний університет**



ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ЖИТЛА

Методичні вказівки
до практичних занять
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
освітньої програми «Будівництво та цивільна інженерія»
галузі знань 19 Архітектура та будівництво
спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»
денної та заочної форм навчання

Луцьк 2026

УДК 621:006.354; 621.004:002:006.354
Е 62

До друку

Голова вченої ради

факультету архітектури, будівництва та дизайну _____ О. В. Андрійчук

Електронна копія друкованого видання передана для внесення в репозиторій
ЛНТУ

Директор бібліотеки _____ Н.П. Поліщук

Затверджено вченою радою факультету архітектури,
будівництва та дизайну ЛНТУ, протокол № ____ від « ____ » _____ 2026 р.

Розглянуто і схвалено на засіданні кафедри будівництва
та цивільної інженерії ЛНТУ, протокол № ____ від « ____ » _____ 2026 р.

Завідувач кафедри будівництва та цивільної інженерії _____ О. А. Ужегова

Укладачі: О. А. Пахолук, к.т.н., доцент кафедри БЦІ ЛНТУ
О. С. Чапюк, к.т.н., доцент кафедри БЦІ ЛНТУ;

Рецензент: О. А. Ужегова, к.т.н., доцент кафедри БЦІ ЛНТУ

Відповідальна
за випуск: О. А. Ужегова, к.т.н., доцент, завідувач кафедри
будівництва та цивільної інженерії ЛНТУ

Енергоефективність житла [текст]: методичні вказівки до практичних занять
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітньої програми
Е 62 «Будівництво та цивільна інженерія» галузі знань 19 Архітектура та будівництво
спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія денної та заочної форм
навчання / О. А. Пахолук, О.С. Чапюк – Луцьк: ЛНТУ, 2026. – 60 с.

Розглянуто методику визначення основних характеристик об'єкта обстеження,
визначення термічного опору його огорожувальних конструкцій, розрахунку сумарної
теплопередачі трансмісією для режиму опалення, визначення теплопередачі до ґрунту за
стаціонарних умов, визначення теплопередачі вентиляцією і внутрішніх теплонадходжень,
споживання, визначення ефекту від впровадження енергоефективних заходів для систем
опалення та гарячого водопостачання.

© О. А. Пахолук, 2026

© О. С. Чапюк, 2026

Зміст

Практична робота № 1	4
Практична робота № 2	5
Практична робота № 3	12
3.1. Сумарна теплопередача трансмісією для режиму опалення	12
3.2. Теплопередача вентиляцією	22
3.3. Внутрішні теплонадходження	24
3.4. Сонячні теплонадходження	26
3.5. Коефіцієнт використання надходжень	29
3.6. Сумарна теплопередача та теплові надходження	31
3.7. Енергопотреба для опалення	31
3.8. Енергопотреба для охолодження	31
Практична робота № 4	32
Практична робота № 5	35
Практична робота № 6	38
Практична робота № 7	40
Практична робота № 8	42
Додатки	44
Рекомендовані джерела інформації	57

Практична робота № 1

Визначення основних характеристик об'єкта обстеження

1. Опалювана площа будинку визначається як площа поверхів (у тому числі й мансардного, опалюваного цокольного й підвального) будинку, яка вимірюється в межах внутрішніх поверхонь зовнішніх стін, включаючи площу, що займають перегородки й внутрішні стіни.

В опалювану площу включаються опалювані сходові клітки, ліфтові та інші шахти з урахуванням їх площі на рівні кожного поверху.

В опалювану площу будинку не включаються площі теплих горищ і техпідпілля, неопалюваних технічних поверхів, підвалу (підпілля), холодних неопалюваних веранд, сходових клітин, а також холодного горища або його частини, не зайнятої під мансарду.

2. Опалюваний об'єм будинку визначається як добуток опалюваної площі поверху на внутрішню висоту, що вимірюється від поверхні підлоги першого поверху до поверхні стелі останнього поверху.

У разі складних форм внутрішнього об'єму будинку опалюваний об'єм визначається як об'єм простору, що обмежений внутрішніми поверхнями зовнішніх огорожувальних конструкцій (стін, покриття або горищного перекриття, цокольного перекриття).

Для підземних автостоянок опалюваний об'єм обмежується перекриттям над автостоянкою.

3. Під час визначення площі мансардного поверху враховується площа з висотою до похилої стелі 1,2 м при нахилі 30° до горизонту; 0,8 м - при $45^\circ - 60^\circ$; при 60° і більше - площа вимірюється до плінтуса.

4. Площа зовнішніх огорожувальних конструкцій визначається за внутрішніми розмірами будинку. Загальна площа зовнішніх стін (із урахуванням віконних і дверних прорізів) визначається як добуток периметра зовнішніх стін за внутрішньою поверхнею на внутрішню висоту будинку, що вимірюється від поверхні підлоги першого поверху до поверхні стелі останнього поверху з урахуванням площі віконних і дверних відкосів глибиною від внутрішньої поверхні стіни до внутрішньої поверхні віконного або дверного блока. Сумарна площа вікон визначається за розмірами прорізів у світлі. Площа зовнішніх стін (непрозорої частини) визначається як різниця загальної площі зовнішніх стін і площі вікон і зовнішніх дверей.

5. Площа горизонтальних зовнішніх огорожувальних конструкцій (покриття, горищного й цокольного перекриття) визначається як площа поверху будинку (у межах внутрішніх поверхонь зовнішніх стін). У разі похилих поверхонь стелі останнього поверху площа покриття, горищного перекриття визначається як площа внутрішньої поверхні стелі.

Практична робота № 2

Визначення термічного опору огорожувальних конструкцій

Для зовнішніх огорожувальних конструкцій будівель та споруд, що опалюються та/або охолоджуються, і внутрішніх конструкцій, що розділяють приміщення, температура повітря в яких відрізняється на 4 °С та більше, обов'язкове виконання умов:

$$R_{\Sigma пр} \geq R_{q min}, \quad (2.1)$$

$$\Delta\theta_{int-si} \leq \Delta\theta_{int-si,max}, \quad (2.2)$$

$$\theta_{tb,si,min} > \theta_{si,min} \quad (2.3)$$

де $R_{\Sigma пр}$ – приведений опір теплопередачі непрозорої огорожувальної конструкції чи непрозорої частини огорожувальної конструкції (для термічно однорідних огорожувальних конструкцій визначається опір теплопередачі), приведений опір теплопередачі світлопрозорої огорожувальної конструкції, $m^2 \cdot K/Вт$;

$R_{q min}$ – мінімально допустиме значення приведенного опору теплопередачі непрозорої огорожувальної конструкції чи непрозорої частини огорожувальної конструкції, мінімально допустиме значення приведенного опору теплопередачі світлопрозорої огорожувальної конструкції, $m^2 \cdot K/Вт$;

$\Delta\theta_{int-si}$ – різниця між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції за внутрішніми розмірами, °С;

$\Delta\theta_{int-si,max}$ – допустима за санітарно-гігієнічними вимогами різниця між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції за внутрішніми розмірами, °С;

$\theta_{si,tb,min}$ – мінімальне значення температури внутрішньої поверхні в зонах теплопровідних включень в огорожувальній конструкції, °С;

$\theta_{si,min}$ – мінімально допустиме значення температури внутрішньої поверхні при розрахункових значеннях температур внутрішнього й зовнішнього повітря, °С.

Мінімально допустиме значення приведенного опору теплопередачі огорожувальних конструкцій житлових і громадських будівель $R_{q min}$ встановлюють відповідно до таблиці 2.1 залежно від температурної зони експлуатації будівлі, дод. 1.

Таблиця 2.1. Мінімально допустиме значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції житлових та громадських будинків, $R_{q min}$, $m^2 \cdot K/Вт$

№ поз.	Вид огорожувальної конструкції	Значення $R_{q min}$, для температурної зони	
		I	II
1	Зовнішні стінові огорожувальні конструкції	4,00	3,50
2	Суміщені покриття, що межують із зовнішнім повітрям	7,00	6,00
3	Покриття опалюваних горищ (технічних поверхів), мансард, горищні перекриття неопалюваних горищ	6,00	5,50
4	Перекриття, що межують із зовнішнім повітрям та над неопалюваними підвалами	5,00	4,00
5	Світлопрозорі огорожувальні конструкції	0,90	0,70
6	Зенітні ліхтарі	0,80	0,70
7	Зовнішні двері	0,70	0,60

Таблиця 2.2. Мінімально допустиме значення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій промислових будинків, $R_{q \min}$, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$

Вид огорожувальної конструкції та тепловологісний режим експлуатації будинків	Значення $R_{q \min}$, для температурної зони, $\text{м}^2 \text{К}/\text{Вт}$	
	I	II
Зовнішні непрозорі стіни будівель		
- з сухим і нормальним режимом з конструкціями з:		
$D > 1,5$	1,70	1,50
$D \leq 1,5$	2,20	2,00
- з вологим і мокрим режимом з конструкціями з:		
$D > 1,5$	1,80	1,60
$D \leq 1,5$	2,40	2,20
- з надлишками тепла (більше ніж $23 \text{ Вт}/\text{м}^3$)	0,55	0,45
Покриття та перекриття неопалюваних горіщ будівель		
- з сухим і нормальним режимом з конструкціями з:		
$D > 1,5$	1,70	1,60
$D \leq 1,5$	2,20	2,10
- з вологим і мокрим режимом з конструкціями з:		
$D > 1,5$	1,70	1,60
$D \leq 1,5$	1,90	1,80
- з надлишками тепла (більше ніж $23 \text{ Вт}/\text{м}^3$)	0,55	0,45
Перекриття над проїздами й неопалювальними підвалами з конструкціями з :		
$D > 1,5$	1,90	1,80
$D \leq 1,5$	2,40	2,20
Двері й ворота будинків:		
- з сухим і нормальним режимом	0,60	0,55
- з вологим і мокрим режимом	0,75	0,70
- з надлишками тепла (більше ніж $23 \text{ Вт}/\text{м}^3$)	0,20	0,20
Вікна й zenітні ліхтарі будинків:		
- з сухим і нормальним режимом	0,45	0,42
- з вологим і мокрим режимом	0,50	0,45
- з надлишками тепла (більше ніж $23 \text{ Вт}/\text{м}^3$)	0,18	0,18

Розрахункове визначення приведенного опору теплопередачі огорожувальних конструкцій

Приведений опір теплопередачі зовнішньої стінової огорожувальної конструкції чи термічно неоднорідної непрозорі огорожувальної конструкції, що має відповідати вимозі (4) ДБН В.2.6-31 [2], розраховують за формулою:

$$R_{\Sigma \text{пр}} = \frac{A_{\Sigma}}{\sum_i (A_i / R_{\Sigma i}) + \sum_m (l_m \cdot \Psi_m) + \sum_j (N_j \cdot \chi_j)}, \quad (2.4)$$

де A_{Σ} - загальна площа огорожувальної конструкції, обчислена за внутрішнім виміром із додаванням площ внутрішніх укосів прорізів та відніманням площ прорізів, м^2 ;

A_i - площа i -ої термічно однорідної частини непрозорої конструкції, що не містить площі внутрішніх укосів прорізів та площі ділянок зовнішніх огорожень будівлі, які контактують з іншими теплопровідними включеннями, m^2 ;

$R_{\Sigma i}$ - опір теплопередачі i -ої термічно однорідної частини конструкції, $m^2 \cdot K / \text{Вт}$, визначають за формулою:

$$R_{\Sigma} = \frac{1}{h_{si}} + \sum_{i=1}^l R_i + \frac{1}{h_{se}} = \frac{1}{h_{si}} + \sum_{i=1}^l \frac{d_i}{\lambda_{ip}} + \frac{1}{h_{se}}, \quad (2.5)$$

де h_{si} , h_{se} - коефіцієнти теплообміну внутрішньої і зовнішньої поверхонь огорожувальної конструкції, $\text{Вт}/(m^2 \cdot K)$, які приймають згідно з додатком Б ДСТУ 9191;

R_i - тепловий опір i -го шару конструкції, $m^2 \cdot K / \text{Вт}$. Для замкнених повітряних прошарків значення теплового опору визначають за даними, наведеними у додатку В ДСТУ 9191;

d_i - товщина i -го шару конструкції, m ;

λ_{ip} - теплопровідність матеріалу i -го шару конструкції за розрахункових умов експлуатації (розрахункова теплопровідність), $\text{Вт}/(m \cdot K)$, приймають згідно з додатком А ДСТУ 9191;

$i \dots l$ - кількість шарів огорожувальної конструкції.

Ψ_m - лінійний коефіцієнт теплопередачі m -го лінійного теплопровідного включення (враховують теплопровідні включення, визначені за примітками 1 та 2, $\text{Вт}/(m \cdot K)$;

l_m - лінійний розмір (проекція) m -го лінійного теплопровідного включення, m ;

χ_j - точковий коефіцієнт теплопередачі j -го точкового теплопровідного включення, $\text{Вт}/K$, розраховують за тримірним температурним полем або приймають згідно з додатком Д;

N_j - загальна кількість j -их точкових теплопровідних включень, що розташовані на загальній площі огорожувальної конструкції без урахування площ внутрішніх укосів прорізів, шт.

Визначення лінійних та точкових коефіцієнтів теплопередачі потрібно здійснювати на підставі розрахунків двомірних та тримірних температурних полів відповідно. Методика розрахунку встановлена згідно з ДСТУ ISO 10211-1, ДСТУ ISO 10211-2.

Значення лінійних коефіцієнтів теплопередачі поширених лінійних теплопровідних включень наведені у додатку Г ДСТУ 9191, точкових коефіцієнтів теплопередачі — у додатку Д ДСТУ 9191.

Приведений опір теплопередачі огорожувальних конструкцій, що контактують із ґрунтом $R_{\Sigma пр,г}$, $m^2 \cdot K / \text{Вт}$, визначають згідно з ДСТУ 9190.

Товщину теплоізоляційного шару в непрозорій огорожувальній конструкції визначають за виконанням вимоги (2.1):

$$R_{\Sigma пр,к} \geq R_{qmin}, \quad (2.6)$$

де $R_{\Sigma пр,к}$ - приведений опір теплопередачі непрозорої огорожувальної конструкції чи непрозорої частини огорожувальної конструкції, що розраховують відповідно до п. 5.6 ДСТУ 9191, $m^2 \cdot K / \text{Вт}$. Для термічно однорідних огорожувальних конструкцій визначають опір теплопередачі згідно з формулою (2.5);

R_{qmin} - мінімально допустиме значення приведенного опору теплопередачі непрозорої огорожувальної конструкції чи непрозорої частини огорожувальної конструкції, $m^2 \cdot K/Wt$, що встановлюють згідно з ДБН В.2.6-31 [1]. Мінімально допустимий опір теплопередачі внутрішніх огорожувальних конструкцій, що розділяють приміщення з розрахунковими температурами повітря, які відрізняються більше ніж на $4^\circ C$, визначають відповідно до алгоритму, наведеному в додатку Е ДСТУ 9191.

Під час визначення товщини теплоізоляційного шару згідно з умовою (2.6) враховують лише термічний вплив теплопровідних включень, що є характерними особливостями відповідного типу зовнішньої стінової огорожувальної конструкції чи непрозорої огорожувальної конструкції. Термічний вплив теплопровідних включень, що визначаються конструктивними особливостями всієї будівлі, під час визначення товщини теплоізоляційного шару не враховують. Даний термічний вплив враховують під час визначення енергопотребби для опалення та охолодження та загальних тепловитрат будівлі через огорожувальні конструкції згідно з ДСТУ 9190.

Примітка 1. Теплопровідними включеннями, що належать до відповідного типу непрозорої огорожувальної конструкції, є: з'єднувальні елементи, дубелі, кронштейни, закладні деталі, арматурні сітки, віконні укуси, стики між елементами непрозорої огорожувальної конструкції, елементи жорсткості тощо.

Примітка 2. До теплопровідних включень, що визначаються конструктивними особливостями будівлі, належать міжповерхові та балконні перекриття, колони, пілони, кутові примикання, парапетні або карнизні вузли сполучення тощо.

Таблиця 2.3. Термічний опір замкненого повітряного прошарку, $m^2 \cdot K/Wt$, залежно від розміщення в конструкції

Товщина повітряного прошарку, м	Розміщення прошарку			
	горизонтальне при потоці тепла знизу вгору та вертикальне		горизонтальне при потоці тепла згори донизу	
	середня температура повітря у прошарку			
	$\geq 0^\circ C$	$< 0^\circ C$	$\geq 0^\circ C$	$< 0^\circ C$
0,01	0,13	0,15	0,14	0,15
0,02	0,14	0,15	0,15	0,19
0,03	0,14	0,16	0,16	0,21
0,05	0,14	0,17	0,17	0,22
0,1	0,15	0,18	0,18	0,23
0,15	0,15	0,18	0,19	0,24
0,2-0,3	0,15	0,19	0,19	0,24

Таблиця 2.4. Термічний опір замкненого повітряного прошарку, $m^2 \cdot K/Wt$, при встановленні відбивної ізоляції

Кількість прошарків (товщиною від 3 мм до 10 мм)	Середня температура повітря прошарку	Тип відбивної ізоляції, товщина спіненого шару, мм					
		А (одностороння)*			Б (двостороння)		
		3	5	10	3	5	8
1	$\geq 0^\circ C$	0,34	0,48	0,84			
1	$< 0^\circ C$	0,3	0,4	0,79			
2	$\geq 0^\circ C$	0,79	1,0	1,3	0,85	1,39	1,49
2	$< 0^\circ C$	0,64	0,79	1,2	0,82	1,25	1,4

Примітка*: Встановлення ізоляції відбивним шаром у бік приміщення

Виконання теплотехнічного розрахунку огорожувальної конструкції

Теплотехнічний розрахунок огорожувальної конструкції виконується в такій послідовності:

1. Визначаються вихідні дані для теплотехнічного розрахунку.
2. Визначається мінімально допустиме значення опору теплопередачі зовнішньої стіни $R_{q\ min}$ [1]
3. Розраховується необхідна товщина утеплювача, опір теплопередачі для термічно однорідної стіни R_{Σ} та порівнюється з мінімально допустимим значенням опору $R_{q\ min}$.
4. Визначається розрахункова температура зовнішнього повітря; розраховується температура внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції τ_e та температури на зовнішніх поверхнях шарів матеріалів стіни та будується лінія падіння температури на розрізі стіни.
5. Перевіряється на відповідність санітарно-гігієнічним вимогам різниця між температурою внутрішнього повітря і температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції.
6. Визначається точка роси у приміщенні і перевіряється можливість утворення конденсату на внутрішній площині стіни та в кутках будинку.
7. Визначається мінімально допустима товщина теплоізоляційного шару термічно неоднорідної огорожувальної конструкції.
8. Формулюються висновки щодо розрахунків і при необхідності коригується конструкція стіни.

Вихідними даними для розрахунку є параметри мікроклімату приміщення (температура внутрішнього повітря θ_{int} і його відносна вологість φ_{int}); температурна зона району будівництва; теплотехнічні характеристики матеріалів шарів стіни (розрахункові значення коефіцієнтів теплопровідності λ_i); розрахункова температура зовнішнього повітря $\theta_{e,роз}$; значення лінійних та точкових коефіцієнтів теплопередачі теплопровідних включень. Необхідні для розрахунку дані наведені в додатках методичних вказівок та [1, 3].

На початку теплотехнічного розрахунку зовнішню стіну вважають термічно однорідною огорожувальною конструкцією та визначають необхідну товщину шару утеплювача δ_{ym} в такій послідовності.

Визначається температурна зона району будівництва за картою додатку 1.

Мінімально допустиме значення опору теплопередачі зовнішньої стіни $R_{q\ min}$ визначається за табл. 2.1 та 2.2, залежно від температурної зони.

Для промислових будівель мінімально допустиме значення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій залежить не тільки від температурної зони (як для житлових будівель), а й від тепловологісного режиму внутрішнього середовища та теплової інерції конструкції D . На початку розрахунку оцінюють сумарну теплову інерцію за формулою (2.7) для шарів, товщини яких відомі, та визначають за таблицею 2.2 та [1] мінімально допустиме значення опору теплопередачі для заданої конструкції.

Теплова інерція огорожувальної конструкції D , розраховується за формулою:

$$D = \sum_{i=1}^n (R_i \cdot s_i) \dots \dots \dots (2.7)$$

де s_i - коефіцієнт теплосасвоєння матеріалу i -го шару, Вт /($m^2 \cdot K$) ;

n - кількість шарів конструкції, рахуючи за напрямом теплового потоку.

Визначивши товщину шару утеплювача, розраховують опір теплопередачі будівлі та порівнюють з уточненим мінімально допустимим значення опору, розрахувавши теплову інерцію всіх шарів конструкції.

Параметри мікроклімату приміщень (розрахункові значення температури внутрішнього повітря θ_{int} та відносної вологості ϕ_e) визначаються залежно від призначення приміщення за нормами проектування відповідних будівель (орієнтовні значення для деяких будівель наведено в табл. Б.2, [1]).

Розрахункові значення коефіцієнтів теплопровідності λ_i матеріалів шарів визначаються за додатком А [3] залежно від вологісних умов експлуатації матеріалу в огорожувальній конструкції (А або Б). Умови експлуатації матеріалу визначають таким чином: визначивши за таблицею Б.3 [1] розрахункові значення температури та вологості повітря в приміщенні, визначають його вологісний режим (табл. Б.1 [1]), а за табл. Б.3 [1] - вологісні умови експлуатації матеріалу в зовнішній стіні.

Товщина утеплювача d визначається за умови, що опір теплопередачі стіни дорівнює нормативному (2.1), за формулою (2.5) (наприклад, для 4-х шарової стіни, третій шар якої - утеплювач):

$$d_{ут} \geq \left(R_{q \min} - \left(\frac{1}{h_{si}} + R_1 + R_2 + R_4 + \frac{1}{h_{se}} \right) \right) \cdot \lambda_{ут} \quad (2.7)$$

Товщину утеплювача (збільшивши) заокруглюють та здійснюють перевірку: обчислюють за формулою (2.5) загальний опір теплопередачі зовнішньої стіни R_{Σ} та порівнюють з мінімально необхідним $R_{q \min}$.

Результати розрахунку подають у вигляді такої таблиці:

Таблиця 2.5. Результати розрахунку

№ з/п	Назва конструктивного шару	Густина ρ , кг/м ³	Товщина d , м	Коеф. теплопровідності λ , Вт/м К	Термічний опір R , м ² К/Вт
1	2	3	4	5	6
1					
2					
3					
4					
$R_{\Sigma} =$					

Розрахункова температура зовнішнього повітря t_3 (взимку) визначається за таблицею Б. 4. [1]

Для побудови лінії падіння температури на розрізі стіни за формулами (2.8 - 2.12) визначаються температури на внутрішній поверхні стіни:

$$\tau_B = \Theta_{int} - \frac{\Theta_{int} - \Theta_e}{R_\Sigma} \cdot \frac{1}{h_{si}} \quad (2.8)$$

та на зовнішніх поверхнях всіх її шарів:

$$t_1 = \Theta_{int} - \frac{\Theta_{int} - \Theta_e}{R_\Sigma} \cdot \left(\frac{1}{h_{si}} + R_1 \right); \quad (2.9)$$

$$t_2 = \Theta_{int} - \frac{\Theta_{int} - \Theta_e}{R_\Sigma} \cdot \left(\frac{1}{h_{si}} + R_1 + R_2 \right); \quad (2.10)$$

$$t_3 = \Theta_{int} - \frac{\Theta_{int} - \Theta_e}{R_\Sigma} \cdot \left(\frac{1}{h_{si}} + R_1 + R_2 + R_3 \right); \quad (2.11)$$

$$t_4 = \Theta_{int} - \frac{\Theta_{int} - \Theta_e}{R_\Sigma} \cdot \left(\frac{1}{h_{si}} + R_1 + R_2 + R_3 + R_4 \right); \quad (2.12)$$

За отриманими значеннями у вибраному масштабі (горизонтальному - для товщини шарів і вертикальному - для температур) будується лінія падіння температури (рис. 2.1). В межах кожного шару лінія є прямою. У багатошарових конструкціях лінія падіння буде ламаною із зламами на поверхнях шарів. На графіку необхідно позначити товщини шарів і значення температур повітря, починаючи від Θ_{int} і закінчуючи Θ_e .

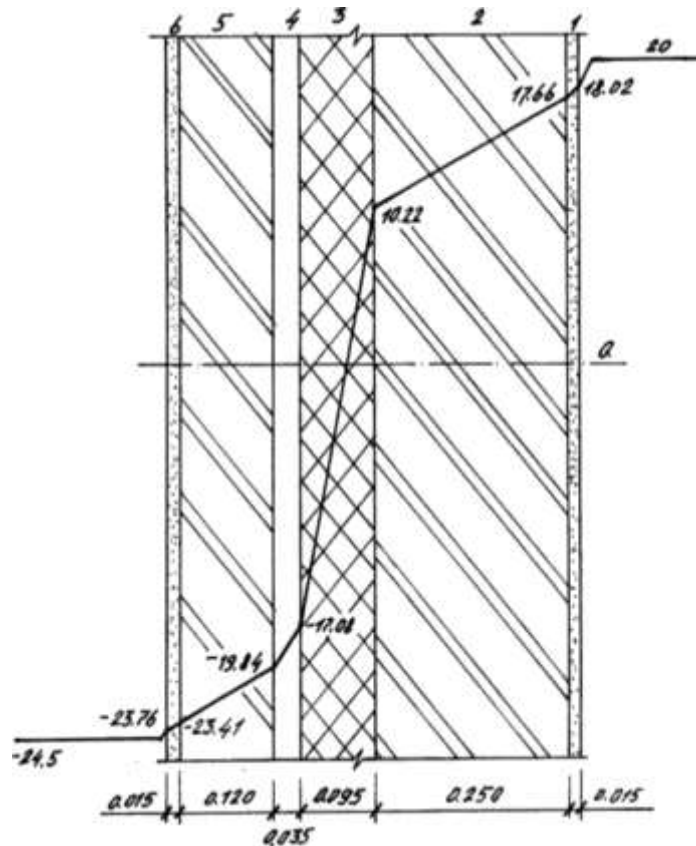


Рис. 2.1. Лінія падіння температури на розрізі зовнішньої стіни

У висновках аналізуються результати розрахунків щодо забезпечення мінімально допустимого значенням опору стіни Rq_{min} ; можливості утворення конденсату на внутрішній поверхні стіни і у кутках будинку та відповідність санітарно-гігієнічним вимогам.

Практична робота № 3 Розрахунок енергопотреб

3.1. Сумарна теплопередача трансмісією для режиму опалення

Сумарна теплопередача трансмісією Q_{tr} , Вт·год, визначається для кожного місяця за формулою (3.1):

$$Q_{tr} = H_{tr,adj} \cdot (\theta_{int,set,H} - \theta_e) \cdot t, \quad (3.1)$$

де $\theta_{int,set,H}$ – задана внутрішня температура в будівлі в опалювальний період, °С, приймати за табл.16 ДСТУ 9190:2022 [9];

θ_e – середньомісячна температура зовнішнього середовища, °С; приймати за табл. А2 ДСТУ 9190:2022 [5];

t – тривалість місяця, для якого проводиться розрахунок, год, приймати за табл. А1 (додаток А) в ДСТУ 9190:2022 [5];

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

$$H_{tr,adj} = H_D + H_g + H_u + H_A, \quad (3.2)$$

де H_D – узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до зовнішнього середовища, Вт/К;

H_g – стаціонарний узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до ґрунту, Вт/К;

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

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

$$H_D = b_{tr,x} \sum_{i=1}^n A_i U_i, \quad U_i = \frac{1}{R_{\Sigma np}}, \quad \text{де} \quad (3.3)$$

під час розрахунків H_D та H_g поправочний коефіцієнт $b_{tr,x} = 1$, під час розрахунків H_u та H_A $b_{tr,x} \neq 1$ (значення визначається за п. 8.2.2. ДСТУ 9190).

Теплопередача до суміжного некондиціонованого об'єму та суміжного приміщення оранжерейного типу

Суміжний некондиціонований об'єм або суміжне приміщення оранжерейного типу є некондиціонованим об'ємом за межами розрахункової зон(и) під час визначення енергопотреб під час опалення та охолодження будівлі.

Розрахункова процедура, наведена нижче, є однаковою для суміжного некондиціонованого об'єму та суміжного приміщення оранжерейного типу.

Коригування узагальненого коефіцієнта теплопередачі враховують поправковим коефіцієнтом $b_{tr,x} = b_U$, що базується на температурі суміжного некондиціонованого об'єму/суміжного приміщення оранжерейного типу.

Якщо збирання повних потрібних вхідних даних є занадто трудомістким та економічно недоцільним, а також для наявних будівель допустимо використовувати значення поправкового коефіцієнта b_U , наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Значення поправкового коефіцієнта b_U

Тип некондиціонованого об'єму	b_U для опалювального періоду	b_U для періоду охолодження
Технічне підпілля	0,3	0,3
Технічне (тепле) горище	0,7	0
Холодне горище багатоповерхових будівель	0,9	0
Холодне горище односімейних будівель	1,0	0
Неопалювана сходові клітка всередині будівлі	0,4	0
Неопалюване приміщення з трьома зовнішніми стінами (наприклад, зовнішні сходи)	0,8	0
Неопалюване приміщення з двома зовнішніми стінами та дверима (наприклад, тамбур, хол, гараж)	0,6	0
Неопалюване приміщення з двома зовнішніми стінами без дверей	0,5	0
Неопалюване приміщення з однією зовнішньою стіною	0,4	0
Засклена лоджія для нового проєктування	0,5	1,0*
Засклений балкон для нового проєктування	0,6	1,0*
Засклена лоджія наявних будівель — задовільний стан огороження; — незадовільний стан огороження	0,7 0,85	1,0* 1,0*
Засклений балкон наявних будівель — задовільний стан огороження; — незадовільний стан огороження	0,8 0,9	1,0* 1,0*

* За відкритих ступок.

Теплопередача до суміжних будівель

Теплопередачу до суміжних будівель не враховують під час розрахунку за умови, якщо різниця між внутрішньою заданою температурою суміжних будівель відрізняється не більше ніж на 4 К включно.

У випадку, якщо різниця між внутрішньою заданою температурою суміжних будівель відрізняється більше ніж на 4 К теплопередачу трансмісією, враховують поправковим коефіцієнтом $b_{tr,x} = b_A$, що базується на температурі суміжної будівлі та коригує узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією.

Приведений коефіцієнт теплопередачі

Приведений коефіцієнт теплопередачі i -го елемента оболонки будівлі для світлопрозорих конструкцій та дверей визначають за формулою:

$$U_i = U_x \quad (3.4)$$

U_x — значення коефіцієнта теплопередачі світлопрозорих конструкцій (вікон) — U_w , U_{ws} чи дверей — U_D , Вт/(м²К), що визначають згідно з ДСТУ Б EN ISO 10077-1.

Приведений коефіцієнт теплопередачі i -го елемента оболонки будівлі для непрозорих конструкцій розраховують за формулою:

$$U_i = 1 / R_{\Sigma пр}, \quad (3.5)$$

де $R_{\Sigma пр}$ - приведений опір теплопередачі, що визначають згідно з формулою (1) ДСТУ 9191, $m^2 K/Вт$, з урахуванням положень ДБН В.2.6-31 [1].

Визначення лінійних та точкових коефіцієнтів теплопередачі необхідно здійснювати на підставі розрахунків двомірних та тримірних температурних полів відповідно. Методику розрахунків встановлено в ДСТУ ISO 10211-1 та ДСТУ ISO 10211-2.

Лінійні коефіцієнти та точкові коефіцієнти теплопередачі поширених теплопровідних включень наведені в ДСТУ 9191.

У випадку, якщо теплопровідне включення розташоване на межі двох теплових зон, то до кожної зони належить половина значення лінійного коефіцієнта теплопередачі цього теплопровідного включення.

Для будівель, за відсутності інформації чи її недостатній кількості щодо теплопровідних включень у конструкції, необхідно використовувати коригувальну поправку до коефіцієнта теплопередачі для врахування впливу теплопровідних включень, і коефіцієнт теплопередачі розраховувати за формулою:

$$U_i = U_{i,corr} = U_{op} + \Delta U_{tb}, \quad (3.6)$$

де U_{op} — коефіцієнт теплопередачі непрозорої частини конструкції $Вт/(m^2K)$, по основному полю, що розраховують за формулою:

$$U_{op} = 1/R_{\Sigma}, \quad (3.7)$$

де R_{Σ} — опір теплопередачі, що визначають згідно з ДСТУ 9191, $m^2K/Вт$.

ΔU_{tb} — додаткова складова до коефіцієнта теплопередачі непрозорих конструкцій U_{op} , що враховує вплив теплопровідних включень, $Вт/(m^2-K)$, розрахункові значення якої наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2. Значення додаткової складової до коефіцієнта теплопередачі, які враховують вплив теплопровідних включень

Середнє значення коефіцієнта теплопередачі непрозорих частин конструкцій, $Вт/(m^2 \cdot K)$	ΔU_{tb} , $Вт/(m^2 \cdot K)$
$U_{op} \geq 0,8$	0,0
$0,4 \leq U_{op} < 0,8$	0,05
$U_{op} < 0,4$	0,10

Порядок визначення теплопередачі до ґрунту за стаціонарних умов

Підлога на ґрунті

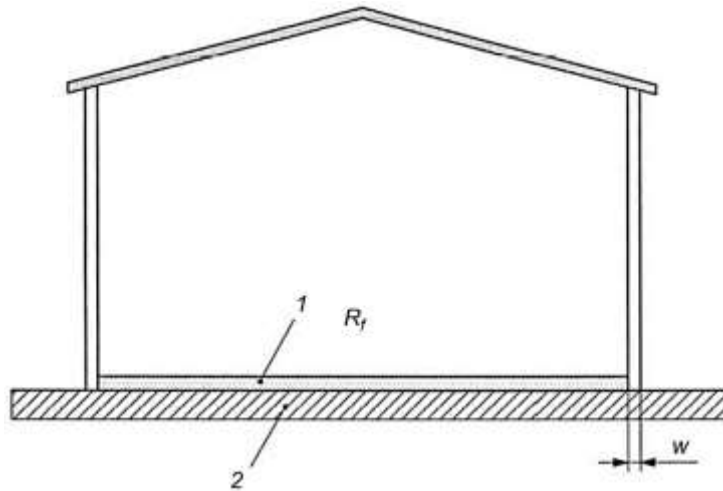


Рис. 3.1. Будівля з підлогою на ґрунті

- 1 — шар підлоги;
2 — ґрунт;
w — товщина зовнішніх стін;
 R_f — термічний опір підлоги.

Коефіцієнт теплопередачі підлоги на ґрунті U , Вт/(м²·К), визначають за формулами:
— якщо $d_t < B'$ (неізольована або посередньо ізольована підлога):

$$U = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_t} \ln \left(\frac{\pi B'}{d_t} + 1 \right), \quad (3.8)$$

якщо $d_t \geq B'$ (добре ізольована підлога):

$$U = \frac{\lambda}{0,457B' + d_t}, \quad (3.9)$$

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

$$B' = \frac{A}{0,5P}, \quad (3.10)$$

d_t — еквівалентна товщина підлоги, яку розраховують за формулою:

$$d_t = w + \lambda (R_{si} + R_f + R_{se}), \quad (3.11)$$

де A - площа підлоги, м²;

P - зовнішній периметр підлоги, м;

w - загальна товщина зовнішньої стіни, включаючи всі шари, м;

λ - теплопровідність ґрунту, приймають згідно з табл. 3.3, Вт/(м·К);

R_{si} — тепловий опір внутрішнього середовища, приймають згідно з табл. 3.4, м²·К/Вт;

R_f — термічний опір підлоги, включаючи всі шари, м²·К/Вт;

R_{se} — тепловий опір зовнішнього середовища, приймають згідно з табл. 3.4, м²·К/Вт.

Таблиця 3.3. Теплопровідність ґрунту

Категорія	Опис	λ , Вт/(м·К)	Теплоємність одиниці об'єму, ρc , Дж/(м ³ ·К)
1	Глина або мул	1,5	$3,0 \cdot 10^6$
2	Пісок або гравій	2,0	$2,0 \cdot 10^6$
3	Скельний або напівскельний	3,5	$2,0 \cdot 10^6$

Примітка. У разі, якщо тип ґрунту невідомий або невизначений, обирають категорію 2

Таблиця 3.4. Тепловий опір навколишнього середовища

Тип середовища й огорожувальної конструкції	Тепловий опір
Внутрішнє, для вертикальних огорожувальних конструкцій	$R_{si} = 0,115 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$
Внутрішнє, для горизонтальних огорожувальних конструкцій (тепловий потік зверху вниз)	$R_{si} = 0,17 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$
Внутрішнє, для горизонтальних огорожувальних конструкцій (тепловий потік знизу вверху)	$R_{si} = 0,10 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$
Усі зовнішні середовища	$R_{se} = 0,043 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$

Стационарний узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до ґрунту H_g , Вт/К, розраховують за формулою:

$$H_g = A \cdot U + P \cdot \Psi_g, \quad (3.12)$$

де A , P - те саме, що у формулі (3.10);

U - те саме, що у формулах (3.8) або (3.9);

Ψ_g - лінійний коефіцієнт теплопередачі вузла сполучення конструкції підлоги на ґрунті із зовнішньою стіною (частини, що відносять до підлоги), Вт/(м·К).

Визначають за результатами розрахунків згідно з ДСТУ ISO 10211-1, ДСТУ ISO 10211-2 або ДСТУ 9191 та ДСТУ ISO 14683.

Примітка 1. Приведений опір теплопередачі підлоги на ґрунті $R_{\Sigma пр,г}$, м²·К/Вт, розраховують через узагальнений коефіцієнт теплопередачі за формулою:

$$R_{\Sigma пр,г} = A/H_g, \quad (3.13)$$

де A - те саме, що у формулі (3.10), м²;

H_g - те саме, що у формулі (3.12), Вт/К.

Опалюваний підвал (цокольний поверх)

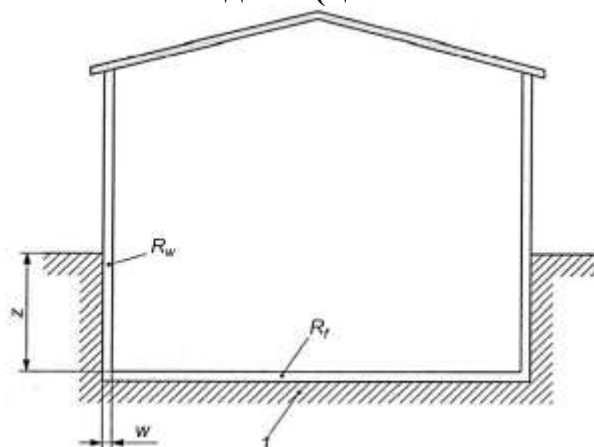


Рис. 3.2. Будівля з опалюваним підвалом (цокольним поверхом)

1 - ґрунт;

R_f - тепловий опір підлоги;

R_w - тепловий опір стін, що контактують із ґрунтом;

w - товщина зовнішніх стін підвалу;

z - висота стін, що контактують із ґрунтом.

Коефіцієнт теплопередачі підлоги на ґрунті у підвалі (цокольному поверсі) U_{bf} , Вт/(м²·К), визначають за формулами:

— якщо $d_t + 0,5z < B'$ (неізольована та посередньо теплоізольована підлога підвалу):

$$U_{bf} = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_t + 0,5z} \ln \left(\frac{\pi B'}{d_t + 0,5z} + 1 \right), \quad (3.14)$$

— якщо $d_t + 0,5z \geq B'$ (добре теплоізольована підлога підвалу):

$$U_{bf} = \frac{\lambda}{0,457B' + d_t + 0,5z}, \quad (3.15)$$

де B' - характерний розмір підлоги, розраховують за формулою (3.10), м;

d_t - еквівалентна товщина підлоги, розраховують за формулою (3.11), м;

λ - теплопровідність ґрунту, приймають згідно з таблицею 3.3, Вт/(м·К);

z - висота стін, що контактують із ґрунтом (стіни, що розміщені нижче планувальної відмітки землі), м.

Коефіцієнт теплопередачі стін, що контактують із ґрунтом, U_{bw} , Вт/(м²·К), розраховують за формулою:

$$U_{bw} = \frac{2\lambda}{\pi z} \left(1 + \frac{0,5d_t}{d_t + z} \right) \ln \left(\frac{z}{d_w} + 1 \right), \quad (3.16)$$

де d_t , λ , z - те саме, що у формулах (3.14) або (3.15);

d_w - еквівалентна сумарна товщина стін, що контактують із ґрунтом, розраховують за формулою:

$$d_w = \lambda (R_{si} + R_w + R_{se}), \quad (3.17)$$

де λ , R_{si} , R_{se} — те саме, що у формулі (3.11);

R_w - сумарний термічний опір стін, що контактують із ґрунтом, включаючи всі шари, визначають згідно з чинним нормативним документом, $m^2 \cdot K/Wt$.

Формула (3.16) містить обидва значення d_w та d_t та є дійсною для випадку $d_w \geq d_t$.

Якщо $d_w < d_t$, тоді d_t у формулі (3.16) замінюють на d_w .

Стационарний узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до ґрунту H_g , Wt/K , розраховують за формулою:

$$H_g = A \cdot U_{bf} + z \cdot P \cdot U_{bw} + P \cdot \Psi_g, \quad (3.18)$$

де A , P - те саме, що у формулі (3.10);

U_{bf} , z - те саме, що у формулах (3.14) або (3.15);

U_{bw} - те саме, що у формулі (3.16);

Ψ_g - лінійний коефіцієнт теплопередачі вузла сполучення стін, що контактують із ґрунтом, та підлогою на ґрунті, $Wt/(m \cdot K)$; визначають за результатами розраховувань згідно з ДСТУ ISO 10211-1, ДСТУ ISO 10211-2 або за даними згідно з чинним нормативним документом та ДСТУ ISO 14683.

Примітка 1. Приведений опір теплопередачі підлоги на ґрунті $R_{\Sigma пр,г}$, $m^2 \cdot K/Wt$, розраховують через узагальнений коефіцієнт теплопередачі за формулою:

$$R_{\Sigma пр,г} = A / (A \cdot U_{bf} + 0,5P \cdot \Psi_g), \quad (3.19)$$

де A - те саме, що у формулі (3.10), m^2 ;

U_{bf} - те саме, що у формулі (3.14) або (3.15), $Wt/(m^2 \cdot K)$;

P - те саме, що у формулі (3.10), m ;

Ψ_g — те саме, що у формулі (3.18), $Wt/(m \cdot K)$.

Примітка 2. Приведений опір теплопередачі стіни, що контактує із ґрунтом $R_{\Sigma пр,в,г}$, $m^2 \cdot K/Wt$, розраховують через узагальнений коефіцієнт теплопередачі за формулою:

$$R_{\Sigma пр,в,г} = z / (z \cdot U_{bw} + 0,5\Psi_g), \quad (3.20)$$

де z — те саме, що у формулі (3.10), m ;

U_{bw} — те саме, що у формулі (3.16), $Wt/(m^2 \cdot K)$;

Ψ_g — те саме, що у формулі (3.18), $Wt/(m \cdot K)$.

Технічне підпілля

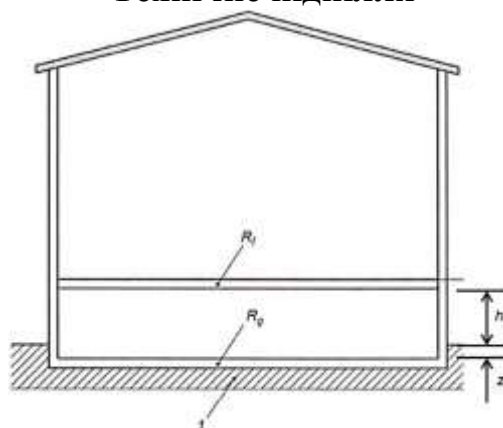


Рис. 3.3. Будівля з технічним підпіллям

1 - ґрунт;

R_f - термічний опір перекриття над технічним підпіллям;

R_g - термічний опір підлоги на ґрунті;

h - висота стін, що контактують із зовнішнім повітрям;

z - висота стін, що контактують із ґрунтом.

Коефіцієнт теплопередачі до ґрунту через систему огорожувальних конструкцій технічного підпілля, яке природно вентилується зовнішнім повітрям, U , Вт/(м²·К), визначають за формулою:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{1}{U_g + U_x} \quad (3.21)$$

де U_f - коефіцієнт теплопередачі перекриття над технічним підпіллям (між внутрішнім середовищем та простором технічного підпілля, розрахований згідно з чинним нормативним документом через приведений опір теплопередачі з урахуванням вузлів примикання перекриття до внутрішніх стін), Вт/(м²·К), що визначають за формулою:

$$U_f = 1 / (1/h_{si} + R_f + 1/h_{se}) + P \cdot \Psi_{пер} \quad (3.22)$$

де h_{si} та h_{se} - відповідно коефіцієнти теплообміну внутрішньої та зовнішньої поверхні перекриття над техпідпіллям, що визначають згідно з чинним нормативним документом, Вт/(м²·К);

R_f - сумарний тепловий опір усіх конструктивних шарів перекриття, м²·К/Вт;

$\Psi_{пер}$ - лінійний коефіцієнт теплопередачі вузла сполучення стін з перекриттям над техпідпіллям, Вт/(м·К); визначають за результатами розраховувань згідно з ДСТУ ISO 10211-1, ДСТУ ISO 10211-2 або за даними згідно з чинним нормативним документом та ДСТУ ISO 14683;

P - те саме, що у формулі (3.10);

U_g - коефіцієнт теплопередачі підлоги на ґрунті, Вт/(м²·К);

U_x - еквівалентний коефіцієнт теплопередачі між простором технічного підпілля та зовнішнім середовищем, обумовлений тепловим потоком через зовнішні огороження (стіни та світлопрозорі огороження) вище поверхні землі та вентиляцією технічного підпілля, Вт/(м²·К).

Примітка. Під час механічної вентиляції простору технічного підпілля або за заданої інтенсивності його вентиляції необхідно виконувати розрахунки відповідно до Наказу Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 11.07.2018 № 169 «Про затвердження Методики визначення енергетичної ефективності будівель», зареєстровано в Міністерстві юстиції України від 16.07.2018 за № 822/32274.

Коефіцієнт теплопередачі підлоги на ґрунті U_g визначають:

— за $z \leq 0,5$ м, використовуючи формули (3.23) та (3.24):

$$d_t = w + \lambda (R_{si} + R_g + R_{se}), \quad (3.23)$$

$$U_g = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_g} \ln \left(\frac{\pi B'}{d_g} + 1 \right), \quad (3.24)$$

де R_g - термічний опір підлоги на ґрунті технічного підпілля, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$;

$w, \lambda, R_{si}, R_{se}$ — те саме, що у формулі (3.11);

B' - те саме, що у формулі (3.10);

— за $z > 0,5$ м за формулою:

$$U_g = U_{bf} + \frac{z \cdot P \cdot U_{bw}}{A}, \quad (3.25)$$

де U_g - те саме, що у формулі (3.21);

U_{bf}, z - те саме, що у формулах (3.14) або (3.15);

де A, P - те саме, що у формулі (3.10);

U_{bw} - те саме, що у формулі (3.16).

Еквівалентний коефіцієнт теплопередачі між простором технічного підпілля та зовнішнім середовищем U_x визначають за формулою:

$$U_x = 2 \cdot \frac{h \cdot U_w}{B'} + 1450 \cdot \frac{\varepsilon \cdot v \cdot f_w}{B'}, \quad (3.26)$$

де h — висота від відмітки поверхні землі до нижньої відмітки перекриття над технічним підпіллям, м;

U_w — коефіцієнт теплопередачі зовнішніх стін технічного підпілля вище рівня поверхні ґрунту, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;

ε — відносна площа вентиляційних отворів по периметру підпільного простору, що є співвідношенням їхньої загальної площі до периметра будівлі, $\text{м}^2/\text{м}$;

v - середня швидкість вітру, $\text{м}/\text{с}$, визначають згідно з таблицею 4 ДСТУ-Н Б В.1.1-27 як середню швидкість вітру за переважним напрямком у січні;

f_w - ступінь вітрозахисту будівлі, що визначають згідно з таблицею 3.5.

Примітка 1. Якщо висота h змінюється по периметру підлоги, то у формулі (3.26) необхідно використовувати середнє значення для всього периметра технічного підпілля.

Примітка 2. За наявності покриття над техпідпіллям, що виходить за межі будівлі, наприклад, на відстань b , м, зі значенням коефіцієнта теплообміну $U_{\text{пок}}$, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, у

формулі (3.26) враховують додаткові тепловитрати додаванням до $h \cdot U_w$ відповідне значення у вигляді: $b \cdot U_{\text{пок}}$.

Таблиця 3.5. Значення коефіцієнтів вітрозахисту будівлі

Характеристика місцевості згідно з ДСТУ-Н Б В.2.6-191	Приклад	Коефіцієнт вітрозахисту будівлі f_w
Відкрита (А)	Відкрите узбережжя моря, озера, водосховища, поле	0,1
Середньозахищена (В)	Територія, лісовий масив тощо з рівномірно розташованими перешкодами заввишки понад 10 м	0,05
Закрита (С)	Місцевість з розташованими будівлями заввишки понад 25 м	0,02

Стаціонарний узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до ґрунту H_g , Вт/К, розраховують за формулою (3.12).

Примітка. У формулі (3.12) приймають лінійний коефіцієнт теплопередачі Ψ_g , Вт/(м·К), вузла сполучення конструкції підлоги на ґрунті із зовнішньою стіною, що межує з ґрунтом, який визначають за результатами розрахунків згідно з ДСТУ ISO 10211-1, ДСТУ ISO 10211-2 або за даними згідно з ДСТУ 9191 та ДСТУ ISO 14683.

Неопалюваний підвал

Коефіцієнт теплопередачі до ґрунту через систему огорожувальних конструкцій неопалюваного підвалу, що вентилується зовнішнім повітрям, U , Вт/(м²·К), визначають за формулою:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{A}{(A \cdot U_{bf}) + (z \cdot P \cdot U_{bw}) + (h \cdot P \cdot U_w) + (0,33 \cdot n \cdot V_{\text{під}})} \quad (3.27)$$

де A — площа перекриття над неопалюваним підвалом за внутрішнім обмірюванням, м²;

U_f — коефіцієнт теплопередачі перекриття над неопалюваним підвалом (між внутрішнім середовищем та простором неопалюваного підвалу, розрахований через приведений опір теплопередачі перекриття відповідно до чинного нормативного документа, Вт/(м²·К);

P — периметр перекриття над неопалюваним підвалом по стику перекриття із зовнішніми стінами, м;

z — те саме, що у формулі (3.10), м;

U_{bw} — те саме, що у формулі (3.16), Вт/(м²·К);

h — висота від відмітки поверхні землі до нижньої відмітки перекриття над неопалюваним підвалом, м;

U_w — коефіцієнт теплопередачі зовнішніх стін неопалюваного підвалу вище рівня поверхні ґрунту, Вт/(м²·К);

n — кратність повітрообміну в неопалюваному підвалі, за відсутності точних даних приймають 0,3 год⁻¹;

$V_{\text{під}}$ — об'єм повітряного простору неопалюваного підвалу, що приймають згідно з проектними даними, м³.

Стаціонарний узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією неопалюваного підвалу до ґрунту H_g , Вт/К, розраховують за формулою (3.12).

Примітка. Лінійний коефіцієнт теплопередачі у формулі (3.12) не враховують, якщо його вже враховано під час визначення U_f .

3.2. Теплопередача вентиляцією

Сумарна теплопередача вентиляцією через зону будівлі

Сумарну теплопередачу вентиляцією Q_{ve} , Вт-год, розраховують для кожного місяця та для кожної z-ої зони за формулами:

- для опалення:

$$Q_{ve,H} = H_{ve,adj,H}(\theta_{int,set,H} - \theta_e)t; \quad (3.28)$$

- для охолодження:

$$Q_{ve,C} = H_{ve,adj,C}(\theta_{int,set,C} - \theta_e)t + Q_{ve,extra}; \quad (3.29)$$

де $H_{ve,adj,H}$, $H_{ve,adj,C}$ - загальний коефіцієнт теплопередачі вентиляцією для опалення та для охолодження відповідно, Вт/К;

$Q_{ve,extra}$ - теплопередача вентиляцією за рахунок нічного охолодження, Вт-год,

$Q_{int,set,H}$, $Q_{int,set,C}$ - задана температура зони будівлі для опалення та для охолодження відповідно, °С;

θ_e - середньомісячна температура зовнішнього середовища, °С, визначена згідно з додатком А [5];

t - тривалість місяця, для якого проводять розрахунок, год, визначена згідно з додатком А [5].

Узагальнені коефіцієнти теплопередачі вентиляцією

Значення загального коефіцієнта теплопередачі вентиляцією $H_{ve,adj}$, Вт/К, розраховують за формулами:

— для опалення:

$$H_{ve,adj,H} = \rho_a c_a (q_{ve,mn,H} b_{ve,H} + q_{inf,mn,H}). \quad (3.30)$$

— для охолодження:

$$H_{ve,adj,C} = \rho_a c_a (q_{ve,mn,C} b_{ve,C} + q_{inf,mn,C}), \quad (3.31)$$

де $\rho_a c_a$ — теплоємність одиниці об'єму повітря, дорівнює 0,336 Вт год/(м К);

$q_{ve,mn,H}$, $q_{ve,mn,C}$ - усереднена за часом витрата повітря для вентиляції для опалення та для охолодження відповідно, м³/год;

$q_{inf,mn,H}$, $q_{inf,mn,C}$ - усереднена за часом витрата повітря для інфільтрації для опалення та для охолодження відповідно, м³/год;

$b_{ve,H}$, $b_{ve,C}$ - температурний поправковий коефіцієнт, що коригує коефіцієнт теплопередачі вентиляцією замість різниці температур у випадках, коли температура припливного повітря не дорівнює температурі зовнішнього середовища (а саме за наявності утилізування теплоти)

Усереднена за часом витрата повітря для вентиляції

Усереднену за часом витрату повітря $q_{ve,mn}$, м³/год, розраховують для кожної зони та для кожного періоду:

— для опалення:

$$q_{ve,mn,H} = q_{ve,H} t_{ve,H} / 168; \quad (3.32)$$

— для охолодження:

$$q_{ve,mn,C} = q_{ve,C} t_{ve,C} / 168, \quad (3.33)$$

де $q_{ve,H}$, $q_{ve,C}$ — нормативна витрата вентиляційного повітря для опалення та для охолодження відповідно, м³/год;

$t_{ve,H}$, $t_{ve,C}$ — період використання нормативної витрати вентиляційного повітря для опалення та для охолодження відповідно, год/тиждень. Визначають згідно з проектними даними. За відсутності точних даних та для цілей енергетичної сертифікації приймають за графіком опалення/охолодження згідно з таблицею 16 [5].

Нормативна витрата повітря

Нормативну витрату повітря для зони приймають згідно з проектними даними. За відсутності точних даних та для цілей енергетичної сертифікації нормативну витрату повітря для обох режимів (опалення та охолодження) потрібно розраховувати згідно з додатком X ДБН В.2.5-67 [3], використовуючи загальну мінімальну витрату зовнішнього повітря Q_{tot} що визначають для оптимальних умов мікроклімату.

Примітка. У випадку природної вентиляції в зоні, якщо $q_{ve} < n_{inf} V_{ve} v_v$, то нормативну витрату повітря потрібно приймати рівною витраті для інфільтрації — $q_{ve} = n_{inf} V_{ve} v_v$, для відповідного періоду (опалення чи охолодження).

Усереднена за часом витрата повітря за рахунок інфільтрації

Усереднену за часом витрату повітря за рахунок інфільтрації, м³/год, розраховують для кожної зони та для кожного періоду:

— для опалення:

$$q_{inf,mn,H} = n_{inf,H} V_{ve} v_v t_{inf,H} / 168; \quad (3.34)$$

— для охолодження:

$$q_{inf,mn,C} = n_{inf,C} V_{ve} v_v t_{inf,C} / 168, \quad (3.35)$$

де $n_{inf,H}$, $n_{inf,C}$ — кратність повітрообміну за рахунок інфільтрації, год⁻¹;

V_{ve} - об'єм зони, призначений для вентиляції. Для однозонного розраховування та якщо весь об'єм будівлі призначений для вентиляції, то дорівнює кондиціонованому об'єму будівлі;

v_v - коефіцієнт зниження об'єму повітря в будівлі, яким враховують наявність внутрішніх огорожувальних конструкцій, за відсутності точних даних приймають 0,85;

$t_{inf,H}$, $t_{inf,C}$ - період використання витрати повітря для інфільтрації для періодів опалення та для охолодження відповідно, год. Для різних типів вентиляції потрібно приймати такі значення:

(168 - t_{ve}) - за природної вентиляції;

168 - за механічної витяжної вентиляції та механічної припливно-витяжної збалансованої вентиляції;

(168 - t_{ve}) - за механічної вентиляції з підпором повітря,

де t_{ve} - визначений згідно з 9.2.1 [5] для відповідного періоду (опалення чи охолодження).

3.3. Внутрішні теплонадходження

Внутрішні теплонадходження містять:

- метаболічну теплоту від людей та розсіяну теплоту від обладнання;
- теплоту, розсіяну від освітлювальних приладів;
- теплоту, розсіяну від або поглинуту системами гарячої і водопровідної води та каналізації;
- теплоту, розсіяну від або поглинуту системами опалення, охолодження та вентиляції;
- теплоту від або до процесів та продукції.

Методика цього стандарту враховує такі теплонадходження:

- внутрішній тепловий потік від людей $\Phi_{int,Oc}$
- внутрішній тепловий потік від освітлення $\Phi_{int,L}$;
- внутрішній тепловий потік від обладнання $\Phi_{int,A}$

Теплонадходження від внутрішніх теплових джерел у зоні будівлі, що розглядають, Q_{int} , Вт год, розраховують для кожного місяця за формулою:

$$Q_{int} = \frac{N}{168} \cdot \frac{N_m - N_{m,нос}}{N_m} \left(\sum_k \Phi_{int,mn,k} A_{f,k} \right) t + Q_{W,dis,rbl,m} \quad (3.36)$$

де N — графік використання, залежно від призначення будівлі, може бути прийнятий згідно з таблицею 3.6, год/тиждень;

N_m — кількість днів у відповідному місяці;

$N_{m,нос}$ — кількість днів невикористання, залежно від призначення будівлі у відповідному місяці, може бути прийнято згідно з таблицею 3.7;

$\Phi_{int,mn,k}$ — усереднена за часом щільність теплового потоку від k -го внутрішнього джерела залежно від призначення будівлі, що може бути прийнята згідно з таблицею 6 як сума метаболічної теплоти, освітлення та обладнання, Вт/м²;

$A_{f,k}$ — кондиціонована площа k -ї зони будівлі, м²;

t — тривалість місяця, для якого проводять розраховування, год, визначена згідно з додатком А [5];

$Q_{W,dis,rbl,m}$ - утилізаційні регулярні тепловтрати, Вт год, у підсистемі розподілення ГВП з трубопроводів, що містяться в опалюваних приміщеннях за відповідний місяць, визначають для кожного місяця.

Згідно з методикою внутрішні теплонадходження від некондиціонованого об'єму/приміщення оранжерейного типу, суміжного до зони будівлі, що розглядають, не беруть до уваги, оскільки вони вже враховані у значенні поправкового коефіцієнта b_U через температуру θ_U .

Типові дані щодо внутрішніх теплонадходжень наведені в таблиці 6.1. Тривалість періоду використання розраховують відповідно до графіка використання (год/тиждень), за винятком святкових днів, приймаючи внутрішні теплонадходження нульовими під час свят. Типовий графік використання наведено в таблиці 6.1, кількість святкових днів (період невикористання) протягом кожного місяця наведено в таблиці 3.7. Для детальних розраховувань необхідно приймати фактичний/проектний графік використання або використовувати дані згідно з ДСТУ ЕМ 15232-1.

Таблиця 3.6. Теплонадходження від людей, освітлення та обладнання, значення за замовчуванням

Призначення будівлі	Графік використання N , год/тиждень	Щільність теплового потоку, Вт/м ² , від		
		метаболическої теплоти, $\Phi_{int, Oc}$	освітлення, $\Phi_{int, L}$	обладнання, $\Phi_{int, A}$
Одноквартирні будинки	112	1,2	2,0	2,0
Багатоквартирні будинки, гуртожитки	112	1,8	2,0	2,0
Громадські будівлі адміністративного призначення, офіси	50	4,0	7,0	6,0
Будівлі навчальних закладів	50	7,0	7,0	6,0
Будівлі дитячих дошкільних закладів	50	7,0	7,0	3,0
Будівлі закладів охорони здоров'я	168	2,7	7,0	6,0
Готелі	168	4,0	8,0	2,0
Ресторани	84	5,0	8,0	4,0
Спортивні заклади	84	5,0	8,0	1,0
Будівлі закладів гуртової та роздрібною торгівлі	84	7,0	12,0	2,0
Будівлі культурно-розважальних закладів та дозвільних установ	56	5,0	8,0	2,0
Інші види будівель	60	3,0	7,0	2,0

Таблиця 3.7. Кількість святкових днів (період невикористання) $N_{m, pos}$, діб

Призначення будівлі	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
Одноквартирні будинки												
Багатоквартирні будинки, гуртожитки												
Громадські будівлі адміністративного призначення, офіси	2		1	1	3	2		1		1		1
Будівлі навчальних закладів	2		1	1	3	2	22	22		1		1
Будівлі дитячих дошкільних закладів	2		1	1	3	2	22	12		1		1
Будівлі закладів охорони здоров'я												
Готелі												
Ресторани												
Спортивні заклади	2											
Будівлі закладів гуртової та роздрібною торгівлі	1											
Інші види будівель	2		1	1	3	2		1		1		1

3.4. Сонячні теплонадходження

Теплонадходження від сонця до зони будівлі, що розглядають, для кожного місяця Q_{sol} , Вт год, розраховують за формулою:

$$Q_{sol} = \left(\sum_k \Phi_{sol,mn,k} \right) t, \quad (3.37)$$

де Φ_{sol} - усереднений за часом тепловий потік від к-го джерела сонячного випромінювання, Вт;

t - тривалість місяця, що розглядають, год, приймають згідно з додатком А ДСТУ 9190.

Сонячні теплонадходження через к-тий елемент будівлі $\Phi_{sol,k}$, Вт, визначають за формулою:

$$\Phi_{sol,k} = F_{sh,ob,k} A_{sol,k} I_{sol,k} - F_{r,k} \cdot \Phi_{r,k}, \quad (3.38)$$

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

$A_{sol,k}$ – еквівалентна площа інсоляції к-ої поверхні з даною орієнтацією та кутом нахилу у визначеній зоні чи об'ємі, m^2 , визначена для скління, непрозорих і особливих елементів;

$I_{sol,k}$ – сонячна радіація, значення середньомісячної дози сонячної радіації, осередненої для однієї години для сприймальної площі к-ої поверхні з даною орієнтацією та кутом нахилу за середніх умов хмарності, $Вт/м^2$;

$F_{r,k}$ – 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 атмосферу від к-го елемента будівлі, Вт.

Еквівалентну площу інсоляції застакленого елемента оболонки (наприклад, вікна) A_{sol} , m^2 , розраховують за формулою:

$$A_{sol} = F_{sh,gl} g_{gl} (1 - F_F) A_{w,p}, \quad (3.39)$$

де $F_{sh,gl}$ - знижувальний коефіцієнт затінення для рухомих засобів. У разі відсутності засобів рухомого затінення $F_{sh,gl} = 1$;

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

F_F - частка площі обрамлення, відношення площі проекції обрамлення до загальної площі проекції застакленого елемента

$A_{w,p}$ - загальна площа проекції застакленого елемента (наприклад, площа вікна, вітражу або світлопрозорого фасаду тощо), m^2 .

Усереднений за часом загальний коефіцієнт пропускання сонячної енергії - це параметр, значення якого дещо нижче за g_n , то для його обчислення використовують поправковий коефіцієнт F_w як наведено у формулі:

$$g_{gl} = F_w \cdot g_n, \quad (3.40)$$

де F_w - поправковий коефіцієнт для нерозсіювального скління, приймають $F_w = 0,90$.

Частку площі непрозорого обрамлення від загальної площі світлопрозорого огороження (вікна) необхідно визначати згідно з проектними даними. За відсутності точних даних допустимо, для спрощення, приймати значення частки обрамлення на рівні 0,3 для віконних та дверних блоків та 0,2 для світлопрозорих фасадів будівлі.

Таблиця 3.8. Типові значення коефіцієнта загального пропускання сонячної енергії за нормального кута падіння для поширених типів скління

Тип скління	g_n
Одинарне скління	0,85
Подвійне скління	0,75
Подвійне скління із селективним низькоемісійним покриттям	0,67
Потрійне скління	0,70
Потрійне скління з одним селективним низькоемісійним покриттям	0,58
Потрійне скління з двома селективними низькоемісійними покриттями	0,50
Подвійне скління з органічного скла для zenітних ліхтарів	0,90
Потрійне скління з органічного скла для zenітних ліхтарів	0,83

Еквівалентну площу інсоляції непрозорої частини оболонки будівлі A_{sol} , m^2 , розраховують за формулою:

$$A_{sol} = \alpha_{s,c} \cdot R_{se} \cdot U_c \cdot A_c, \quad (3.41)$$

де $\alpha_{s,c}$ - безрозмірний коефіцієнт поглинання сонячної радіації непрозорою частиною, приймають згідно з даними таблиці 3.9;

R_{se} - тепловий зовнішній поверхневий опір непрозорої частини, $m^2K/Вт$, приймають $0,043 m^2 K/Вт$;

U_c - коефіцієнт теплопередачі непрозорої частини, $Вт/(m^2 K)$; для фасадної теплоізоляції з вентиляльованим повітряним прошарком, вентиляльованих покриттів та горіщних перекриттів значення U_c необхідно помножити на коефіцієнт 0,04;

A_c - площа непрозорої частини, m^2 .

Таблиця 3.9. Коефіцієнт поглинання сонячної радіації матеріалом зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції

Матеріал зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції	Коефіцієнт поглинання сонячної радіації, $\alpha_{s,c}$	Коефіцієнт теплового випромінювання зовнішньою поверхнею, ϵ
Алюміній	0,1	0,06
Азбестоцементний лист	0,65	0,96
Асфальтобетон	0,9	0,93
Бетон	0,7	0,62
Дерево нефарбоване	0,6	0,8
Захисний шар рулонної покрівлі зі світлого гравію	0,65	0,95
Цегла керамічна	0,7	0,93
Цегла силікатна	0,6	0,9
Облицювання природним каменем білим	0,45	0,42
Пофарбування силікатне темно-сіре	0,7	0,81
Пофарбування вапняне біле	0,3	0,90
Плитка облицювальна керамічна	0,8	0,93

Плитка облицювальна скляна	0,6	0,94
Плитка облицювальна біла або палева	0,45	0,93
Руберойд з піщаною засипкою	0,9	0,9
Сніговий покрив	0,2	0,89
Сталь листовая, пофарбована білою фарбою	0,45	0,9
Сталь листовая, пофарбована темно-червоною фарбою	0,8	0,9
Сталь листовая, пофарбована зеленою фарбою	0,6	0,9
Сталь покрівельна оцинкована	0,65	0,28
Скло облицювальне	0,7	0,94
Штукатурка вапняна темно-сіра або теракотова	0,7	0,93
Штукатурка цементна світло-блакитна	0,3	0,93
Штукатурка цементна темно-зелена	0,6	0,93
Штукатурка цементна кремова	0,4	0,93

Знижувальний коефіцієнт зовнішнього затінення $F_{sh,ob}$, який перебуває в межах від 0 до 1, зображає зниження кількості падаючого сонячного випромінювання через постійне затінення поверхні, яку розглядають, спричинене:

- іншими будівлями;
- топографією (пагорбами, деревами тощо);
- звисами, іншими елементами самої будівлі;
- зовнішніми частинами стіни, куди встановлений застклений елемент.

За відсутності фактичних даних знижувальний коефіцієнт затінення $F_{sh,ob}$ необхідно розраховувати за формулою:

$$F_{sh} = F_{hor} F_{ov} F_{fin} \quad (3.42)$$

де F_{hor} — частковий поправковий коефіцієнт затінення горизонту визначають згідно з даними таблиці 12 ДСТУ 9190;

F_{ov} - частковий поправковий коефіцієнт затінення для звисів визначають згідно з даними таблиці 13 ДСТУ 9190;

F_{fin} - частковий поправковий коефіцієнт затінення для ребер визначають згідно з даними таблиць 14-1 та 14-2 ДСТУ 9190. Якщо ребра містяться з двох боків від вікна, то відповідні значення з таблиць перемножують.

Додатковий тепловий потік за рахунок теплового випромінювання в атмосферу для відповідного елемента оболонки будівлі Φ_r Вт, визначають за формулою:

$$\Phi_r = R_{se} \cdot U_c \cdot A_c \cdot h_r \cdot \Delta\theta_{er} \quad (3.43)$$

де R_{se} - тепловий зовнішній поверхневий опір непрозорої частини, $m^2 K/Wt$, приймають 0,043 m^2K/Wt ;

U_c - коефіцієнт теплопередачі непрозорої частини, $Wt/(m^2 K)$; для фасадної теплоізоляції з вентиляльованим повітряним прошарком, вентиляльованих покриттів та горищних перекриттів значення U_c необхідно помножити на коефіцієнт 0,04;

A_c - площа проєкції елемента, m^2 ;

h_r - коефіцієнт теплопередачі випромінюванням зовнішньої поверхні, $Wt/(m^2K)$;

$\Delta\theta_{er}$ - середня різниця між температурою зовнішнього повітря та уявною температурою атмосфери, $^{\circ}C$, для помірних широт приймають $\Delta\theta_{er} = 11 K$.

За першого наближення h_r приймають рівним 5 ϵ , $Wt/(m^2K)$, що відповідає середній температурі 10 $^{\circ}C$.

3.5. Коефіцієнт використання надходжень

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, як наведено у формулах:

$$\begin{aligned}
 \text{якщо } \gamma_H > 0 \text{ та } \gamma_H \neq 1: & \quad \eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{\alpha_H}}{1 - \gamma_H^{\alpha_H + 1}}, \\
 \text{якщо } \gamma_H = 1: & \quad \eta_{H,gn} = \frac{\alpha_H}{\alpha_H + 1}, \\
 \text{якщо } \gamma_H < 0 \text{ та } Q_{H,gn} > 0: & \quad h_{H,gn} = 1/\gamma_H, \\
 \text{якщо } \gamma_H \leq 0 \text{ та } Q_{H,gn} \leq 0: & \quad h_{H,gn} = 1, \\
 \text{за:} & \quad \gamma_H = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}},
 \end{aligned} \tag{3.44}$$

де (для кожного місяця та для кожної зони будівлі):

γ_H - безрозмірне співвідношення надходжень і втрат теплоти для режиму опалення;

$Q_{H,ht}$ - сумарна теплопередача для режиму опалення, Вт год, п. 3.6;

$Q_{H,gn}$ - сумарні теплонадходження для режиму опалення, Вт год, п. 3.6;

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

$$\alpha_H = \alpha_{H,0} + \frac{\tau}{\tau_{H,0}}, \tag{3.45}$$

де $\alpha_{H,0}$ - довідковий безрозмірний числовий параметр, що приймають рівним 1,0;

τ - часова константа зони будівлі, год;

$\tau_{H,0}$ - довідкова часова константа, що приймають рівною 15 год.

Безрозмірний коефіцієнт використання втрат для охолодження $\eta_{C,ls}$ є функцією співвідношення надходжень і втрат теплоти для охолодження γ_C та числового параметра α_C , який залежить від інерційності будівлі:

$$\begin{aligned}
 \text{якщо } \gamma_C > 0, \gamma_C \leq 1 \text{ та } Q_{C,ht} > 0: & \quad \eta_{C,ls} = \frac{1 - \gamma_C^{-\alpha_C}}{1 - \gamma_C^{-(\alpha_C + 1)}}, \\
 \text{якщо } \gamma_C > 0, \gamma_C \leq 1 \text{ та } Q_{C,ht} \leq 0: & \quad \eta_{C,ls} = 1, \\
 \text{якщо } \gamma_C = 1: & \quad \eta_{C,ls} = \frac{\alpha_C}{\alpha_C + 1}, \\
 \text{якщо } \gamma_C < 0: & \quad \eta_{C,ls} = 1, \\
 \text{за} & \quad \gamma_C = \frac{Q_{C,gn}}{Q_{C,ht}},
 \end{aligned} \tag{3.46}$$

де (для кожного місяця та для кожної зони будівлі):

γ_c - безрозмірне співвідношення надходжень і втрат теплоти для режиму охолодження;

$Q_{C,ht}$ - сумарна теплопередача трансмісією та вентиляцією для режиму охолодження, Вт год, визначена згідно з , п. 3.6;

$Q_{C,gn}$ - сумарні теплонадходження для режиму охолодження, Вт год, визначені згідно з , п. 3.6;

a_c - безрозмірний числовий параметр, що залежить від часової константи, τ_c , визначений за формулою:

$$a_c = a_{C,0} + \frac{\tau}{\tau_{C,0}}, \quad (3.47)$$

де $a_{C,0}$ - довідковий безрозмірний числовий параметр, що приймають рівним 1,0;

τ - часова константа зони будівлі, год;

$\tau_{C,0}$ - довідкова часова константа, що приймають рівною 15 год.

Часова константа будівлі

Часова константа зони будівлі τ , год, характеризує внутрішню теплову інерцію кондиціонованої зони. Її розраховують за формулами:

для опалення:

$$\tau_H = \frac{C_m}{H_{tr,adj,H} + H_{ve,adj,H}}, \quad (3.48)$$

для охолодження:

$$\tau_C = \frac{C_m}{H_{tr,adj,C} + H_{ve,adj,C} + H_{ve,extra,adj}}, \quad (3.49)$$

де C_m - внутрішня теплоємність будівлі або зони будівлі, Вт*год/К;

$H_{tr,adj,H}$, $H_{tr,adj,C}$ - значення загального коефіцієнта теплопередачі трансмісією, Вт/К;

$H_{ve,adj,H}$, $H_{ve,adj,C}$ - значення загального коефіцієнта теплопередачі вентиляцією, Вт/К;

$H_{ve,extra,adj}$ - репрезентативне значення загального коефіцієнта теплопередачі за рахунок нічного охолодження, Вт/К. Прийmemo рівним 0.

Внутрішню теплоємність будівлі або зони будівлі, C_m , Вт*год/К, розраховують за формулою:

$$C_m = C \cdot A_f \quad (3.50)$$

де C - внутрішня теплоємність будівлі або зони будівлі на одиницю площі, Вт*год/(м² К), приймають згідно з дод. 3;

A_f - кондиціонована площа будівлі або зони будівлі, м².

3.6. Сумарна теплопередача та теплові надходження

Для кожної зони будівлі та для кожного місяця сумарну теплопередачу, Q_{ht} , Вт год, ($Q_{H,ht}$ - для режиму опалення, $Q_{C,ht}$ - для режиму охолодження) визначають за формулою:

$$Q_{ht} = Q_{tr} + Q_{ve},$$

де Q_{tr} — сумарна теплопередача трансмісією, Вт год, визначена згідно з п. 3.1;

Q_{ve} — сумарна теплопередача вентиляцією, Вт год, визначена згідно з п. 3.2.

Сумарні теплові надходження, Q_{gn} , Вт год, ($Q_{H,gn}$ - для режиму опалення, $Q_{C,gn}$ - для режиму охолодження) для кожної зони будівлі для кожного місяця визначають за формулою

$$Q_{gn} = Q_{int} + Q_{sol},$$

де Q_{int} - сума внутрішніх теплонадходжень протягом кожного місяця, Вт год, визначена згідно з п. 3.3;

Q_{sol} - сума сонячних теплонадходжень протягом кожного місяця, Вт год, визначена згідно з п. 3.4.

3.7. Енергопотреба для опалення

Для кожної зони будівлі та для кожного місяця енергопотребу для опалення, $Q_{H,nd}$, Вт год, за умови постійного опалення, розраховують за формулою:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,nd,cont} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{H,gn} - Q_{ve,pre-heat}$$

де $Q_{H,nd,cont}$ - енергопотреба для постійного опалення будівлі, Вт год, має бути більше чи дорівнювати 0;

$Q_{H,ht}$ - сумарна теплопередача в режимі опалення, Вт год, визначена згідно з п. 3.6;

$Q_{H,gn}$ - сумарні теплонадходження в режимі опалення, Вт год, визначені згідно з п. 3.6;

$\eta_{H,gn}$ - безрозмірний коефіцієнт використання надходжень, визначений згідно з п. 3.5;

$Q_{ve,pre-heat}$ - енергопотреба для центрального попереднього підігрівання вентиляційного повітря, Вт год.

3.8. Енергопотреба для охолодження

Для кожної зони будівлі та для кожного місяця енергопотребу для охолодження $Q_{C,nd}$, Вт год, за умови постійного охолодження, розраховують за формулою:

$$Q_{C,nd} = Q_{C,nd,cont} = Q_{C,gn} - \eta_{C,ls} (Q_{C,ht} + Q_{ve,pre-cool}),$$

де $Q_{C,nd,cont}$ - енергопотреба в постійному охолодженні будівлі, Вт год, має бути більше чи дорівнювати 0;

$Q_{C,ht}$ - сумарна теплопередача в режимі охолодження, Вт год, визначена згідно з п. 3.6

$Q_{C,gn}$ - сумарні теплонадходження в режимі охолодження, Вт год, визначені згідно з п. 3.6;

$\eta_{C,ls}$ - безрозмірний коефіцієнт використання втрат, визначений згідно з п. 3.5;

$Q_{ve,pre-cool}$ - енергопотреба для центрального попереднього охолодження вентиляційного повітря, Вт год, визначена згідно з 9.4.

Практична робота № 4 Споживання теплової енергії на опалення

1. Питоме енергоспоживання при опаленні ($EP_{H,use}$), кВт·год/м² [кВт·год/м³] розраховується за формулами:
для житлових будівель

$$EP_{H,use} = Q_{H,use} / A_f, \quad (4.1)$$

для громадських будівель

$$EP_{H,use} = Q_{H,use} / V, \quad (4.2)$$

де $Q_{H,use}$ - річне енергоспоживання будівлі на опалення, кВт·год, що розраховується за формулою (4.3);

A_f , V - кондиціонована (опалювана) площа для житлової будівлі, м², та кондиціонований (опалювальний) об'єм для громадської будівлі (або її частини), м³, що визначаються в порядку, встановленому у практичній роботі № 1.

Напрямок розрахунку річного енергоспоживання визначається від енергопотреби ($Q_{H,nd,i}$), кВт·год, до джерела енергії ($Q_{H,gen,out,i}$), кВт·год, та є протилежним потоку енергії в системі теплозабезпечення. Розрахунок структурується відповідно до компонентів системи теплозабезпечення (тепловіддача, теплорозподілення, акумулювання теплоти, генерування теплоти).

2. Для кожної функціональної складової системи визначається необхідна на ввіді теплота шляхом додавання розрахованих тепловтрат в ній та теплоти на виході з неї.

3. Річне енергоспоживання при опаленні ($Q_{H,use}$), кВт·год, розраховується за формулою:

$$Q_{H,use} = \sum Q_{H,gen,out,t} + \sum Q_{H,gen,ls,i}, \quad (4.3)$$

де $Q_{H,gen,out,t}$ - енергія виходу з підсистеми виробництва/генерування та акумулювання теплоти упродовж і-го місяця, кВт·год, що розраховується за формулою (4.4);

$Q_{H,gen,ls,i}$ - загальні тепловтрати підсистем виробництва/генерування та акумулювання теплоти упродовж і-го місяця, кВт·год, що розраховуються за формулою (4.5).

4. Період опалення (години) визначається відповідно до ДСТУ-Н Б В.1.1-27.

5. Загальна енергія виходу з підсистеми виробництва/генерування та акумулювання теплоти ($Q_{H,gen,out,i}$), кВт·год, розраховується за формулою:

$$Q_{H,gen,out,i} = Q_{H,dis,in,i}, \quad (4.4)$$

де $Q_{H,dis,in,i}$ - енергія входу в підсистему розподілення упродовж і-го місяця, кВт·год, що розраховується за формулою (4.6).

6. Загальні тепловтрати підсистем виробництва/генерування та акумулювання теплоти упродовж і-го місяця ($Q_{H,gen,ls,i}$), кВт·год, розраховуються за формулою:

$$Q_{H,gen,ls,i} = Q_{H,gen,out,i} \times (1 - \eta_{H,gen}) / \eta_{H,gen}, \quad (4.5)$$

де $\eta_{H,gen}$ - показники ефективності підсистем виробництва/генерування та акумулювання теплоти, що приймаються згідно з даними значень сезонної ефективності виробництва/генерування теплоти, наведених у додатку 4.

8. Енергія входу в підсистему розподілення упродовж і-го місяця ($Q_{H,dis,in,i}$), кВт·год, розраховується за формулою:

$$Q_{H,dis,in,i} = Q_{H,dis,ls,nrvd} + Q_{H,dis,out,i}, \quad (4.6)$$

де $Q_{H,dis,ls,nrvd}$ - неутилізовані тепловтрати підсистеми розподілення упродовж i -го місяця, кВт·год, розраховується за формулою (4.7);

$Q_{H,dis,out,i}$ - енергія виходу з підсистеми розподілення упродовж i -го місяця, кВт·год, розраховується за формулою (4.10).

9. Неутилізовані тепловтрати підсистеми розподілення упродовж i -го місяця, $Q_{H,dis,ls,nrvd,i}$, кВт·год, розраховується за формулою:

$$Q_{H,dis,ls,nrvd,i} = Q_{H,dis,ls,nrbl,i} + (Q_{H,dis,ls,rbl,i} - Q_{H,dis,ls,rvd,i}). \quad (4.7)$$

де $Q_{H,dis,ls,nrbl,i}$ - неутилізаційні тепловтрати, кВт·год, розраховується за формулою (4.8);

$Q_{H,dis,ls,rbl,i}$ - утилізаційні тепловтрати, кВт·год, розраховується за формулою (4.8);

$Q_{H,dis,ls,rvd,i}$ - утилізовані тепловтрати, кВт·год, розраховується за формулою (4.9);

Неутилізаційними вважають тепловтрати підсистем розподілення, що знаходяться в усіх неопалювальних об'ємах. Утилізаційними вважають тепловтрати підсистем розподілення в усіх опалюваних об'ємах.

10. Тепловтрати підсистем розподілення впродовж i -го місяця, кВт·год, розраховують за формулою:

$$Q_{H,dis,ls,i} = \sum \Psi_{L,j} \times (\Theta_{m,i} - \Theta_{i,j}) \times L_j \times t_{op,an,i} \quad (4.8)$$

де $\Psi_{L,j}$ - лінійний коефіцієнт теплопередачі j -го трубопроводу, кВт/(м·К), визначається відповідно до типових значень лінійного коефіцієнта теплопередачі Ψ , Вт/(м·К), для нових та існуючих будівель, наведених у додатку 5;

$\Theta_{m,i}$ - середня температура теплоносія в зоні упродовж i -го місяця, °С; визначають за температурним графіком регулювання теплоносія за погодними умовами при середньомісячній температурі зовнішнього середовища відповідного місяця, що визначається згідно з таблицею А.2 ДСТУ 9190;

$\Theta_{i,j}$ - температура оточуючого середовища упродовж i -го місяця, °С;

L_j - довжина j -го трубопроводу, м;

$t_{op,an,i}$ - години опалення упродовж i -го місяця, години;

j - індекс, що позначає трубопроводи з однаковими граничними умовами.

11. Утилізовані тепловтрати, кВт·год, розраховується за формулою:

$$Q_{H,dis,ls,rvd,i} = Q_{H,dis,ls,rbl,i} \times 0,9 \times \eta_{H,gn,i}, \quad (4.9)$$

де $\eta_{H,gn,i}$ - безрозмірний коефіцієнт використання надходжень для опалення впродовж i -го місяця розрахований згідно з п. 3.5.

12. Енергія виходу з підсистеми розподілення упродовж i -го місяця, ($Q_{H,dis,out,i}$), кВт·год, розраховується за формулою:

$$Q_{H,dis,out,i} = Q_{H,em,in,i}, \quad (4.10)$$

де $Q_{H,em,in,i}$ - енергія входу, необхідна для підсистеми тепловіддачі впродовж i -го місяця кВт·год, розраховується за формулою (4.11).

13. Енергія входу, необхідна для підсистеми тепловіддачі ($Q_{H,em,in,i}$), кВт·год, розраховується за формулою:

$$Q_{H,em,in,i} = Q_{H,em,out,i} + (1 - 0,8\eta_{H,gn,i}) Q_{H,em,ls,i} \quad (4.11)$$

де $Q_{H,em,out,i}$ - енергія виходу підсистеми тепловіддачі за i -й місяць, кВт·год, розраховується за формулою (4.12);

$Q_{H,em,ls,i}$ - загальні тепловтрати підсистем тепловіддачі/виділення впродовж i -го місяця, які вважаються 100 % придатними для утилізації, кВт·год, розраховуються за формулою (4.13);

$\eta_{H,gn,i}$ - безрозмірний коефіцієнт використання надходжень для опалення впродовж i -го місяця, розраховується згідно з п 3.5.

14. Енергія виходу підсистеми тепловіддачі за i -й місяць дорівнює енергопотребі, розраховується за формулою

$$Q_{H,em,out} = Q_{H,nd,i}, \quad (4.12)$$

де $Q_{H,nd,i}$ - теплота, яку необхідно подати до кондиціонованого об'єму для підтримки температури упродовж визначеного періоду часу, без урахування інженерних систем теплозабезпечення будівлі, кВт·год визначається згідно з п. 3.7.

15. Загальні тепловтрати підсистеми тепловіддачі/виділення за конкретний місяць ($Q_{H,em,ls,i}$), кВт·год, розраховуються за формулою:

$$Q_{H,em,ls} = \left(\frac{f_{hydr} \cdot f_{im} \cdot f_{rad}}{\eta_{em}} - 1 \right) \cdot Q_{H,em,out}, \quad (4.13)$$

де f_{hydr} - коефіцієнт, що враховує гідравлічне налагодження системи, що визначається відповідно до коефіцієнтів ефективності, наведених у додатку 6;

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

$f_{im} = 1$ - для постійного теплового режиму; $f_{im} = 0,98$ - для періодичного теплового режиму з регулюванням без інтегрованого зворотного зв'язку; $f_{im} = 0,97$ для періодичного теплового режиму з регулюванням, що має інтегрований зворотний зв'язок (з оптимізованим пуском);

f_{rad} - коефіцієнт, що враховує променеву складову теплового потоку (тільки для променевих систем опалення) і визначається згідно із додатком 6;

η_{em} - загальний рівень ефективності для тепловіддавальної складової системи у приміщенні розраховується за формулою:

$$\eta_{em} = \frac{1}{[4 - (\eta_{str} + \eta_{ctr} + \eta_{emb})]}, \quad (4.14)$$

де η_{str} - складова загального рівня ефективності, яка враховує вертикальний профіль температури повітря приміщення, визначається згідно з додатком 6;

η_{ctr} - складова загального рівня ефективності, яка враховує регулювання температури приміщення, розраховується згідно з додатком 6;

η_{emb} - складова загального рівня ефективності, яка враховує питомі втрати зовнішніх огорожень (для вбудованих систем), визначається згідно з додатком 6.

Практична робота № 5

Споживання енергії на охолодження

1. Питоме енергоспоживання при охолодженні ($EP_{C,use}$), кВт·год/м² [кВт·год/м³], розраховується за формулами:
для житлових будівель:

$$EP_{C,use} = Q_{C,use} / A_f, \quad (5.1)$$

для громадських будівель:

$$EP_{C,use} = Q_{C,use} / V, \quad (5.2)$$

де $Q_{C,use}$ - річне енергоспоживання при охолодженні, кВт·год, розраховується за формулою (5.3).

A_f, V - кондиціонована (опалювана) площа для житлової будівлі, м², та кондиціонований об'єм для громадської будівлі (або її частини), м³.

2. Річне енергоспоживання при охолодженні ($Q_{C,use}$), кВт·год, розраховується за формулою

$$Q_{C,use} = Q_{C,gen,ls} + Q_{C,gen,out}, \quad (5.3)$$

де $Q_{C,gen,ls}$ - загальні тепловтрати підсистеми виробництва/генерування та акумулювання, кВт·год, розраховується за формулою (5.4);

$Q_{C,gen,out}$ - енергія виходу від підсистем виробництва/генерування та акумулювання, кВт·год, розраховується за формулою (5.5).

3. Загальні тепловтрати підсистеми виробництва/генерування та акумулювання ($Q_{C,gen,ls}$), кВт·год, розраховуються за формулою

$$Q_{C,gen,ls} = Q_{C,gen,out} \times (1 - \eta_{C,gen}) / \eta_{C,gen}, \quad (5.4)$$

де $\eta_{C,gen}$ - показник ефективності підсистеми виробництва/генерування та акумулювання, визначений відповідно до показників річної ефективності (SEER) окремих охолоджувальних машин, наведених у табл. 5.1.

У разі якщо показники підсистем виробництва/генерування та акумулювання при охолодженні у технічній документації на обладнання відрізняються від показників, наведених у табл. 5.1, то приймається значення, визначене на основі технічної документації на обладнання.

Якщо підсистема виробництва/генерування та акумулювання складається більше ніж з одного типу генератора/трансформатора, розрахунки здійснюються окремо для кожної частини з відповідним показником ефективності.

4. Загальна енергія виходу з підсистем виробництва/генерування та акумулювання при охолодженні ($Q_{C,gen,out}$), кВт·год, розраховується за формулою:

$$Q_{C,gen,out} = Q_{C,dis,in} / \eta_{C,ac}, \quad (5.5)$$

де $\eta_{C,ac}$ - ефективність автоматичного управління/регулювання, залежно від класу ефективності системи управління/регулювання приймають наступні значення:

для систем класу А - $\eta_{C,ac} = 0,99$;

для систем класу В - $\eta_{C,ac} = 0,93$;

для систем класу С - $\eta_{C,ac} = 0,88$;

для систем класу D - $\eta_{C,ac} = 0,82$;

$Q_{C,dis,in}$ - енергія входу в підсистему розподілення, кВт·год, визначена згідно з формулою (5.6).

У разі відсутності системи охолодження в будівлі, з метою визначення енергетичної ефективності будівлі приймається значення 0,93 для ефективності автоматичного управління/регулювання ($\eta_{C,ac}$) та значення 2,4 для показника ефективності підсистеми виробництва/генерування.

5. Період охолодження (години) визначається відповідно до таблиці А.1 додатка А ДСТУ 9190.

6. Енергію входу, яка необхідна для підсистеми розподілення, визначають за формулою:

$$Q_{C,dis,in} = \sum_i Q_{C,dis,out,i} / 1000 + Q_{C,dis,ls} \quad (5.6)$$

де $Q_{C,dis,out,i}$ - енергію виходу для підсистеми розподілення упродовж i -го місяця, Вт·год, приймають рівною **енергопотребі для охолодження** у даному місяці $Q_{C,nd,i}$ та для даної комбінації зон, яку обслуговує та сама підсистема виділення/тепловіддачі та розподілення, Вт·год;

$Q_{C,dis,ls}$ - річні тепловтрати підсистемою розподілення охолодженого повітря, кВт·год, визначені згідно з формулою (5.7).

7. Річні тепловтрати підсистемою розподілення охолодження, кВт·год, визначають за формулою:

$$Q_{C,dis,ls} = Q_{C,nd} ((1 - \eta_{C,ce}) + (1 - \eta_{C,ce,sens}) + (1 - \eta_{C,d})), \quad (5.7)$$

де $Q_{C,nd}$ - річні енергопотреби для охолодження, кВт·год, визначені згідно з п. 3.8;

$\eta_{C,ce}$ - ступінь утилізації теплообміну при охолодженні в системі охолодження приймають згідно з показниками усереднених річних коефіцієнтів систем охолодження, наведених у табл. 5.2;

$\eta_{C,ce,sens}$ - ступінь явної утилізації теплообміну при охолодженні в системі охолодження приймають згідно з даними табл. 5.2. Ця величина враховує небажане осушення (енергію на конденсацію) в існуючому устаткуванні системи охолодження;

$\eta_{C,d}$ - ступінь утилізації підсистеми розподілення приймають за даними табл. 5.2.

8. Загальне енергоспоживання за наявності центрального попереднього охолодження розраховується за формулою:

$$Q_{V,pre-cool,use} = Q_{V,pre-cool,gen,out} / \eta_{V,pre-cool,gen} \quad (5.8)$$

де $Q_{V,pre-cool,gen,out}$ - загальна енергія виходу з підсистеми виробництва/генерування при центральному попередньому охолодженні припливного повітря, кВт·год, визначена згідно з формулою (5.9);

$\eta_{V,pre-cool,gen}$ - ефективність підсистеми виробництва/генерування системи центрального попереднього охолодження відповідно до табл. 5.1.

У разі якщо генераційно-акумуляційна підсистема включає охолоджувальні пристрої більш як одного виду, розрахунки необхідно робити по кожній частині окремо і визначати відповідні показники ефективності.

9. Загальну енергію виходу з підсистеми виробництва/генерування при центральному попередньому охолодженні припливного повітря, кВт·год, розраховують за формулою:

$$Q_{V,pre-cool,gen,out} = (\sum_m Q_{ve,pre-cool,m}) / \eta_{V,sys,pre-cool} \quad (5.9)$$

$Q_{V,nd,pre-cool,m}$ - енергопотреба для попереднього охолодження для m -го місяця, кВт·год, розрахована згідно з підпунктом 9.4.1 пункту 9.4 розділу 9 ДСТУ 9190;

$\eta_{V,sys,pre-cool}$ - загальна ефективність розподілення і тепловіддачі/виділення для системи попереднього охолодження що приймається відповідно до показників загальної ефективності розподілення і тепловіддачі/виділення для систем попереднього охолодження, наведених у табл. 5.3.

Таблиця 5.1. Річна ефективність (SEER) охолоджувальних машин

Тип холодильної машини / засіб тепловідведення	Ефективність $\eta_{C,gen}$
Компресорна холодильна машина / зовнішнє повітря	2,25 η_{pg}
Компресорна холодильна машина / ґрунтовий теплообмін або використання ґрунтових вод	5,0 η_{pg}
Абсорбційний охолоджувач / зовнішнє повітря	1,0 η_{th}
Безпосереднє охолодження / ґрунтовий теплообмін або використання ґрунтових вод	12,0 η_{pg}

- η_{pg} - ефективність генерації електроенергії (електричний ККД установки, фактична ефективність електрогенератора на рівні будинку, наприклад дизель-генератор (зазвичай від 20 до 40 %)). Якщо електрогенератор відсутній, приймається $\eta_{pg} = 1$;
- η_{th} - ефективність генерації теплоти (тепловий ККД установки, фактична ефективність теплового генератора в будинку, наприклад газовий котел).

Таблиця 5.2. Усереднені річні коефіцієнти систем охолодження

Система охолодження	$\eta_{c,ce,sens}$	$\eta_{c,ce}$	$\eta_{c,d}$
Холодна вода 7/12	0,87	1,00	0,90
Холодна вода 8/14 (наприклад, вентиляторний конвектор)	0,90	1,00	0,90
Холодна вода 14/18 (наприклад, вентиляторний конвектор, доводчик)	1,00	1,00	1,00
Холодна вода 16/18 (наприклад, охолоджуюча стеля)	1,00	1,00	1,00
Холодна вода 18/20 (наприклад, активація складових будівлі)	1,00	0,90	1,00
Пряме випаровування (DX системи)	0,87	1,00	0,90 або якщо його вже було враховано для обладнання, тоді 1,00

Коефіцієнти за інших проміжних значень температури охолодженої води на вході отримують шляхом інтерполяції.

Таблиця 5.3. Загальна ефективність розподілення і тепловіддачі/виділення для систем попереднього охолодження

Система попереднього охолодження	η_v
Водний охолоджуючий зміювик, система розподілення менше 10 м, теплоізолюваний розподільний трубопровід	0,99
Водний охолоджуючий зміювик, система розподілення менше 10 м, теплонеізолюваний розподільний трубопровід	0,98
Водний охолоджуючий зміювик, система розподілення від 10 до 30 м, теплоізолюваний розподільний трубопровід	0,98
Водний охолоджуючий зміювик, система розподілення від 10 до 30 м, теплонеізолюваний розподільний трубопровід	0,96
Водний охолоджуючий зміювик, система розподілення від 30 до 50 м, теплоізолюваний розподільний трубопровід	0,96
Водний охолоджуючий зміювик, система розподілення від 30 до 50 м, теплонеізолюваний розподільний трубопровід	0,92

Практична робота № 6

Енергоспоживання на гаряче водопостачання

1. Питоме споживання енергії при постачанні гарячої води ($EP_{dhw,use}$), кВт·год/м² [кВт·год/м³], розраховується за формулами:
для житлових будівель:

$$EP_{DHW,use} = Q_{DHW,use} / A_f, \quad (26)$$

для громадських будівель:

$$EP_{DHW,use} = Q_{DHW,use} / V, \quad (27)$$

де $Q_{DHW,use}$ - річне енергоспоживання будівлею при постачанні гарячої води, кВт·год, розраховується за формулою (28);

A_f , V - кондиціонована (опалювана) площа для житлової будівлі, м², та кондиціонований об'єм для громадської будівлі (або її частини), м³.

2. Річне енергоспоживання при постачанні гарячої води ($Q_{DHW,use}$), кВт·год, розраховується за формулою:

$$Q_{DHW,use} = (Q_{DHW,nd} + Q_{W,dis,ls} + Q_{W,dis,ls,col,m} + Q_{W,em,l}) / \eta_{gen}, \quad (28)$$

де $Q_{DHW,nd}$ - енергопотреби гарячого водопостачання, кВт·год;

$Q_{W,dis,ls}$ - річні тепловтрати підсистеми розподілення постачання гарячої води, кВт·год, визначається згідно з пунктом 4 цього розділу;

$Q_{W,dis,ls,col,m}$ - річні тепловтрати циркуляційного контуру постачання гарячої води, кВт·год, визначається згідно з пунктом 5 цього розділу;

$Q_{W,em,l}$ - тепловтрати використаної води при водорозборі, кВт·год, визначається згідно з пунктом 6 цього розділу, при цьому період постачання гарячої води (години), встановлюється при виявленні фактичного стану будівлі;

η_{gen} - ефективність підсистеми виробництва/генерування та акумулювання теплоти визначається згідно з додатком 4. При цьому за наявності джерела теплопостачання з показником ефективності, що встановлений при виявленні фактичного стану будівлі та є відмінним від показника, визначеного у додатку 4, приймається значення, визначене при виявленні фактичного стану будівлі.

3. Енергопотреба для гарячого водопостачання ($Q_{DHW,nd}$), кВт·год, визначається згідно з додатком 7.

4. Річні тепловтрати підсистеми розподілення постачання гарячої води $Q_{W,dis,ls}$, кВт·год, розраховується за формулою:

$$Q_{W,dis,ls} = \sum \Psi_{W,j} L_{W,j} (\theta_{W,dis,avg,j} - \theta_{amb,j}) t_w / 1000, \quad (29)$$

де $Q_{W,dis,ls}$ - річні тепловтрати підсистеми розподілення ГВП, кВт·год;

$\Psi_{W,j}$ - лінійний коефіцієнт теплопередачі трубопроводу, Вт/(м·К), визначається згідно з додатком 5;

$L_{W,j}$ - довжина секції трубопроводу, м;

$\theta_{W,dis,avg,j}$ - середня температура гарячої води у секції трубопроводу, °С;

$\theta_{amb,j}$ - середня температура середовища навколо секції трубопроводу або температура опалюваного чи неопалюваного приміщення, °С;

t_w - період користування ГВП (години/рік), що встановлюється при виявленні фактичного стану будівлі;

j - індекс, що позначає трубопроводи з однаковими граничними умовами.

Тепловтрати необхідно розраховувати окремо для трубопроводів, що знаходяться в неопалюваних об'ємах та опалюваних об'ємах будівлі.

5. Річні тепловтрати циркуляційного контуру постачання гарячої води $Q_{W,dis,ls,col,m}$, кВт·год, розраховується за формулою:

$$Q_{W,dis,ls,col,m} = Q_{W,dis,ls,col,on} + Q_{W,dis,ls,col,off}, \quad (30)$$

де $Q_{W,dis,ls,col,on}$ - тепловтрати трубопроводів протягом періодів циркуляції, кВт·год, визначають за формулою (31);

$Q_{W,dis,ls,col,off}$ - тепловтрати трубопроводів протягом періодів відсутності циркуляції, кВт·год, визначають за формулою (32).

$$Q_{W,dis,ls,col,on} = \sum \Psi_{W,j} \times L_{W,j} \times (\theta_{W,dis,avg,j} - \theta_{amb,j}) \times t_{w,on,j} / 1000, \quad (31)$$

$$Q_{W,dis,ls,col,off} = \sum \rho_w \times c_w \times V_{W,dis,j} \times (\theta_{W,dis,avg,j} - \theta_{amb,j}) \times n_{norm} / 1000, \quad (32)$$

де $\Psi_{W,j}$ - лінійний коефіцієнт теплопередачі трубопроводу, Вт/(м·К), визначається згідно з додатком 5;

$L_{W,j}$ - довжина секції трубопроводу, м;

$\theta_{W,dis,avg,j}$ - середня температура гарячої води у секції трубопроводу, °С;

$\theta_{amb,j}$ - середня температура середовища навколо секції трубопроводу або температура опалюваного чи неопалюваного приміщення, °С;

$\rho_w \cdot c_w$ - теплоємність води, приймають 1150 Вт·год/(м³·К);

$V_{W,dis,i}$ - об'єм води, що міститься в секції трубопроводу, м³, визначений за допомогою значень довжини та діаметру трубопроводу;

$t_{w,on,j}$ - період циркуляції, години/рік; за відсутності точних даних приймають $t_{w,on} = 8760$ годин;

n_{norm} - кількість робочих циклів циркуляційного насоса протягом року; за відсутності точних даних приймають $n_{norm} = 1 - 2$ цикли в день;

j - індекс, що позначає трубопроводи з однаковими граничними умовами.

6. Тепловтрати використаної води при водорозборі $Q_{W,em,l}$ кВт·год, розраховується за формулою:

$$Q_{W,em,ls} = Q_W \times \eta_{eq} / 100, \quad (33)$$

де Q_W - річні енергопотреби ГВП, кВт·год, визначені згідно з пунктом 3 цього розділу;

η_{eq} - еквівалент збільшення, що враховує тепловтрати використаної води при водорозборі, приймають згідно з даними тепловтрат використаної води при водорозборі у будівлях без циркуляційного контуру, наведених у додатку 8.

7. Регулярні тепловтрати з секцій трубопроводу, розміщених в опалюваних приміщеннях, утилізуються у вигляді опалення приміщення під час опалювального періоду. Частина таких втрат може бути утилізована і здійснити внесок у нагрівання приміщення.

Утилізаційні регулярні тепловтрати, кВт·год, виражають часткою тепловтрат у підсистемі розподілення ГВП з трубопроводів, що знаходяться в опалюваних приміщеннях, та часткою додаткового енергоспоживання при розподіленні за формулою:

$$Q_{W,dis,rbl} = Q_{W,dis,ls} \times f_{W,dis,ls,rbl} + W_{W,dis,aux} \times f_{W,dis,aux,rbl}, \quad (34)$$

де $f_{W,dis,ls,rbl}$ - частка тепловтрат в підсистемі розподілення ГВП, що можуть бути утилізовані для підвищення температури приміщення;

$f_{w,dis,aux,rbl}$ - частка додаткового енергоспоживання при розподіленні, що може бути утилізована для опалення приміщення;

$W_{w, dis,au}$ - споживання додаткової енергії для насоса, кВт год, допускається розраховувати на підставі маркування потужності насоса.

Частки залежать від тривалості опалювального періоду та місця розташування насоса. Для спрощення приймають, що 50 % утилізаційних тепловтрат протягом опалювального періоду може бути утилізовано в підсистемі розподілення ГВП та, що утилізується 80 % додаткової енергії.

Додаткова енергії для насоса, $W_{w, dis,au}$, кВт×год, розраховується за формулою:

$$W_{w, dis,au} = P_{pmp} \times t_{pmp} \times N, \quad (35)$$

де P_{pmp} - маркування потужності насоса, кВт;

t_{pmp} - час роботи насоса, год/доба, за відсутності точних даних приймають стандартне значення 24 год/добу;

N - кількість діб роботи насоса протягом року.

Практична робота № 7 **Енергоспоживання під час освітлення**

1. Питоме енергоспоживання при освітленні ($EP_{w,use}$), кВт·год/м², розраховується за формулою:

$$EP_{w,use} = W_{use} / A_f \quad (7.1)$$

де W_{use} - річний обсяг енергоспоживання при освітленні кВт·год, розраховується за формулою (7.2);

A_f - кондиціонована (опалювана) площа будівлі, м².

2. Річний обсяг енергоспоживання при освітленні (W_{use}), кВт·год, розраховується за формулою:

$$W_{use} = W_L + W_P, \quad (7.2)$$

де W_L - енергія, необхідна для виконання функції штучного освітлення в будівлі, кВт·год, розраховується за формулою (7.3);

W_P - енергія, необхідна для забезпечення заряду акумуляторів світильників аварійного освітлення та енергія для управління/регулювання освітленням в будівлі, кВт·год, визначається згідно з пунктом 4 цього розділу.

3. Обсяг енергії, необхідної для виконання функції штучного освітлення в будівлі (W_L), кВт×год, розраховується за формулою:

$$W_L = P_N \times F_c \times (t_D \times F_o \times F_D + t_N \times F_o) \times A_f / 1000, \quad (7.3)$$

де P_N - питома потужність встановленого штучного освітлення в будівлі, Вт/м², встановлюється за проектними даними або при виявленні фактичного стану будівлі для забезпечення освітленості згідно з нормативними значеннями;

F_c - постійний коефіцієнт яскравості, що відноситься до використання встановлення освітлення при функціонуючому контролі сталої освітленості зони та розраховується згідно з показниками типових значень для розрахунку енергоспоживання при освітленні, наведених у додатку 9;

F_o - коефіцієнт використання освітлення, який є відношенням використання загальної встановленої потужності штучного освітлення до періоду використання

зони, та приймається згідно з додатком 9, або розраховується відповідно до фактичних потужностей освітлювальних приладів;

F_D - коефіцієнт природного освітлення, який є відношенням використання загальної встановленої потужності штучного освітлення до наявного природного освітлення зони, та приймається згідно з додатком 9;

t_D - час використання штучного освітлення в світлий (денний) період часу протягом року, год, приймають згідно з додатком 9;

t_N - час використання штучного освітлення протягом року, год, приймають згідно з додатком 9;

A_f - кондиціонована (опалювана) площа будівлі, m^2 .

4. Енергія, необхідна для забезпечення заряду акумуляторів світильників аварійного освітлення та енергія для управління/регулювання освітленням в будівлі W_P , кВт·год, розраховуються за формулою:

$$W_P = P_{em} \times A_{em} + P_{pc} \times A_{pc}, \quad (7.4)$$

де P_{em} - загальна встановлена питома потужність заряду акумуляторів світильників аварійного освітлення, кВт·год/ m^2 , приймають згідно з додатком 9;

P_{pc} - загальна встановлена питома потужність усіх систем управління приладами освітлення зони в час, коли лампи не використовують, кВт·год/ m^2 , приймають згідно з додатком 9;

A_{em} - площа будівлі, m^2 , на якій передбачено застосування аварійного освітлення;

A_{pc} - площа будівлі, m^2 , на якій передбачено застосування регульованого освітлення.

Практична робота № 8

Заходи з підвищення енергоефективності інженерних систем

Ефект від впровадження енергоефективних заходів буде виражатись у різниці між значеннями тепловтрат до та після проведення таких заходів.

Додатковим показником ефективності буде термін окупності такого заходу

Тепловтрати підсистем розподілення впродовж і-го місяця, Вт год, розраховують за формулою:

$$Q_{H,dis,ls,i} = \sum \Psi_{L,j} \cdot (\theta_{m,i} - \theta_{i,j}) \cdot L_j \cdot t_{op,an,i} \quad (8.1)$$

де $\Psi_{L,j}$ - лінійний коефіцієнт теплопередачі j-го трубопроводу, Вт/(м • К);

$\theta_{m,i}$ - середня температура теплоносія в зоні упродовж і-го місяця, °С; визначають за температурним графіком регулювання теплоносія за погодними умовами за середньомісячної температури зовнішнього середовища відповідного місяця (табл. А.2 додатка А ДСТУ 9190). Спосіб та приклад розрахунку $\theta_{m,i}$ наведено у В.13.4 ДСТУ 9190 (додаток 2);

θ_i - температура навколишнього середовища, °С;

L - довжина трубопроводу, м;

j - індекс, що позначає трубопроводи з однаковими граничними умовами;

$t_{op,an,i}$ - години опалення упродовж і-го місяця, год.

Для розрахунку будь-яких тепловтрат підсистеми розподілення необхідно знати наступні параметри:

- довжину секцій трубопроводів;
- розміри трубопроводів;
- товщину теплоізоляції або лінійний коефіцієнт теплопередачі;
- кількість елементів запірно-регулювальної арматури (клапанів, включаючи фланці тощо);
- середню температуру теплоносія;
- середню температуру в неопалюваних і опалюваних об'ємах;
- тривалість опалювального періоду (часи роботи за місяць).

Ці параметри необхідні для розрахунку тепловтрат на різних секціях трубопроводів та розрахунку загальних тепловтрат підсистеми розподілення. Параметри приймають за даними проекту або вимірюють безпосередньо на місці. Допускається визначати довжину трубопроводів згідно з ДСТУ Б EN 15316-2-3.

Загальні положення щодо розрахунку лінійного коефіцієнта теплопередачі трубопроводів визначені згідно з ДСТУ Б EN 15316-2-3.

Лінійний коефіцієнт теплопередачі ізольованих Ψ_{ins} та неізольованих Ψ_{non} трубопроводів до повітря з урахуванням загального коефіцієнта тепловіддачі, що включає конвекцію та випромінювання зовнішньої поверхні, Вт/(мК), розраховують за формулами:

$$\Psi_{ins} = \frac{\pi}{\left(\frac{1}{2\lambda_d} \ln \frac{d_a}{d_i} + \frac{1}{h_a d_a} \right)}, \quad (8.2)$$

$$\Psi_{non} = \frac{\pi}{\left(\frac{1}{2\lambda_p} \ln \frac{d_{p,a}}{d_{p,i}} + \frac{1}{h_a d_{p,a}} \right)}, \quad (8.3)$$

Або спрощено

$$\Psi_{non} = h_a \cdot \pi \cdot d_{p,a},$$

де d_a - зовнішній діаметр трубопроводу з теплоізоляцією, м;

d_i - внутрішній діаметр трубопроводу без теплоізоляції, м;

h_a - загальний коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні (конвекцією та випромінюванням), Вт/(м²·К), приймають $h_a = 8$ Вт/(м²·К) - для ізольованих трубопроводів та $h_a = 14$ Вт/(м²·К) - для неізольованих трубопроводів;

λ_D - теплопровідність теплоізоляційного матеріалу, Вт/(м·К);

$d_{p,i}$, $d_{p,a}$ - внутрішній діаметр та зовнішній діаметр трубопроводу відповідно, м.

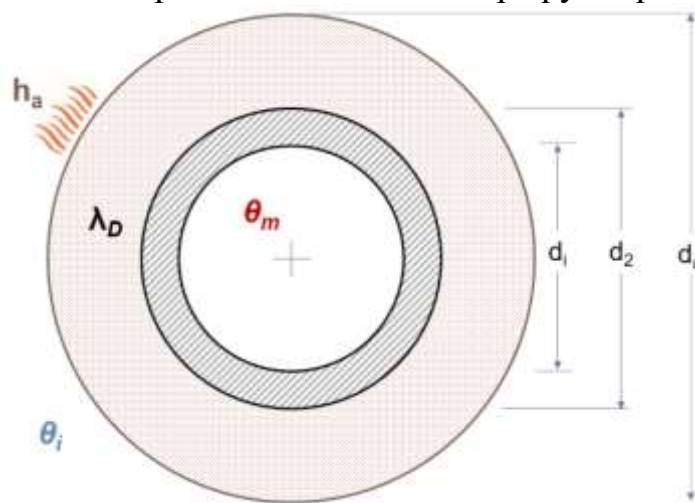


Рис. 6.1. Лінійний коефіцієнт тепловіддачі для труб із накладеною на них ізоляцією

Зменшення енергоспоживання, кВт:

$$\Delta Q = Q_{is} - Q_{if}, \quad (8.4)$$

де Q_{is} – тепловіддача до проведення заходів, кВт;

Q_{if} - тепловіддача після проведення заходів, кВт.

Річна економія коштів, грн./рік:

$$C = \Delta Q * T, \quad (8.5)$$

де T – вартість 1 кВт енергії, грн.

Для теплової енергії $T = T_p / 1163$.

T_p – тариф, грн/Гкал.

Простий період окупності заходу, роки:

$$SPBT = I / C, \quad (8.6)$$

де I - інвестиції

Додатки

Додаток 1. Карта-схема температурних зон України

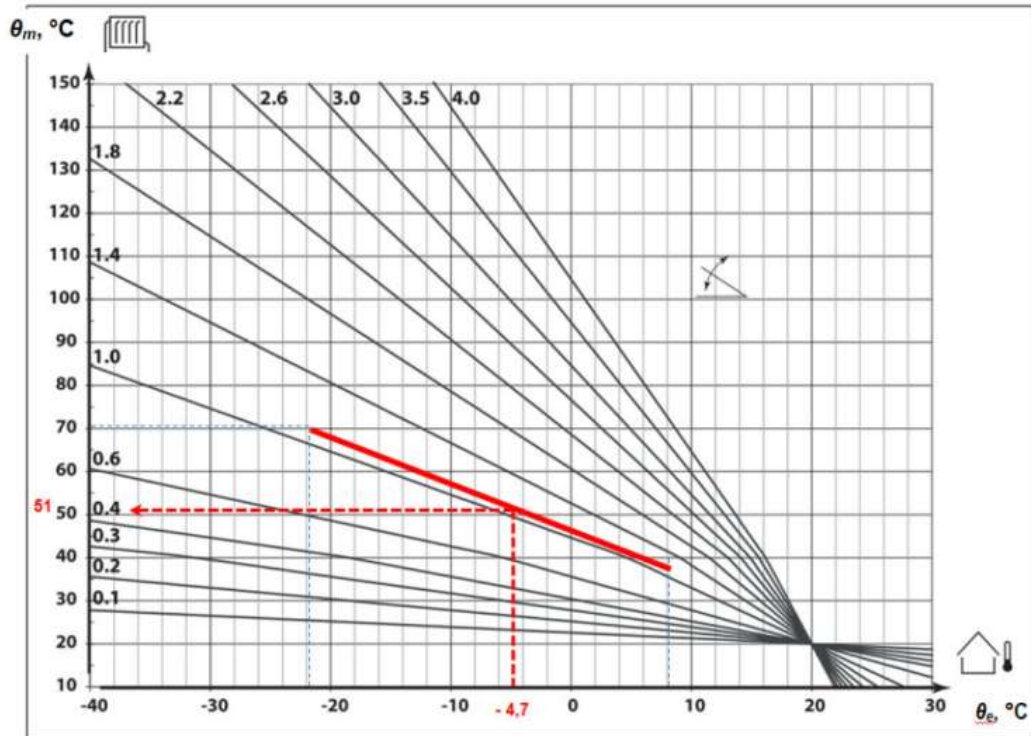


Додаток 2. Середня температура теплоносія

Середня температура теплоносія становить $\theta_m = 70$ °С (температурний графік 80/60). Температура навколишнього середовища становить: для кондиціонованого об'єму $\theta = 20$ °С та $\theta = 5$ °С — для техпідпілля.

Середню температуру теплоносія в зоні упродовж i -го місяця $\theta_{m,i}$ визначають за температурним графіком регулювання теплоносія за погодними умовами за середньомісячної температури зовнішнього середовища відповідного місяця (табл. А.2 додатка А). Для цього на температурному графіку в межах температур початку/закінчення опалювального періоду (згідно з ДБН В.2.5-67 — від 8 °С) та розрахункової для опалення (для Києва — мінус 22 °С згідно з ДСТУ-Н Б В.1.1-27) будують **графік середніх температур теплоносія**. Середня температура теплоносія для температурного графіка 80/60 за зовнішньої температури повітря найхолоднішої п'ятиденки мінус 22 °С становить $\theta_m = 70$ °С (початок графіка). Середня температура теплоносія упродовж i -го місяця, наприклад, січня (для Києва — мінус 4,7 °С) становить: $\theta_{m,i} = 51,17$ °С.

Графік середніх температур теплоносія



Додаток 3. Національні значення для внутрішньої теплоємності

Клас	C , Вт·год/(м ² ·К)	Деталізація
Дуже легкий	25	Каркасні будівлі зі стінами полегшеної конструкції — збірно-щитові, каркасно-засипні, каркасно-камишитові, дерев'яні, сандвіч-панелі тощо
Легкий	35	Будівлі зі стінами з монолітного шлакобетону, шлакоблоків, блоків з ніздрюватого бетону, черепашнику та інших дрібноштучних виробів із залізобетонними чи дерев'яними перекриттями
Середній	50	Будівлі великопанельні, великоблокові, з цегляними стінами товщиною в одну цеглу, із залізобетонними чи дерев'яними перекриттями
Важкий	80	Капітальні будівлі з цегляними стінами товщиною (1,5—2 цеглини), із залізобетонними перекриттями
Дуже важкий	110	Особливо капітальні будівлі з кам'яними або цегляними стінами (товщиною в 2,5—3,5 цеглини), із залізобетонним чи металевим каркасом, із залізобетонним перекриттям

Додаток 4. Значення сезонної ефективності виробництва/генерування теплоти

Енергоносій/послуга	Джерело теплозабезпечення	Сезонна ефективність, %		
		До 1994	1994-2008	Починаючи з 2008
Невідновлюваний				
Вугілля	Вугільні котли з ручним керуванням	53	55	57
	Вугільні котли з автоматичним керуванням, подаванням палива та регулюванням температури	52	56	60
	Кахельні печі	48	52	54
Природний і скраплений вуглеводневий газ (LPG)	Газовий кімнатний конвектор	63	67	71
	Котел з автоматичною або ручною функцією увімкнення/вимкнення	69	70	71
	Котли на газоподібному або рідкому паливі з відкритою камерою згоряння (атмосферні пальники) та двопозиційним регулюванням	74	76	78
	Котел із закритою камерою згоряння та модульованим пальником	71	74	77
	Двоконтурний котел з модульованим пальником	69	74	76
	Газові конденсаційні котли з номінальною потужністю:			
	а) до 50 кВт (70/55 °С)	87	89	90
	б) до 50 кВт (55/45 °С)	91	93	95
	в) від 50 до 120 кВт	92	94	96
	г) від 50 до 120 кВт	93	95	97
	д) від 120 до 1 200 кВт	92	94	96
	е) від 120 до 1 200 кВт	94	96	98
	Теплові насоси типу повітря/вода, компресор з газотурбінним приводом:			
а) 55/45 °С		130		
б) 35/28 °С		140		
Теплові насоси типу повітря/вода, абсорбційні, компресор з газотурбінним приводом:				
а) 55/45 °С		130		
б) 35/28 °С		140		
Рідке паливо та легкий сорт мазуту	Котел з автоматичною або ручною функцією увімкнення/вимкнення	65	68	70
	Багатоконтурний котел з автоматичною або ручною функцією увімкнення/вимкнення	69	72	75
	Котел з модульованим пальником	72	76	78
	Низькотемпературний котел	72	75	78
	Конденсаційний котел	74	77	79
В'язкий сорт мазуту	Паровий котел	67	70	72

Природний і скраплений вуглеводневий газ (LPG)	Теплові насоси типу гліколь/вода, компресор з газотурбінним приводом:			
	а) 55/45 °С		140	
	б) 35/28 °С		160	
	Теплові насоси типу гліколь/вода, абсорбційні, компресор з газотурбінним приводом:			
	а) 55/45 °С		140	
	б) 35/28 °С		160	
	Теплові насоси типу повітря/повітря, компресор з газотурбінним приводом		130	
	Теплові насоси типу повітря/повітря, абсорбційні, компресор з газотурбінним приводом		130	
Електроенергія	Електричні проточні водонагрівачі		94	
	Електричні прилади прямого нагрівання: конвектори, поверхнєве опалення, променєве опалення, нагрівальний підлоговий кабель		99	
	Теплові насоси типу вода/вода, компресор з електроприводом:			
	а) 55/45 °С		360	
	б) 35/28 °С		400	
	Теплові насоси типу гліколь/вода, компресор з електроприводом:			
	а) 55/45 °С		350	
	б) 35/28 °С		400	
	Теплові насоси типу пряме випаровування у ґрунті / вода, компресор з електроприводом:			
	а) 55/45 °С		350	
б) 35/28 °С		400		
Теплові насоси типу пряме випаровування у ґрунті / пряма конденсація в нагрівальних установках, компресор з електроприводом		400		
Теплові насоси типу повітря/вода, компресор з електроприводом:				
а) 55/45 °С		260		
б) 35/28 °С		300		
Теплові насоси типу повітря/повітря, компресор з електроприводом:		300		
Відновлюваний				
Біомаса	Піч/камін з ручним подаванням	48	52	54
	Котли на біомасі (солома), з ручним керуванням, потужністю:			
	а) до 100 кВт	62	66	70
	б) понад 100 кВт	70	76	84

	Котли на біомасі (деревина: поліна, брикети, пелети, тріски), з ручним керуванням, потужністю до 100 кВт	62	66	68
	Котли на біомасі (солома) автоматичні потужністю:			
	а) до 100 кВт	62	68	72
	б) від 100 кВт до 600 кВт	72	76	84
	Котли на біомасі (деревина: поліна, брикети, пелети, тріски), автоматичні з механічним подаванням палива, потужністю:			
	а) до 100 кВт	62	68	72
	б) від 100 кВт до 600 кВт	72	76	84
	в) понад 600 кВт	74	80	85
	Котел на біомасі газифікований	62	66	68
Централізований				
Централізоване теплопостачання	Постійна температура теплоносія без коригування в ІТП	50	50	50
	Центральне якісне регулювання за температурним графіком 110 °С або вище зі зрізкою без коригування в ІТП	62	62	62
	Центральне якісне регулювання за температурним графіком до 110 °С зі зрізкою без коригування в ІТП	70	70	70
	Центральне якісне регулювання за температурним графіком 95 °С та нижче, без регулювання теплового потоку в ІТП або з регулюванням, залежним від погодних умов в ІТП низької ефективності (без обмеження максимальної витрати автоматичними засобами)	86	86	86
	Центральне якісне регулювання та ІТП з регулюванням теплового потоку, залежним від погодних умов та обмеженням максимальної витрати автоматичними засобами	93	93	93
	Центральне якісне регулювання, проміжне якісно-кількісне регулювання з урахуванням транспортного запізнювання мережі і з регулюванням теплового потоку, залежним від погодних умов в ІТП та обмеженням максимальної витрати автоматичними засобами	95	95	96
	Центральне якісно-кількісне регулювання відповідно до попиту, проміжне якісно-кількісне регулювання з урахуванням транспортного	-	-	99

запізнювання мережі, регулюванням теплового потоку, залежним від погодних умов в ІТП з корегуванням відповідно до термодинамічних властивостей будівлі, теплонадходжень та попиту, з обмеженням максимальної витрати автоматичними засобами			
Система гарячого водопостачання з регулюванням або без нього в ЦТП	64	64	64
Система гарячого водопостачання зі швидкісним теплообмінником в ІТП та регулюванням температури пристроєм прямої дії	68	70	70
Система гарячого водопостачання зі швидкісним теплообмінником в ІТП та регулюванням теплового потоку за розкладом, без обмеження максимальної витрати автоматичними засобами	70	74	76
Малі (квартирні) теплові пункти	-	-	97
Система гарячого водопостачання зі швидкісним теплообмінником, акумулюванням в ІТП та регулюванням теплового потоку за розкладом, з обмеженням максимальної витрати автоматичними засобами	95	95	96

Примітки:

- Для теплових насосів наведено значення коефіцієнта сезонної ефективності. Для інших джерел тепла, за винятком тих, що живляться електроенергією, наведено ефективність, пов'язану з теплотворною здатністю палива.
- Визначення (якщо не зазначено іншого):
котел - комбінована котельно-масоспалювальна установка, призначена для передавання отриманої від спалювання теплоти до води чи пари. Максимальну теплопродуктивність має закладати та гарантувати виробник (винятки з цього визначення становлять установки з ручним завантаженням палива);
котел низькотемпературний - котел, який може постійно працювати з температурою води від 35 °С до 40 °С, за певних обставин можлива поява конденсації, зокрема у випадку використання конденсаційних котлів, які функціонують на рідкому паливі;
конденсаційний котел - котел, призначений для постійного конденсування значної частини водяної пари, що міститься у газоподібних продуктах згорання. Котел має сприяти виходу конденсату з теплообмінника в рідкому стані витокком (дренажем) конденсату. Ті котли, які не призначені для забезпечення виходу конденсату в рідкому стані, або ж котли, які не мають засобів для забезпечення такого виходу, називають «неконденсаційними»;
котел з функціями увімкнення/вимкнення - котел, який не має здатності варіювати швидкість згорання палива під час постійного спалювання палива. До таких котлів також належать котли з можливістю вибору швидкості горіння, яку задають лише в момент їхнього встановлення, і називають діапазоном швидкості горіння палива;

котел плавного регулювання - котел, який дозволяє варіювати швидкість згорання палива під час постійного горіння;
одноконтурний (звичайний) котел - котел, який не має можливості прямого подавання гарячої води до системи ГВП (тобто некомбінований котел).
Такий котел може здійснювати непряме подавання гарячої води через окремий бак акумулювання гарячої води.

3. Значення, наведені в таблиці, є консервативними. У тому випадку, якщо реальна або очікувана ефективність виробництва перевищує/значно відрізняється від наведених у таблиці величин, то це має бути відповідно доведено та задокументовано відповідно до наведених нижче стандартів та процедур.

Для котлів:

1) якщо маркування котла проведено відповідно до [Технічного регламенту водогрійних котлів, що працюють на рідкому чи газоподібному паливі](#), затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 27 серпня 2008 року № 748 щодо вимог ефективності для нових котлів гарячої води, які опалюються рідким газоподібним паливом, то сезонну ефективність визначають виходячи з заявленого номінального виходу тепла та вимог до коефіцієнта корисної дії за часткового навантаження сезонної ефективності на основі методу типології, описаного згідно з пунктом 5.2 розділу 5 ДСТУ EN 15316-4-1;

2) якщо перевірку проводять згідно з ДСТУ EN 15378-1 - використовують дані звіту про перевірку;

3) або розраховують згідно з ДСТУ EN 15316-4-1, де метод розрахування підсистем виробництва тепла враховує тепловтрати та/або утилізування з огляду на такі фізичні чинники:

тепловтрати через димохід (або викиди відпрацьованих газів) впродовж усього часу роботи генератора тепла (у робочому режимі та в режимі очікування);

тепловтрати через оболонку генератора(-ів) впродовж усього часу роботи генератора (у робочому режимі та в режимі очікування);

допоміжна енергія.

Релевантність цих ефектів на енергетичні потреби залежить від:

типу теплогенератора(-ів);

розташування теплогенератора(-ів);

коефіцієнта корисної дії за часткового навантаження;

експлуатаційних умов (температура, регулювання тощо);

стратегії регулювання (увімкнення/вимкнення багатоконтурна, плавного регулювання (модулювання), каскадна тощо).

Для інших генераторів/трансформаторів використовують методики згідно з ДСТУ EN 15316-4-1, ДСТУ EN 15316-4-2, ДСТУ EN 15316-4-3 та ДСТУ EN 15316-4-5.

Додаток 5. Типові значення лінійного коефіцієнта теплопередачі Ψ , Вт/(м·К), для нових та існуючих будівель

	Ψ_L , Вт/(м·К), для розподільної складової системи		
	Секція L_v	Секція L_s	Секція L_A
Ізольовані відкрито прокладені трубопроводи			
Товщина теплоізоляції приблизно дорівнює зовнішньому діаметру трубопроводу (будівлі побудовані після 2014 року)	0,2	0,3	0,4
Товщина теплоізоляції приблизно дорівнює половині зовнішнього діаметра трубопроводу (будинки побудовані у 1980-1995 роках)	0,3	0,4	0,4
Будинки побудовані до 1980 року	0,4	0,4	0,4
Неізольовані трубопроводи			
$A \leq 200 \text{ м}^2$	1,0	1,0	1,0
$200 \text{ м}^2 < A \leq 500 \text{ м}^2$	2,0	2,0	2,0
$A > 500 \text{ м}^2$	3,0	3,0	3,0
Трубопроводи, прокладені у зовнішніх стінах			
			Загальні / які утилізують ^a
Зовнішні стіни нетеплоізольовані		1,35/0,80	
Зовнішні стіни із зовнішньою теплоізоляцією		1,00/0,90	
Зовнішні стіни нетеплоізольовані, але мають значний опір теплопередачі ($R \geq 2,5 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$)		0,75/0,55	

Примітка 1. Для правил визначення L_v , L_s , L_A (див. рис. Д 5.1).

Примітка 2. A - кондиціонована площа будівлі.

^a - (загальні - загальні тепловтрати трубопроводу; які утилізують - тепловтрати трубопроводу, які утилізують).

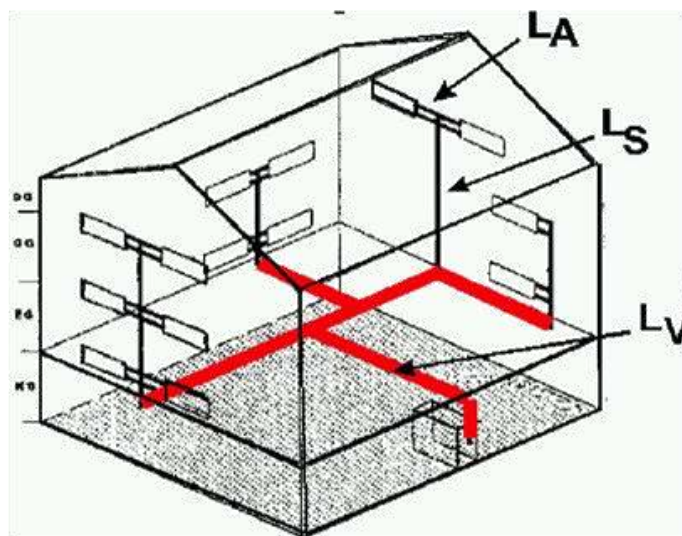


Рис. Д 5.1. Типи трубопроводів теплорозподільної складової системи

Додаток 6. Коефіцієнти ефективності

1. Ефективність вільнообтічних нагрівальних поверхонь (радіаторів); приміщення заввишки не більше ніж 4 м

Впливовий фактор		Складові загального рівня ефективності			
		η_{str1}	η_{str2}	η_{ctr}	η_{emb}
Регулювання температури повітря приміщення	Відсутнє			0,86	
	За усередненої (характерної) температури повітря приміщень будівлі			0,88	
	П-регулювання* (2 К**)			0,93	
	П-регулювання (1 К**)			0,95	
	ПІ-регулювання***			0,97	
	ПІ-регулювання з оптимізацією (наприклад, наявність диспетчеризації, адаптованого контролю)			0,99	
Температурний напір (за температури повітря 20 °С)	60 К (наприклад, 90/70)	0,88			
	42,5 К (наприклад, 70/55)	0,93			
	30 К (наприклад, 55/45)	0,95			
Специфічні тепловтрати через зовнішні огородження	Опалювальний прилад встановлено біля внутрішньої стіни		0,87		1
	Опалювальний прилад встановлено біля зовнішньої стіни:				
	вікно без радіаційного захисту		0,83		1
	вікно з радіаційним захистом		0,88		1
	звичайна стіна		0,95		1

* - пропорційне регулювання.

** - точність регулювання температури (в градусах Кельвіна).

*** - пропорційне інтегральне регулювання.

Складову загального рівня ефективності, яка враховує вертикальний профіль температури повітря приміщення η_{str} розраховують, як середнє значення «температурного напору» та «питомих тепловтрат зовнішніх огорожувальних конструкцій» за формулою

$$\eta_{str} = (\eta_{str1} + \eta_{str2}) / 2.$$

2. Коефіцієнт, що враховує гідравлічне налагодження системи

Тип системи	Впливовий фактор	f_{hydr}
Двотрубна	Система не налагоджена. Відсутні балансувальні клапани на стояках (горизонтальних вітках) системи	1,03
	Система налагоджена. Наявні автоматичні регулятори перепаду тиску на стояках (вітках) з більше ніж вісьмома опалювальними приладами або наявне тільки статичне налагодження системи (ручні балансувальні клапани)	1,01
	Система налагоджена. Наявні автоматичні регулятори перепаду тиску на стояках (вітках) з вісьмома та менше опалювальними приладами	1,00
	Система налагоджена. Наявне автоматичне регулювання перепаду тиску в терморегуляторах або електронних регуляторах витрати теплоносія на опалювальних приладах (автоматичних регуляторах температури повітря у приміщенні)	0,98
	Система не налагоджена. Відсутня балансувальна арматура на стояках (горизонтальних вітках) системи	1,09

Однотрубна (постійний гідравлічний режим)	Система налагоджена. Наявна ручна балансувальна арматура на стояках (горизонтальних вітках)	1,07
	Система налагоджена. Наявні автоматичні регулятори (стабілізатори) витрати на стояках (горизонтальних вітках)	1,05
Однотрубна (змінний гідравлічний режим)	Система налагоджена. Наявні автоматичні регулятори (обмежувачі) витрати зі стабілізацією температури теплоносія на виході зі стояка (горизонтальної вітки)	1,01
	Система налагоджена. Наявні автоматичні регулятори (обмежувачі) витрати з регулюванням температури теплоносія на виході зі стояка (горизонтальної вітки) за температурним графіком	1,00

Коефіцієнт, що враховує променеву складову теплового потоку, приймають $f_{rad} = 1,0$.

3. Ефективність складових частин вбудованих нагрівальних поверхонь (опалювальні панелі); приміщення заввишки не більше ніж 4 м

Впливовий фактор		Складові загального рівня ефективності			
		η_{str}	η_{ctr}	η_{emb1}	η_{emb2}
Регулювання температури повітря приміщення	Теплоносій-вода:				
	відсутнє		0,81		
	відсутнє, з центральним якісним регулюванням		0,84		
	відсутнє, з підтриманням середнього значення різниці температур (наприклад, підлогове опалення 55/50)		0,86		
	за усередненою (характерною) температурою приміщень будівлі		0,88		
	двопозиційне або П-регулювання		0,93		
	ПІ-регулювання		0,95		
	Електроопалення:				
	двопозиційне		0,91		
	ПІ-регулювання		0,93		
Тип системи	Підлогове опалення:				
	з вологою підлогою	1		0,93	
	з сухою підлогою	1		0,96	
	з сухою підлогою та незначним покриттям	1		0,98	
	Стінове опалення	0,96		0,93	
Стельове опалення	0,93		0,93		
Специфічні тепловтрати через прилеглі до опалювальних панелей поверхні	Нагрівальна панель без забезпечення мінімальної теплоізоляції згідно з ДБН В.2.5-67				0,86
	Нагрівальна панель із забезпеченням мінімальної теплоізоляції згідно з ДБН В.2.5-67				0,95
	Нагрівальна панель з кращою на 100 % теплоізоляцією ніж необхідно згідно з ДБН В.2.5-67				0,99

Складову загального рівня ефективності, яка враховує питомі втрати зовнішніх огорожень, η_{emb} визначають за даними основних впливових факторів - «система» та «питомі тепловтрати через прилеглу поверхню» за формулою

$$\eta_{emb} = (\eta_{emb1} + \eta_{emb2}) / 2.$$

Коефіцієнт, що враховує променеву складову теплового потоку, приймають $f_{rad} = 1,0$.

4. Ефективність електроопалення; приміщення заввишки не більше ніж 4 м

Впливовий фактор		Сумарна ефективність η_{em}
Розташування опалювальних приладів біля зовнішніх стін	Пряме електроопалення з П-регулюванням (1 К)	0,91
	Пряме електроопалення з ПІ-регулюванням та оптимізацією	0,94
	Акумуляційне нерегульоване без залежної від зовнішньої температури повітря зарядки та статичної/динамічної розрядки	0,78
	Акумуляційне з П-регулюванням (1 К) і залежною від зовнішньої температури повітря зарядкою, а також статичною/динамічною розрядкою	0,88
	Акумуляційне з ПІД-регулюванням**** та оптимізацією, а також залежною від зовнішньої температури повітря зарядкою та статичною й тривалою динамічною розрядкою	0,91
Розташування опалювальних приладів біля внутрішніх стін	Пряме електроопалення з П-регулюванням (1 К)	0,88
	Пряме електроопалення з ПІ-регулюванням та оптимізацією	0,91
	Акумуляційне нерегульоване без залежної від зовнішньої температури повітря зарядки та статичної/динамічної розрядки	0,75
	Акумуляційне з П-регулюванням (1 К) та залежною від зовнішньої температури повітря зарядкою та статичною/динамічною розрядкою	0,85
	Акумуляційне з ПІД-регулюванням та оптимізацією, а також залежною від зовнішньої температури повітря зарядкою та статичною й тривалою динамічною розрядкою	0,88

**** - пропорційне інтегральне додаткове.

Коефіцієнт, що враховує променеву складову: $f_{rad} = 1,0$.

Коефіцієнт, що враховує змінний тепловий режим: $f_{im} = 0,97$ (застосовують в системах з інтегрованим зворотнім зв'язком).

5. Ефективність повітряного опалення нежитлових будівель з приміщеннями заввишки не більше 4 м

Конфігурація системи	Регульований параметр	Сумарна ефективність, η_{em}	
		низький рівень регулювання	високий рівень регулювання
Догрівання припливного повітря (доводчиками)	Температура повітря приміщення	0,82	0,87
	Температура повітря приміщення (багаторівневе регулювання температури припливного повітря)	0,88	0,90
	Температура витяжного повітря	0,81	0,85
Догрівання рециркуляційного повітря (у розподільниках, вентиляторах-конвекторах)	Температура повітря приміщення	0,89	0,93

Додаток 7. Питомі річні енергопотреби ГВП

Призначення будівлі	кВт·год/м ²
Одноквартирні будинки	15
Багатоквартирні житлові будівлі, гуртожитки	20
Громадські будівлі адміністративного призначення, офіси	10
Будівлі закладів освіти	10
Будівлі закладів дошкільної освіти	15
Будівлі закладів охорони здоров'я	30
Готелі* (на 10 % більше для кожної зірочки)	25
Ресторани	60
Спортивні заклади	80
Будівлі закладів гуртової та роздрібної торгівлі	10
Будівлі культурно-розважальних закладів та дозвільних установ	10
Інші види будівель, товарні склади	1,5

Додаток 8. Тепловтрати використаної води при водорозборі у будівлях без циркуляційного контуру

Тип системи постачання гарячої води	Додаткові втрати теплоти η_{eq} при зливанні непрогрітої води з системи постачання гарячої води будівлі		
	на одну родину	багатоквартирної або готелю	іншої
Без циркуляційного контуру	5,0 %	25,0 %	10,0 %
Зі статично збалансованими (шайбами, ручними вентилями, діаметрами трубопроводів) циркуляційними стояками (об'єднаними в секційні вузли)	2,0 %	15,0 %	5,0 %
З автоматично збалансованими за температурою води циркуляційними стояками (при однаковій кількості водорозбірних та циркуляційних стояків)	0	0	0
З автоматично збалансованими за температурою води водорозбірними стояками (перед секційними перемичками)	0	0	0

Додаток 9. Типові значення для розрахунку енергоспоживання при освітленні

Тип будівлі	Додаткова енергія		t_D год.	t_N год.	F_c		F_o		F_D	
	Аварійне P_{em}	Управління/ регулювання P_{pc}			Відсутня cte	Наявна cte	Ручний режим	Автоматичний	Ручний режим	Автоматичний
	кВт·год/ (м ² ·рік)	кВт·год/ (м ² ·рік)								
Одноквартирні будинки	1	5	2250	250	1	0,9	1	0,9	1	0,9
Багатоквартирні будинки, гуртожитки	1	5	2250	250	1	0,9	1	0,9	1	0,9
Громадські будівлі адміністративного призначення, офіси	1	5	2250	250	1	0,9	1	0,9	1	0,9
Будівлі учбових закладів	1	5	1800	200	1	0,9	1	0,9	1	0,8
Будівлі дитячих дошкільних закладів	1	5	1800	200	1	0,9	1	0,9	1	0,8
Будівлі закладів охорони здоров'я	1	5	3000	2000	1	0,9	0,9	0,8	1	0,8
Готелі	1	5	3 000	2 000	1	0,9	0,7	0,7	1	1
Ресторани	1	5	1 250	1 250	1	0,9	1	1	1	-
Спортивні заклади	1	5	2 000	2 000	1	0,9	1	1	1	0,9
Будівлі закладів гуртової та роздрібної торгівлі	1	5	3 000	2 000	1	0,9	1	1	1	-
Будівлі культурно-розважальних закладів та дозвільних установ	1	5	2250	250	1	0,9	1	0,9	1	0,9
Інші види будівель	1	5	2250	250	1	0,9	1	0,9	1	0,9

Примітка. cte - система контролю/регулювання постійної освітленості, F_D (автоматичний) - зменшення інтенсивності світла фотоелементів із сенсорами природного освітлення із припущенням, що мінімум 60 % потужності освітлення регулюється таким чином.

Рекомендовані джерела інформації

1. Єремєєв І. С. Енергозбереження в житлово-комунальному господарстві: навчально-методичний посібник / І. С. Єремєєв, О. І. Єщенко. - Одеса: Гельветика, 2021. - 352 с.
2. Хмельнюк М. Г. Енергетичний менеджмент і аудит: підручник. ч. 1 / М.Г.Хмельнюк, О.Ю.Яковлева, О.В.Остапенко; під заг. ред. М.Г.Хмельнюк. - Херсон: Грін Д. С., 2016. - 224 с.
3. Глосарій технічних термінів у сфері енергоефективності та відновлюваних джерел енергії. - Львів: Львівська політехніка, 2019. - 210 с.
Енергетичний менеджмент та енергоефективність: підручник / І. О. Самойленко, О. Г. Гриб, А. О. Запорожець та ін. — Харків : ФОП Бровін О. В., 2020. — 348 с.
4. Основи проектування та реконструкції енергоефективних будівель закладів загальної середньої освіти з поліпшеними екологічними характеристиками. Методичні рекомендації / А.Ігнатенко, І.Яреськовська, Н.Піддубний, С.Берзіна, О.Картавцев, С.Перминова, В.Скочко, О.Ященко, О.Погосов, С.Кожедуб, Є.Кулінко, А.Посікера. – К.: «Смарт Продакшн», 2021. – 187 с.
5. Основи проектування та реконструкції енергоефективних будівель закладів дошкільної освіти з поліпшеними екологічними характеристиками. Методичні рекомендації / Д.Богдан, Г.Бузан, В.Скочко, С.Кожедуб, О.Погосов, О.Ященко, Є.Кулінко, А.Посікера, С.Берзіна, С.Перминова . – К.: «Смарт Продакшн», 2023. – 241 с.
6. Як скоротити енергоспоживання в будівлях державних органів: Посібник енергоменеджера / В.Литвин, І.Хренова-Шимкіна, О.Гончарук, С.Гарашук, С.Наскальний, Т.Зятікова.- К.: Проєкт «Реформи у сфері енергоефективності в Україні», що виконується GIZ за дорученням Федерального міністерства економічного співробітництва та розвитку Німеччини (BMZ) , 2019. - 61 с.
7. ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель.
8. ДБН В.1.2-11:2021 Основні вимоги до будівель і споруд. Енергозбереження та енергоефективність.
9. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія.
10. ДСТУ 9190:2022 Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання.
11. ДСТУ 9191:2022 Теплоізоляція будівель. Метод вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель.
12. ДБН В.2.6-33:2018 Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Вимоги до проектування.
13. ДСТУ Б В.2.6-34:2008 Конструкції зовнішніх стін з фасадною теплоізоляцією. Класифікація й загальні технічні вимоги.
14. ДСТУ Б В.2.6-35:2008. Конструкції зовнішніх стін з фасадною теплоізоляцією та опорядженням індустріальними елементами з вентильованим повітряним прошарком. Загальні технічні умови.

15. ДСТУ Б В.2.6-36:2008. Конструкції зовнішніх стін з фасадною теплоізоляцією та опорядженням штукатурками. Загальні технічні умови.
16. Закон України. Про енергетичну ефективність будівель.
17. Пахолюк О.А., Самчук В.П., Чапюк О.С., Зорук С.О. Термомодернізація багатоквартирних будинків // Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві: зб. наук. праць Луцьк: Луцький НТУ, 2021. – Вип. 15. – С. 65-70.
18. Пахолюк О.А., Чапюк О.С., Журавська Г.Ю. Вплив монолітних армованих елементів на теплозахисні властивості кладки з газобетонних блоків // Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві: зб. наук. праць Луцьк: Луцький НТУ, 2021. – Вип. 16. – С. 135-142.
19. Пахолюк О.А., Самчук В.П., Чапюк О.С. Вплив нехарактерних навантажень на конструкції будівель // Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві: зб. наук. праць Луцьк: Луцький НТУ, 2022. – Вип. 17. – С. 103-110.
20. Пахолюк, О.А., Самчук В.П., Чапюк О.С., Малиха, В.І. (2025). Утеплення будівель із фасадами складної конфігурації. Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві, 23, 196-209. [https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-13\(23\)-18](https://doi.org/10.36910/6775-2410-6208-2025-13(23)-18)
21. Energy Audit Handbook. <https://www.seai.ie/publications/SEAI-Energy-Audit-Handbook.pdf>
22. Energy auditing--Handbooks, manuals, etc. I. Younger, William J. II. Niehus, Terry. III. Title. <http://ndl.ethernet.edu.et/bitstream/123456789/17412/2/93.pdf.pdf>
23. General Aspects of Energy Management And Energy Audit. Guide Book For National Certification Examination For Energy Auditors and Managers. <https://www.ctc-n.org/system/files/dossier/3b/4.2%20Consolidated%20chapters.pdf>

Інформаційні ресурси

- <https://saee.gov.ua/uk>
 - Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України (Держенергоефективності)
<https://eefund.org.ua/> - Фонд енергоефективності
<https://energodim.org/detalna-informatsiia/> - програма «Енергодім» Фонду енергоефективності
<http://www.ceresit.ua> - офіційний сайт торгової марки Ceresit фірми Henkel.
<http://www.knaufinsulation.ua/uk> - офіційний сайт фірми Knaufinsulation.
<https://aeroc.com.ua/> - офіційний сайт фірми ТОВ «Аерок».
<https://www.stonelight.ua/> - офіційний сайт фірми СТОУНЛАЙТ.
<http://www.isover.ua/> - офіційний сайт фірми ISOVER.
<https://www.rockwool.com/ua/> - офіційний сайт фірми ROCKWOOL.

Енергоефективність житла [текст]: методичні вказівки до практичних занять для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітньої програми «Будівництво та цивільна інженерія» галузі знань 19 Архітектура та будівництво спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія денної та заочної форм навчання / О. А. Пахолюк, О.С. Чапук – Луцьк: ЛНТУ, 2026. – 60 с.

Комп'ютерний набір та верстка: О.А. Пахолюк

Редактор: О.А. Пахолюк

Підп. до друку «___» _____ 2026 р.
Формат 60x84/16. Папір офс. Гарнітура Таймс. Ум. друк. арк. 1.
Тираж 50 прим.

Відділ іміджу та промоції
Луцького національного технічного університету
43018, м. Луцьк, вул. Львівська, 75
Друк – відділ іміджу та промоції Луцького НТУ