

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва та транспорту
Кафедра «Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент»

“Допущено до захисту”
Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ
к.т.н., професор
_____Петро ПЛЄШКОВ
“__” _____2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти
на тему:
«Дослідження питомих норм енергоспоживання на
опалення приміщень
Study of specific energy consumption rates for space
heating»

Виконав здобувач вищої освіти
II курсу магістратури, групи ЕНМ-22М
ОПП «Енергетичний менеджмент»
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
_____Вадим ЯКОВЕНКО
«__» _____2023 р.

Керівник роботи
к.т.н, доцент
_____Олександр СІРІКОВ
«__» _____2023 р.

Рецензент _____

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва та транспорту

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Галузь знань 14 «Електрична інженерія»

Спеціальність

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна (освітньо-наукова) програма

Енергетичний менеджмент

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ Петро ПЛЄШКОВ

«_____» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Яковенко Вадима Євгенійовича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи Дослідження питомих норм енергоспоживання на опалення приміщень

Study of specific energy consumption rates for space heating

2. Керівник роботи Сіріков Олександр Іванович, к.т.н., доцент

(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання роботи до захисту 29.12.2023 р.

4. Мета та завдання кваліфікаційної роботи Метою роботи є визначення та аналіз питомих норм енергоспоживання на опалення приміщень.

Завдання роботи: мета та цілі сертифікації енергоефективності будівель; методика розрахунку енергопотреб на опалення, охолодження та гаряче водопостачання ДСТУ 9190:2022; дослідження впливу конструктивних та експлуатаційних особливостей будівлі на питомі норми енергоспоживання; охорона праці.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Охорона праці</i>	<i>к.т.н., доц. Савеленко І.В.</i>		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ</i>	<i>13.10.23</i>	
2	<i>Мета та цілі сертифікації енергоефективності будівель</i>	<i>27.10.23</i>	
3	<i>Методика розрахунку енергопотреб на опалення, охолодження та гаряче водопостачання ДСТУ 9190:2022</i>	<i>17.11.23</i>	
4	<i>Дослідження впливу конструктивних та експлуатаційних особливостей будівлі на питомі норми енергоспоживання</i>	<i>01.12.23</i>	
5	<i>Охорона праці</i>	<i>15.12.23</i>	
6	<i>Висновки</i>	<i>22.12.23</i>	
7	<i>Оформлення кваліфікаційної роботи та презентації до неї</i>	<i>28.12.23</i>	

Дата видачі завдання

«___» _____ 2023 р.

Підпис керівника

_____ Сіріков О.І.
(прізвище та ініціали)

Завдання прийнято до виконання

«___» _____ 2023 р.

Підпис здобувача

_____ Яковенко В.Є.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Яковенко В.Є. Дослідження питомих норм енергоспоживання на опалення приміщень.

Кваліфікаційна робота магістерського (другого) рівня вищої освіти за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», ОПП «Енергетичний менеджмент», Центральноукраїнський національний технічний університет, Кропивницький, 2023.

Метою кваліфікаційної роботи є визначення та аналіз питомих норм енергоспоживання на опалення приміщень. Визначення науково обґрунтованих норм дозволяє оцінити ефективність використання теплової енергії на опалення, та як наслідок визначення ефективності – обґрунтування доцільності проведення енергозберігаючих заходів з утеплення зовнішніх огорожувальних конструкцій.

З метою підвищення рівня ефективності використання теплової енергії та зменшення її втрат законодавчо введена обов'язкова енергетична сертифікація будівель. Для визначення класу енергетичної ефективності будівлі наведені еталонні питомі норми енергоспоживання житлових та громадських будівель. Суттєвим недоліком вказаних норм є повна відсутність прив'язки до конструктивних особливостей будівлі. Натомість, регламентується лише мінімально допустиме значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції, яка є орієнтиром для оцінки фактичних теплоізоляційних характеристик огорожувальних конструкцій.

Автором запропоновано використовувати діючу методику розрахунку на основі ДСТУ 9190:2022 для отримання максимального значення енергопотребі на опалення для житлових та громадських будівель. При цьому в розрахунках використовувати мінімально допустиме значення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій. Такий підхід дозволить врахувати конструктивні особливості кожної будівлі, що є важливим фактором отримання науково обґрунтованих питомих норм енергоспоживання.

Ключові слова: енергетична сертифікація, питома норма енергоспоживання, опір теплопередачі, огорожувальні конструкції.

ABSTRACT

Yakovenko V.E. Study of specific energy consumption rates for space heating.

Qualification thesis of the master's (second) level of higher education, specialty 141 "Electric power, electrical engineering and electromechanics", OPP "Energy Management", Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, 2023.

The purpose of the qualification work is to determine and analyze specific norms of energy consumption for space heating. Determination of scientifically based norms allows to evaluate the efficiency of the use of thermal energy for heating, and as a result of the determination of efficiency - justification of the expediency of carrying out energy-saving measures for the insulation of external enclosing structures.

In order to increase the level of efficiency in the use of thermal energy and reduce its losses, mandatory energy certification of buildings has been introduced by law. To determine the energy efficiency class of a building, reference specific energy consumption norms of residential and public buildings are given. A significant drawback of the specified norms is the complete lack of reference to the structural features of the building. Instead, only the minimum permissible value of the heat transfer resistance of the enclosing structure is regulated, which is a reference point for evaluating the actual thermal insulation characteristics of the enclosing structures.

The author suggested using the current calculation method based on DSTU 9190:2022 to obtain the maximum value of energy consumption for heating for residential and public buildings. At the same time, the minimum permissible value of the heat transfer resistance of the enclosing structures should be used in the calculations. This approach will allow taking into account the design features of each building, which is an important factor in obtaining scientifically based specific energy consumption norms.

Key words: energy certification, specific rate of energy consumption, heat transfer resistance, enclosing structures.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1 МЕТА ТА ЦІЛІ СЕРТИФІКАЦІЇ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ	
БУДІВЕЛЬ.....	10
1.1. Мета і задачі нормування енергоспоживання.....	10
1.2. Показник енергоефективності будівлі.....	13
1.3. Вимоги до теплотехнічних характеристик елементів теплоізоляційної оболонки будинків.....	14
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ЕНЕРГОПОТРЕБИ НА ОПАЛЕННЯ, ОХОЛОДЖЕННЯ ТА ГАРЯЧЕ ВОДОПОСТАЧАННЯ ДСТУ 9190:2022.....	
2.1. Енергопотреба на опалення і охолодження.....	16
2.2. Теплопередача трансмісією.....	17
2.3. Теплопередача вентиляцією.....	25
2.4. Теплонадходження від внутрішніх джерел.....	30
2.5. Сонячні теплові надходження.....	31
2.6. Динамічні параметри будівлі.....	38
2.8. Визначення трансмісійної теплопередачі до ґрунту.....	41
РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНСТРУКТИВНИХ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ БУДІВЛІ НА ПИТОМІ НОРМИ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ.....	
3.1. Загальні положення удосконалення методики енергетичної сертифікації... 48	48
3.2. Дослідження впливу коефіцієнта скління фасаду будівлі на її енергоспоживання.....	51
3.3. Дослідження впливу показника компактності будівлі на її енергоспоживання.....	53
3.4. Дослідження впливу конструктивних особливостей підлоги та даху будинку на його енергоспоживання.....	55
3.5. Дослідження впливу орієнтації будівлі за сторонами світу на її енергоспоживання.....	57

3.6. Дослідження впливу географічного розташування будинку на його енергоспоживання.....	60
3.7. Дослідження впливу заданої температури опалення будинку на його енергоспоживання.....	61
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ	65
4.1. Охорона праці під час проведення робіт із теплоізоляції.....	65
4.2. Безпека праці при виконанні робіт пов'язаних з миттям, протиркою, утепленням вікон.....	66
4.3. Розрахунок блискавкозахисту	69
4.4. Розрахунок заземлення.....	71
ВИСНОВКИ.....	74
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	79

ВСТУП

Актуальність роботи. Останнім часом все більше уваги приділяється ефективності використання теплової енергії побутовими споживачами. Це проявляється в обов'язковій енергетичній сертифікації будівель, різних державних програм з утеплення та ін.

Відповідні норми використання теплової енергії розробляються з метою можливості аналізу їх споживання та підвищення відповідальності за економне використання ПЕР. Найбільш поширеним методом для розробки норм є розрахунково-аналітичний. Він базується на обчисленні споживання питомих норм теплової енергії на основі показників використання з врахуванням планованих заходів з енергозбереження. Фактичне споживання теплової енергії є орієнтовним, так як його зниження відносно базового (нормативного) рівня споживання може відбуватися шляхом зменшення показника комфорту (наприклад, зниженням температури, відключенням опалення в другорядних приміщеннях і т.п.).

В результаті розрахунку норми витрати теплової енергії на опалення можна отримати не тільки цифру для її порівняння але і завдяки обчисленню складових статей витрат, отримати якісні вихідні дані для подальшої розробки МЕЗ з визначенням важливості і пріоритетності їх впровадження. До того ж при впровадженні системи автономного опалення необхідно ґрунтуватися на деякій величині розрахункового теплового навантаження, що дозволить правильно вибрати потужність теплового обладнання даної системи. Норма витрати теплової енергії на опалення дозволить визначити сумарне річне її споживання, що в свою чергу, дозволяє розрахувати оптимальний вид ПЕР, що використовується для отримання тепла та гарячої води.

Отже, підсумовуючи можна зазначити, що аналіз норм питомої витрати енергії на опалення приміщень дозволяє визначити можливості та ефективність впровадження енергозбереження, фактичний рівень економії ПЕР, може бути використаний для розробки і ранжування МЕЗ, сприяє вибору оптимального виду ПЕР для отримання тепла.

Мета роботи і задачі дослідження. Метою роботи є визначення та аналіз питомих норм енергоспоживання на опалення приміщень. Задача дослідження полягає в розробці способу отримання прогресивних питомих норм на опалення, що використовуються для енергетичної сертифікації будівель. Перевагою удосконаленого способу є врахування конструктивних та експлуатаційних особливостей будівель при визначенні питомих норм для енергетичної сертифікації.

Для досягнення вказаної мети потрібно розв'язати наступні задачі:

- розглянути методи та способи отримання питомих норм;
- розглянути діючу методику сертифікації енергетичної ефективності будівель;
- розглянути методику розрахунку енергетичної ефективності будівель;
- провести розрахунки впливу конструктивних та експлуатаційних особливостей будівлі на її енергоспоживання при опаленні.

Об'єкт дослідження. Процес отримання питомих норм енергопотреб на опалення для енергетичної сертифікації будівлі.

Предмет дослідження. Способи отримання питомих норм енергопотреб на опалення для енергетичної сертифікації будівель.

Методи досліджень базуються на використанні: математичного апарату розрахунку енергоспоживання на опалення, охолодження та гаряче водопостачання.

Основні наукові та практичні результати, їх значення.

1. Запропонована удосконалена методика розрахунку прогресивних питомих норм енергоспоживання на опалення, що базується на діючій методиці розрахунку енергоспоживання, яка дозволяє провести коректну енергетичну сертифікацію будівель з урахуванням їх конструктивних та експлуатаційних особливостей.

2. Отримані питомі норми з урахуванням конструктивних та експлуатаційних особливостей будівлі можна використати для оцінки потреби в енергоспоживанні при опаленні.

РОЗДІЛ 1

МЕТА ТА ЦІЛІ СЕРТИФІКАЦІЇ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ

1.1. Мета і задачі нормування енергоспоживання

Під нормуванням витрат енергії розуміють встановлення запланованої величини витрат енергії на виробництво одиниці продукції або послуги.

Відповідно положенню по нормуванню витрат палива, електричної і теплової енергії в промисловості, *норма витрат* – це максимально допустима кількість палива, електричної і теплової енергії для виробництва одиниці продукції або послуги встановленої якості з урахуванням планових організаційно-технічних умов виробництва.

Норма витрати паливно-енергетичного ресурсу є показником, що визначає кількість палива, теплової або електричної енергії, яка є необхідною та повністю достатньою, та є технічно і економічно обґрунтованою для виробництва одиниці продукції заданої якості з врахуванням планових або стандартизованих організаційно-технічних умов виробництва.

Норми витрат енергоресурсів, які широко використовуються у практичній та дослідницькій діяльності, мають достатньо різноманітні та широкі форми представлення. До того ж достатньо часто у своїх конкретних значеннях відбивають повністю різні сторони виробничо-господарської діяльності підприємства, що повністю виключає можливість їх порівняння та аналізу. Обґрунтовані з наукової точки зору норми витрат енергоресурсів опираються на:

- дослідженнях технологічних та енергетичних процесів, які відбуваються в технологічних та енергетичних лініях передачі, апаратах, засобах перетворення та генераторах;
- розробці для окремих технологічних та енергетичних агрегатів їх енергетичних балансів; а також їх поєднання в комплекси, які працюють разом та представляють цілком закінчений виробничий процес або самостійну її ділянку; включаючи також допоміжні санітарно-технічні системи; основного та допоміжного виробництва, загальнозаводських служб; і нарешті зведеного

енергетичного балансу по підприємству;

- критичному аналізу енергетичного обліку по агрегатам, цехам, ділянкам та підприємству в цілому;

- технічній документації, технологічних регламентах, паспортах на обладнання, режимних картах тощо.

Науково обґрунтовані норми витрат енергоресурсів повинні відображати:

- сучасні технічні і технологічні досягнення для даного типу виробництва, що можуть бути впроваджені для кожного підприємства на поточний або перспективний період;

- економічні та організаційно-технічні заходи, що розроблені для даного підприємства з врахуванням передового досвіду;

- сучасні енерготехнологічні та енергетичні рішення, які використовуються для даного виробництва;

- необхідні завдання з економії енергоресурсів.

Науково обґрунтовані норми витрат енергоресурсів сприяють:

- зниженню собівартості продукції завдяки зменшенню енергетичної складової;

- впровадженню сучасної енергоефективної техніки, освоєнню нових технологічних процесів та режимів роботи обладнання;

- покращенню режимів та ефективності експлуатації обладнання в енергогосподарстві підприємства.

Визначаючи на наукових основах норми питомих витрат енергії на одиницю продукції або роботи, ми складаємо базу для розрахунку потреби в енергетичних ресурсах діляниць виробництва, цехів, підприємств, територіальних комплексів і країни в цілому. Таким чином, нормування енергоспоживання є первинною технічною базою планування енергопостачання.

В широкому смислі слова роботи по нормуванню енергоспоживання на промислових підприємствах повинно вміщувати:

- а) дослідження технології і енергетики нормованих операцій і процесів; аналіз факторів, що впливають на працездатність устаткування і витрати енергії,

встановлення функціональних (статистичних) зв'язків між витратами енергії і продуктивністю;

б) аналіз технологічних операцій і процесів в цілях виявлення резервів; підвищення продуктивності устаткування і зниження витрат енергії, нормалізацію технологічних та енергетичних параметрів і встановлення раціональних режимів роботи устаткування;

в) аналіз фактичних витрат енергії, оцінку можливого зниження витрат і проектування конкретних заходів по економії енергії;

г) складання нормативних енергобалансів, а де це можливо енергетичних характеристик і розрахунків на цій основі технічно обґрунтованих норм питомих витрат енергії;

д) впровадження встановлених норм, контроль за їх виконанням, складання і аналіз фактичних електробалансів і енергетичних характеристик, виявлення нових резервів економії енергії;

е) перегляд на вказаній основі діючих норм і встановлення нових більш прогресивних норм.

З приведеного переліку слідує, що технічне нормування органічно зв'язане з технологією виробництва і раціоналізацією енергогосподарства. Разом з тим нормування енергоспоживання фактично пов'язане з енергетичним обліком, контролем і аналізом енерговикористання, створюючи разом з ними комплексну систему планомірно проводячи і періодично повторюючи роботи, які забезпечують ефективне використання енергоресурсів.

Безпосередніми цілями нормування споживання енергії є:

- визначення для конкретних умов виробництва технічно необхідної величини витрати енергії на виробництво одиниці продукції;

- забезпечення раціональної й ощадливої витрати енергії в процесі виробництва;

- встановлення вихідної величини для визначення потреби виробництва в енергії.

Таким чином, технічне нормування пов'язане з технологією виробництва і

раціоналізацією енергогосподарства. Водночас, нормування енергоспоживання фактично пов'язано з енергетичним обліком, контролем і аналізом енерговикористання, створюючи разом із ними комплексну систему планомірно проведених і періодично повторюваних робіт, що забезпечують ефективне використання енергоресурсів.

1.2. Показник енергоефективності будівлі

Методика розрахунку показника енергетичної ефективності будівлі базується на методиці викладеної в [3].

Показник енергоефективності будівлі EP повинен задовольняти умові:

$$EP \leq EP_{\max}, \quad (1.1)$$

де EP – розрахункова (фактична) питома річна енергопотреба будівлі;

$EP_{\max}$ – максимально допустиме значення питомої річної енергопотреби будівлі, кВт·год/м² або кВт·год/м³, що встановлюється залежно від її призначення, поверховості, температурної зони експлуатації (приймається за додатком В з [3]).

Розрахункове значення показника енергоефективності будівлі EP визначають в залежності від її призначення:

– для громадських будинків

$$EP = (Q_{H,nd} + Q_{C,nd} + Q_{DHW,nd})/V, \quad (1.2)$$

– для житлових будинків

$$EP = (Q_{H,nd} + Q_{C,nd} + Q_{DHW,nd})/A_f, \quad (1.3)$$

де $Q_{H,nd}$, $Q_{C,nd}$ та $Q_{DHW,nd}$ – відповідно річна енергопотреба будівлі для опалення, охолодження і гарячого водопостачання, (визначається згідно [2]);

A_f , V – відповідно кондиційована або опалювальна площа для житлової будівлі, m^2 , та кондиційований об'єм для громадської будівлі, m^3 , (визначається згідно з [4]).

Фактичне значення показника енергоефективності будівлі EP визначається згідно з методикою викладеною в [5].

Для будівель, які підлягають термомодернізації, допускається приймати дещо збільшені значення максимальної енергопотребы з коефіцієнтом в межах $1 \div 1,25EP_{max}$.

1.3. Вимоги до теплотехнічних характеристик елементів теплоізоляційної оболонки будинків

Зовнішні огорожувальні конструкції будівель і споруд, що опалюються та/або охолоджуються, і внутрішніх конструкцій, що розділяють приміщення, температура повітря в яких відрізняється на $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ та більше, необхідне виконання наступних умов:

$$R_{\Sigma pr} \geq R_{q \min}, \quad (1.4)$$

$$\Delta T_{pr} \geq \Delta T_{cr}, \quad (1.5)$$

$$T_{a \min} \geq T_{\min}, \quad (1.6)$$

де $R_{\Sigma pr}$ – приведений опір теплопередачі для непрозорої огорожувальної конструкції, $m^2 \cdot K/Wt$;

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

ΔT_{pr} – перепад температур між внутрішнім повітрям та температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, $^{\circ}\text{C}$;

ΔT_{cr} – допустима за санітарно-гігієнічними вимогами різниця між температурою внутрішнього повітря і приведеною температурою внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції, $^{\circ}\text{C}$;

$T_{a \min}$ – мінімальне значення температури внутрішньої поверхні в зонах

теплопровідних включень в огорожувальній конструкції, °С;

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

Мінімально допустиме значення опору теплопередачі $R_{q \min}$ світлопрозорих та непрозорих огорожувальних конструкцій, дверей житлових та громадських будівель встановлюється відповідно до табл. 2.3 в залежності від температурної зони експлуатації будинку (приймається згідно з [5]).

При виконанні умови (1.1) дозволяється використовувати окремі елементи теплоізоляційної оболонки з зменшеним значенням термічного опору, що складає до 75% від $R_{q \min}$ відповідно для непрозорих частин та 80% від $R_{q \min}$ для інших огорожувальних конструкцій. При цьому повинна забезпечуватися умова (1.4) та обов'язково виконуватися граничні умови для елементів теплоізоляційної оболонки за (1.5) і (1.6).

Мінімально допустиме значення термічного опору огорожувальних конструкцій (непрозорих, світлопрозорих, дверей та воріт) промислових або сільськогосподарських будівель $R_{q \min}$ встановлюють за табл. 2.4 [5] в залежності від температурної зони місця розташування будинку, тепловологісного режиму його внутрішнього середовища та теплової інерції D , що визначають згідно з [8].

Мінімально допустиме значення термічного опору для внутрішніх огорожувальних конструкцій $R_{q \min}$, які розмежовують приміщення з різними розрахунковими температурами, що відрізняються більше ніж на 4 °С або приміщень де здійснюється поквартирне регулювання температури визначають згідно з [3]. Допустима різниця між температурою внутрішнього повітря та приведеною температурою внутрішньої поверхні за санітарно-гігієнічними вимогами $\Delta T_{\text{сг}}$, °С, встановлюється в залежності від призначення будівлі та типу огорожувальної конструкції визначається з табл. 2.5 [5].

Будівлі з енергетичним класом С, В і А або їх частини повинні бути спроектовані таким чином, щоб повітрообмін, визначений відповідно до [9], при різниці тисків 50 Па не перевищувало кратності, наведених в табл. 2.6 [5].

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ЕНЕРГОПОТРЕБИ НА ОПАЛЕННЯ, ОХОЛОДЖЕННЯ ТА ГАРЯЧЕ ВОДОПОСТАЧАННЯ ДСТУ 9190:2022

В цьому розділі викладені основні засади, принципи, формули та методика розрахунку відповідно до ДСТУ 9190:2022 «Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання».

2.1. Енергопотреба на опалення і охолодження

Енергопотреба на опалення

Для кожного місяця та зони будівлі енергопотребу на опалення $Q_{H,nd}$ Вт год, (при постійному опаленні), визначають за формулою:

$$Q_{H,nd} = Q_{H,nd,cont} = Q_{H,ht} - \eta_{H,g} \cdot Q_{H,g}, \quad (2.1)$$

де $Q_{H,nd,cont}$ – енергопотреба будівлі (при постійному опаленні), Вт год, повинна бути ≥ 0 ;

$Q_{H,ht}$ – сумарна теплопередача для режиму опалення за (2.3), Вт год;

$Q_{H,g}$ – сумарні теплонадходження для режиму опалення за (2.4), Вт год;

$\eta_{H,g}$ – коефіцієнт використання теплових надходжень, визначений за п. 2.6.

Енергопотреба на охолодження

Для кожного місяця та зони будівлі енергопотребу на охолодження $Q_{C,nd}$, Вт·год, (при постійному охолодженні) визначають за формулою:

$$Q_{C,nd} = Q_{C,nd,cont} = Q_{C,g} - \eta_{C,ls} \cdot Q_{C,ht}, \quad (2.2)$$

де $Q_{C,nd,cont}$ – енергопотреба будівлі (при постійному охолодженні), Вт·год, повинна бути ≥ 0 ;

$Q_{C,ht}$ – сумарна теплопередача для режиму охолодження за (2.3), Вт·год;

$Q_{C,gn}$ – сумарні теплонадходження для режиму охолодження за (2.4), Вт·год;

$\eta_{C,ls}$ – коефіцієнт використання теплових втрат, визначений за п. 2.6.

Сумарна теплопередача та теплові надходження

Для кожного місяця та зони будівлі сумарна теплопередача, Q_{ht} , Вт год, (для режиму опалення $Q_{H,ht}$, для режиму охолодження $Q_{C,ht}$) визначається за:

$$Q_{ht} = Q_{tr} + Q_{ve}, \quad (2.3)$$

де Q_{tr} – сумарна теплопередача трансмісією за п. 2.2, Вт год;

Q_{ve} – сумарна теплопередача вентиляцією за п. 2.3, Вт год.

Для кожного місяця та зони будівлі сумарні теплові надходження, Q_{gn} , Вт год, (для режиму опалення $Q_{H,gn}$, для режиму охолодження $Q_{C,gn}$) визначаються за формулою:

$$Q_{gn} = Q_{int} + Q_{sol}, \quad (2.4)$$

де Q_{int} – сума внутрішніх теплових надходжень для даного періоду з п. 2.4, Вт год,;

Q_{sol} – сума сонячних теплонадходжень для даного періоду з п. 2.5, Вт год.

2.2. Теплопередача трансмісією

Загальна теплопередача трансмісією

Для кожної зони та місяця загальна теплопередача трансмісією Q_{tr} , Вт год, розраховується за формулами:

– для режиму опалення:

$$Q_{tr} = H_{tr,adj}(\theta_{int,set,H} - \theta_c)t, \quad (2.5)$$

– для режиму охолодження:

$$Q_{tr} = H_{tr,adj}(\theta_{int,set,C} - \theta_c)t, \quad (2.6)$$

де $H_{tr,adj}$ – загальний коефіцієнт теплопередачі трансмісією, Вт/К, визначений за (2.7);

$\theta_{int,set,H}$ – задана температура зони будівлі для режиму опалення, °С, визначена за п. 2.7;

$\theta_{int,set,C}$ – задана температура зони будівлі для режиму охолодження, °С, визначена за п. 2.7;

θ_c – середньомісячна температура зовнішнього середовища, °С, може бути визначена з табл. 2.1;

Таблиця 2.1. Значення середньомісячної температури зовнішнього повітря

Область, місто	Середньомісячна температура зовнішнього повітря, °С												Середня за рік
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Гайворон	-4,3	-3,0	1,6	9,4	15,3	18,4	20,0	19,2	14,4	8,4	2,7	-1,9	8,4
Знам'янка	-5,3	-4,2	0,7	8,8	15,1	18,5	20,3	19,5	14,4	7,9	2,0	-2,8	7,9
Кропивницький	-4,9	-3,9	0,8	9,1	15,2	18,6	20,4	19,7	14,7	8,2	2,1	-2,6	8,1

t – тривалість місяця, год, визначається згідно з [2].

Завдяки врахуванню внутрішніх теплових надходжень теплопередача або її частина може мати від'ємний знак в певні періоди року.

Узагальнені коефіцієнти теплопередачі трансмісією

Коефіцієнт теплопередачі трансмісією $H_{tr,adj}$, Вт/К, повинний бути розрахований згідно з [10] за формулою:

$$H_{tr,adj} = H_D + H_g + H_U + H_A, \quad (2.7)$$

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

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

H_U – теплопередачі трансмісією через некондиціоновані об'єми, Вт/К;

H_A – трансмісією до суміжних будівель, Вт/К.

Коефіцієнт теплопередачі трансмісією H_x , що представляє H_D , H_g , H_U або

H_A , розраховується за формулою:

$$H_x = b_{tr,x} \sum_i A_i U_i, \quad (2.8)$$

де $b_{tr,x}$ – поправочний коефіцієнт, що приймає значення:

– $b_{tr,x} = 1$ – при розрахунках H_D ;

– $b_{tr,x} \neq 1$ при розрахунках H_g , H_U , H_A визначатися згідно з методикою, що наведена нижче;

A_i – площа i -го елемента огорожень будівлі, m^2 ;

U_i – коефіцієнт теплопередачі i -го елемента огорожень будівлі, $W/(m^2 \cdot K)$, що визначається за формулою

$$U_i = 1/R_{\Sigma pri};$$

$R_{\Sigma pri}$ – приведений опір теплопередачі i -го елемента огорожень будівлі, $m^2 K/W$, для непрозорих елементів визначається з [11], а для світлопрозорих елементів з відповідних стандартів.

Коефіцієнт b коригує замість коефіцієнту, що залежить від різниці температур.

Сума у формулі (2.7) виконується за всіма складовими, що відокремлюють внутрішнє середовище будівлі, та середовище з іншої боку огорожувальних конструкції (грунт, некондиціонований об'єм тощо).

За наявності більш ніж одного типу нижнього поверху або суміжного некондиціонованого об'єму величину узагальнених коефіцієнтів теплопередачі трансмісією розраховують для кожного елемента з використанням відповідного значення поправочного коефіцієнту $b_{tr,x}$.

Теплопередача крізь світлопрозорі елементи огорожень

Приведений опір теплопередачі для i -го світлопрозорого елемента будівлі необхідно визначати розрахунком з [12] за проектними даними.

Допускається для спрощення та за відсутності точних даних приймати значення частки обрамлення непрозорої частини 0,3 для віконних та 0,2 для дверних блоків та світлопрозорих фасадів будівлі.

Методика, наведена в [2] для сертифікації енергоефективності будівель не враховує ефект нічної ізоляції. В разі необхідності ефект нічної ізоляції може бути визначений за методикою наведеною в [4].

Теплопередача до ґрунту

Методика обчислення теплопередачі до ґрунту викладена в п. 2.8.

З метою енергетичної сертифікації і документування виконання будівельних норм, як стаціонарний узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до ґрунту в (2.7) необхідно застосовувати H_g , яке визначається з п. 2.8 та знехтувати поправкою на різницю температур (значення ($b_{tr,x} = 1$)).

З іншою метою узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до ґрунту дозволяється розраховувати для кожного місяця $H_{g,m}$ згідно п.2.8. Для цього випадку у (2.7) H_g необхідно замінити на $H_{g,m}$ (без коригування на $b_{tr,x}$).

Теплопередача до суміжного некондиціонованого об'єму та приміщення оранжерейного типу

Суміжний некондиціонований об'єм або приміщення оранжерейного типу є об'ємом за межами розрахункової зони для визначення енергопотреб на опалення та охолодження будівлі.

Методика, що наведена нижче, є однаковою, як для суміжного некондиціонованого об'єму так і для суміжного приміщення оранжерейного типу.

Обчислення узагальненого коефіцієнта теплопередачі проводять з урахуванням поправочного коефіцієнту $b_{tr,x} = b_U$, що ґрунтується на температурі суміжного некондиціонованого об'єму та/або суміжного приміщення оранжерейного типу.

Узагальнений коефіцієнт теплопередачі, що складається з теплопередачі трансмісією, вентиляцією між кондиціонованим об'ємом та/або зоною та зовнішнім середовищем через некондиціонований об'єм та/або приміщення оранжерейного типу визначається за формулою:

$$H_U = H_{iu} b_U, \quad (2.9)$$

де H_{iu} – узагальнений коефіцієнт теплопередачі між кондиціонованим об'ємом та/або зоною та некондиціонованим об'ємом та/або приміщенням оранжерейного типу, Вт/К, визначають за (2.12).

Коригувальний коефіцієнт b_U обчислюють для кожного місяця за наступною формулою:

$$b_U = (\theta_i - \theta_u) / (\theta_i - \theta_e), \quad (2.10)$$

де θ_i – розрахункова або задана температура в кондиціонованому об'ємі та/або зони, °С;

θ_u – розрахункова температура зовнішнього середовища, °С;

θ_e – температура некондиціонованого об'єму та/або приміщення оранжерейного типу, °С, що обчислюється на основі теплового балансу за стаціонарних умов який визначається за формулою:

$$\theta_u = (\Phi + \theta_i H_{iu} + \theta_e H_{ue}) / (H_{iu} + H_{ue}), \quad (2.11)$$

де θ_i, θ_e – те саме, що і в (2.10), °С;

H_{ue} – безпосередній узагальнений коефіцієнт теплопередачі між некондиціонованим об'ємом та/або приміщенням оранжерейного типу з зовнішнім середовищем, Вт/К, визначають за (2.12).

Коефіцієнти H_{iu} і H_{ue} враховують трансмісійну та вентиляційну теплопередачу. теплопередачу трансмісією та вентиляцією. Їх визначають за формулами:

$$H_{iu} = H_{T,iu} + H_{V,iu} \text{ та } H_{ue} = H_{T,ue} + H_{V,ue}, \quad (2.12)$$

$$H_{V,iu} = \rho c_p q_{iu} \text{ та } H_{V,ue} = \rho c_p q_{ue}, \quad (2.13)$$

де $H_{T,iu}$ і $H_{T,ue}$ – безпосередній узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією між кондиціонованим об'ємом та/або зоною і некондиціонованим об'ємом та/або

приміщенням оранжерейного типу та між некондиціонованим об'ємом та/або приміщенням оранжерейного типу з зовнішнім середовищем відповідно, Вт/К. Обчислюють за (2.8) з коригувальним коефіцієнтом $b_{tr,x} = 1$.

$H_{v,iu}$ і $H_{v,ue}$ – узагальнений коефіцієнт теплопередачі вентиляцією між кондиціонованим об'ємом та/або зоною з некондиціонованим об'ємом та/або приміщенням оранжерейного типу, між некондиціонованим об'ємом та/або приміщенням оранжерейного типу з зовнішнім середовищем відповідно, Вт/К. Обчислюють за (2.20);

q_{iu} і q_{ue} – витрати повітря при вентиляції з інфільтрацією між кондиціонованим об'ємом та/або зоною і некондиціонованим об'ємом та/або приміщенням оранжерейного типу, між некондиціонованим об'ємом та/або приміщенням оранжерейного типу з зовнішнім середовищем відповідно, м³/год. Визначається з проектних даних або результатів вимірювань;

$\rho = 1,2$ кг/м³ – густина повітря;

$c_p = 0,28$ Вт·год/(кг·К) – питома теплоємність повітря;

Φ – тепловий потік, який заходить всередину некондиціонованого об'єму та/або приміщення оранжерейного типу, який визначають за наступною формулою, Вт:

$$\Phi = \Phi_{sol,mn,u,l} + \Phi_{int,mn,u,l} \quad (2.14)$$

де $\Phi_{int,mn,u,l}$ – тепловий потік від l -го внутрішнього джерела, осереднений за часом, в суміжному некондиціонованому об'ємі, Вт, обчислюють за п. 2.4;

$\Phi_{sol,mn,u,l}$ – тепловий потік від l -го джерела сонячного випромінювання, осереднений за часом, в суміжному некондиціонованому об'ємі, Вт, обчислюють за 2.5.

Тепловий потік Φ , який заходить всередину некондиціонованого об'єму та/або приміщення оранжерейного типу враховує, як прямі сонячні теплонадходження, так і внутрішні теплонадходження. Всі теплонадходження повинні бути обчислені для всіх огорожуючи конструкцій будівлі некондиціонованого об'єму та/або приміщення оранжерейного типу, яке межує з

навколишнім або іншим середовищем. Обчислення теплового потоку сонячного випромінювання базується на еквівалентних площах інсоляції для відповідних елементів оболонки будівлі з урахуванням поправок, що враховують затінення сонця зовнішніми перешкодами, відповідно до п. 2.5.

Для некондиціонованого об'єму та/або приміщення оранжерейного типу, яке є суміжною з більше ніж одною кондиціонованою зоною та має різні внутрішні розрахункові умови, значення коригувального коефіцієнту b_U необхідно обчислювати для кожної зони.

Сонячні, а також інші внутрішні теплонадходження, які потрапили до некондиціонованого об'єму та/або приміщення оранжерейного типу не враховують в розрахунках енергетичного балансу для суміжної кондиціонованої зони, так як вони вже враховані при обчисленні коригувального коефіцієнту b_U через температуру θ_u .

З метою сертифікації енергоефективності будівель допускається використовувати значення коригувального коефіцієнту b_U з [2].

Теплопередача до суміжних будівель

У випадку, якщо різниця температур між внутрішньою заданою температурою в суміжних будівлях відрізняється не більше ніж на 4 К включно то при розрахунку теплопередачі її не враховують. При більшій різниці температур (більше за 4 К), трансмісійну теплопередачу враховують коригувальним коефіцієнтом $b_{tr,x} = b_A$, який ґрунтується на температурі суміжної будівлі.

Коефіцієнт теплопередачі, який враховує трансмісійну теплопередачу між суміжними будівлями, обчислюється за формулою:

$$H_A = H_{iA} b_A, \quad (2.15)$$

де H_{iA} – узагальнений коефіцієнт трансмісійної теплопередачі між кондиціонованим об'ємом та/або зоною з суміжною будівлею, Вт/К, обчислюється за (2.8), з коригувальним коефіцієнтом $b_{tr,x} = 1$.

Коригувальний коефіцієнт b_A обчислюють для кожного місяця за наступною формулою:

$$b_A = (\theta_i - \theta_a) / (\theta_i - \theta_e), \quad (2.16)$$

де θ_i – розрахункова температура в кондиціонованому об’єму та/або зоні, °C;

θ_a – температура внутрішнього повітря в суміжній будівлі, °C;

θ_e – розрахункова температура оточуючого середовища, °C.

Теплопровідні включення

Лінійні і точкові коефіцієнти теплопередачі визначаються на підставі розрахунків (моделювання) двовірних і тривірних температурних полів за методикою викладеною в [13], [14].

Для най поширених теплопровідних включень лінійні та точкові коефіцієнти теплопередачі наведені в [11].

Якщо теплопровідне включення знаходиться на межі двох зон, то до кожної зони відносять половину значення лінійного коефіцієнта теплопередачі теплопровідного включення.

Для врахування впливу теплопровідних включень існуючих будівель при відсутності інформації чи її недостатній кількості щодо типу теплопровідних включень в конструкції, необхідно використовувати поправку ΔU до коефіцієнта теплопередачі:

$$U_{op,corr} = U_{op,mn} + \Delta U_{tb}, \quad (2.17)$$

де $U_{op,mn}$ – коефіцієнт теплопередачі для непрозорої частини огорожувальної конструкції будівлі, Вт/(м²K);

ΔU_{tb} – додаткова складова коефіцієнту теплопередачі для непрозорої частини огорожувальної конструкції будівлі U_{op} , що враховує теплопровідні включення, Вт/(м²K). Значення додаткової складової коефіцієнту теплопередачі береться з [2].

2.3. Теплопередача вентиляцією

Сумарна вентиляційна теплопередача через зони будівлі

Сумарну вентиляційну теплопередачу Q_{ve} , Вт·год, обчислюють для кожного місяця і кожної z -ої зони за відповідними формулами:

– для режиму опалення:

$$Q_{ve} = H_{ve,adj} (\theta_{int,set,H,z} - \theta_e) t; \quad (2.18)$$

– для режиму охолодження:

$$Q_{ve} = H_{ve,adj} (\theta_{int,set,H,z} - \theta_e) t + \sum_{i=1}^N \left(\sum_{j=1}^{24} f_{ve,extra,j,k} H_{ve,extra,j,k} (\theta_{int,set,C,z} - \theta_{e,j}) \right); \quad (2.19)$$

де $H_{ve,adj}$ – загальний вентиляційний коефіцієнт теплопередачі, Вт/К;

$H_{ve,extra,j,k}$ – загальний коефіцієнт теплопередачі за рахунок додаткової вентиляції (нічна вентиляція та/або природне охолодження) від k -го елемента, Вт/К;

$\theta_{int,set,H}$ – задана температура відповідної зони будівлі для режиму опалення, °С;

$\theta_{int,set,c,z}$ – задана температура відповідної зони будівлі для режиму охолодження, °С;

θ_e – температура зовнішнього середовища відповідного місяця, °С;

$\theta_{e,j}$ – температура зовнішнього середовища конкретної j -ої години доби, визначена за погодинними значеннями репрезентативного дня відповідного місяця згідно з додатком А [2], °С;

t – тривалість розрахункового місяця, год;

$f_{ve,extra,j,k}$ – частка роботи для конкретної j -ої години доби відповідного i -го дня та місяця від k -го елемента додаткової вентиляції (за наявності та умов роботи нічної вентиляції та/або природнього охолодження) $f_{ve,extra,j,k} = 1$, якщо не працює, $f_{ve,extra,j,k} = 0$;

$j = 1$ до 24 – крок в годинах;

$i = 1$ до N – крок в добах (наприклад, $N = 31$ для січня).

За певний період теплопередача або її частина може мати від'ємний знак в залежності від способу, в який теплота надходить до будівлі (зони).

Узагальнені коефіцієнти теплопередачі вентиляцією

Значення загального вентиляційного коефіцієнта теплопередачі $H_{ve,adj}$, Вт/К, обчислюють за формулою:

$$H_{ve,adj} = \rho_a c_a (\sum_k b_{ve,k} q_{ve,k,mn}); \quad (2.20)$$

де $\rho_a c_a = 0,33$ Вт·год/(м·К) – теплоємність одиниці об'єму повітря;

$q_{ve,k,mn}$ – витрата повітря, що усереднена за часом від k -го елемента будівлі, м³/год,;

$b_{ve,k}$ – температурний коригувальний коефіцієнт повітряного потоку для k -го елемента будівлі ($b_{ve,k} \neq 1$, якщо температура $\theta_{sup,k}$ припливного повітря не дорівнює температурі зовнішнього середовища).

Температурний коригувальний коефіцієнт b враховує різницю температур. k – індекс елемента та/або складової повітряного потоку для якої проводиться розрахунок, наприклад, інфільтрація, природна вентиляція, механічна вентиляція тощо.

Витрату повітря осереднену за часом для k -го елемента повітряного потоку $q_{ve,k,mn}$, м³/год, обчислюють за формулою:

$$q_{ve,k,mn} = f_{ve,t,k} q_{ve,k}, \quad (2.21)$$

де $q_{ve,k}$ – витрата повітря для k -го елемента повітряного потоку, м³/год, визначається за проектними даними або за результатами вимірювань згідно з [9];

$f_{ve,t,k}$ – частка роботи для k -го елемента повітряного потоку, що розрахована як частина від загальної кількості годин на добу (при постійній роботі – 24 год: $f_{ve,t,k} = 1$), визначають для того ж джерела, що і $q_{ve,k}$.

Для переривчастого режиму опалення або охолодження ефект переривчастості враховують коригувальним коефіцієнтом на енергопотреби для

режиму опалення чи охолодження. При цьому часову частку роботи розраховують для режиму постійного опалення чи охолодження, нехтуючи днями з черговим режимом опалення чи охолодження та днями з їх відключенням.

Якщо в будівлі передбачені різні характеристики теплопередачі вентиляцією для режиму опалення чи охолодження необхідно застосовувати різні вхідні дані. Таке зустрічається, наприклад, у випадках різної кратності повітрообміну для зими та літа, сезонної роботи теплоутилізаційної установки тощо.

Для вентиляції без утилізації теплоти, без попереднього підігріву або охолодження температуру припливного повітря $\theta_{sup,k}$ для розрахунку приймають рівною середньомісячній температурі зовнішнього середовища θ_e за додатком А [2] або табл. 2.1. При цьому температурний коригувальний коефіцієнт для повітря, що надходить від зовнішнього середовища дорівнює $b_{ve,k} = 1$.

Для випадку вентиляції з надходженням повітря від суміжного некондиціонованого об'єму та/або приміщення оранжерейного типу температурний коригувальний коефіцієнт приймають $b_{ve,k} = 0$.

Метод розрахунку, викладений в [2], не враховує надходження повітря від вентиляції з суміжних будівель. Для цього випадку приймають, що температурний коригувальний коефіцієнт $b_{ve,k} = 0$.

Механічна система вентиляції з центральним попереднім підігрівом або охолодженням

При регулювання температури припливного повітря за внутрішньою температурою будівлі чи її зони, наприклад, для повітряної системи опалення чи охолодження, енергопотреба центрального попереднього підігріву чи охолодження розраховується як частина від розрахункової енергопотреби будівлі чи її зони. Енергопотреба центрального попереднього підігріву чи охолодження обчислюється за цим пунктом.

Енергопотребу центрального попереднього підігріву чи охолодження вентиляційного повітря обчислюють, використовуючи різницю температури припливного та зовнішнього повітря після його центрального попереднього

підігріву чи охолодження, за наступними формулами $Q_{V,pre-heat}$ або $Q_{V,pre-cool}$, Вт·год:

– для режиму попереднього підігріву:

$$Q_{V,pre-heat} = \sum_{i=1}^N \left(\sum_{j=1}^{24} f_{ve,j,k} q_{ve,j,k} \rho_a c_a (\theta_{sup,k} - \theta_{e,j}) \right), \quad (2.22)$$

– для режиму попереднього охолодження:

$$Q_{V,pre-cool} = \sum_{i=1}^N \left(\sum_{j=1}^{24} f_{ve,j,k} q_{ve,j,k} \rho_a c_a (\theta_{e,j} - \theta_{sup,k}) \right), \quad (2.23)$$

де (для кожної відповідної z-ої зони будівлі та кожного місяця):

$f_{ve,j,k}$ – частка роботи конкретної системи вентиляції для j -ої години доби i -го дня місяця (наприклад, якщо система працює $f_{ve,j,k} = 1$, якщо не – $f_{ve,j,k} = 0$);

$q_{ve,j,k}$ – витрата повітря конкретної системи вентиляції k -ої складової в повітряному потоці, що попередньо підігрівається чи охолоджується до температури припливного повітря, м³/год;

$\theta_{e,j}$ – температура зовнішнього повітря конкретної j -ої години доби, що визначена на підставі погодинних значень для репрезентативного дня місяця за додатком А [2], °C;

$\theta_{sup,k}$ – температура k -ої складової припливного повітря для повітряного потоку, що надходить в зону будівлі після попереднього підігріву чи охолодження, °C;

$\rho_a c_a = 0,336$ Вт·год/(м³·K) – теплоємність одиниці об'єму повітря;

$j = 1$ до 24 – крок в годинах;

$i = 1$ до N – крок в добах ($N = 31$ для січня).

У разі, якщо система вентиляції працює з попереднім підігрівом або охолодженням та обладнана пристроєм утилізації теплоти, то температуру зовнішнього повітря $\theta_{e,j}$ замінюють на температуру припливного повітря від теплоутилізаційного пристрою $\theta_{sup,k,hru}$, що розраховують за наступною

формулою:

$$\theta_{sup,k,hru} = \eta_{hru}(\theta_{int,set} - \theta_e) + \theta_{e,j}, \quad (2.24)$$

де η_{hru} – ефективність утилізаційного блоку теплоти;

$\theta_{int,set}$ – задана температура відповідної зони будівлі для режиму опалення чи охолодження, °С, що забезпечується відповідно системою центрального попереднього підігріву або охолодження, обчислена за п. 2.7;

θ_e – середньомісячна температура зовнішнього середовища, °С, визначають з додатку А [2];

$\theta_{e,j}$ – температура зовнішнього повітря конкретної j -ої години доби та дня року, що визначена на підставі погодинних значень для репрезентативного дня відповідного місяця за додатком А [2], °С.

Для такого випадку різниця температур, що використовується в (2.22) чи (2.23), – це різниця температур між температурою припливного повітря після теплоутилізаційної установки та температурою припливного повітря після попереднього підігріву чи охолодження.

У випадку відсутності регулювання температури припливного повітря за внутрішньою температурою будівлі чи її зони та якщо попередній підігрів чи охолодження здійснюється до заданої температури $\theta_{int,set}$, то в цьому випадку визначають додаткову енергопотребу для підігріву або охолодження повітря до цієї (заданої) температури. В розрахунках це враховується в формулі (2.20) узагальненим коефіцієнтом теплопередачі вентиляцією $H_{ve,k}$, що ґрунтується на температурі припливного повітря $\theta_{sup,k}$, що подається з центральної установки кондиціонування та надходить до зони будівлі.

Температурний коригувальний коефіцієнт $b_{ve,k}$ повітряного потоку після центрального попереднього підігріву або охолодження можна визначити за формулою:

$$b_{ve,k} = (\theta_{int,set} - \theta_{sup,k}) / (\theta_{int,set} - \theta_e), \quad (2.25)$$

де $\theta_{int,set}$ – задана температура відповідної зони будівлі для режиму опалення чи охолодження, °C, обчислюється за п. 2.7;

$\theta_{sup,k}$ – температура припливного повітря, що надходить з центральної установки кондиціонування та подається до зони будівлі, отримана з проектних даних, результатів вимірювань або з іншого джерела, °C;

θ_e – середньомісячна температура зовнішнього повітря за додатком А [2] або за табл. 2.1, °C.

2.4. Теплонадходження від внутрішніх джерел

Теплові надходження від внутрішніх джерел, включаючи також і від'ємні теплонадходження, складаються з будь-якої теплоти, яка утворюється в кондиціонованому об'ємі внутрішніми джерелами, за виключенням тієї, що спеціально застосовується для опалення, охолодження або гарячого водопостачання.

Джерелами внутрішньої теплоти є:

- теплота створена приладами освітлення та обладнанням;
- теплота від людей;
- теплота, яка розсіяна або поглинута від системами гарячої та водопровідної води і каналізації;
- теплота, яка розсіяна або поглинута від системами опалення, охолодження та вентиляції.

Внутрішні надходження теплоти для зони будівлі, яка розглядається, Q_{int} , Вт·год, для розрахункового місяця визначається за формулою:

$$Q_{int} = \left(\sum_k \Phi_{int,mn,k} A_f \right) t, \quad (2.26)$$

де $\Phi_{int,mn,k}$ – тепловий потік від k -го джерела тепла, що усереднений за часом, Вт/м;

A_f – кондиціонована площа розрахункової зони будівлі, м^2 ;

t – тривалість періоду використання, годин на місяць.

Згідно з методикою [2] внутрішні теплонадходження від некондиціонованого об'єму та/або приміщення оранжерейного типу, суміжного з зоною будівлі, для якої ведеться розрахунок, нехтуються, адже вони вже враховані у значенні коригувального коефіцієнта b_U температурою θ_u .

Методика [2] визначає, що до уваги взяті такі теплові надходження:

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

Типові дані внутрішніх теплових надходжень наведені [2]. Тривалість періоду використання визначають за графіком виключаючи святкові дні, та приймаючи внутрішні теплові надходження нульовими під час свят. Типові графіки використання наведені в [2]. Для більш детальних розрахунків необхідно приймати фактичний або проектний графік використання.

2.5. Сонячні теплові надходження

Сонячна радіація є джерелом теплових надходжень. Її режим залежить від конкретної місцевості та обумовлюється орієнтацією поверхонь, що її сприймають, рухомим чи постійним затіненням, поглинанням та пропусканням сонячної енергії, а також характеристиками теплопередачі поверхонь, що сприймають сонячну радіацію. Еквівалентною площею інсоляції називають площу сприймаючих поверхонь з урахуванням коефіцієнту, що включає їх характеристики (включно з впливом затінення).

Теплонадходження від сонця до розрахункової зони будівлі для кожного місяця Q_{sol} визначають за формулою, $\text{Вт}\cdot\text{год}$:

$$Q_{sol} = \left(\sum_k \Phi_{sol,mn,k} \right) t, \quad (2.27)$$

де $\Phi_{sol,mn,k}$ – тепловий потік від джерела сонячного випромінювання осереднений за часом, Вт;

t – тривалість місяця для якого ведеться розрахунок, год.

Сонячні теплонадходження обчислюють, ґрунтуючись на еквівалентних площах інсоляції світлопрозорих елементів оболонки будівлі та на поправках до затінення зовнішніми перешкодами. В сонячну інсоляцію також включено теплове випромінювання оболонкою будівлі в атмосферу.

Площі, які сприймають сонячне випромінювання – це скління. Параметри сонячних теплових надходжень залежать від клімату, часу, факторів розташування таких, як положення сонця, співвідношення між прямою і розсіяною сонячною радіацією. Тому, характеристики змінюються в часі погодинно впродовж року. Як наслідок, адекватні значення необхідно вибирати такі, які відповідають меті розрахунку (опалення та/або охолодження і т.п.).

Теплові сонячні надходження через k -ий елемент оболонки будівлі $\Phi_{sol,k}$ Вт, визначають за наступною формулою:

$$\Phi_{sol,k} = F_{sh,ob,k} A_{sol,k} I_{sol,k} - F_{r,k} \Phi_{r,k} \quad (2.28)$$

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

$A_{sol,k}$ – еквівалентна площа інсоляції для k -ої поверхні з орієнтацією та кутом нахилу у даній зоні або об'ємі, що визначена для скління та непрозорих елементів, м²;

$I_{sol,k}$ – сонячна радіація, що надходить на площу k -ої поверхні з даною орієнтацією і кутом нахилу за умов середньої хмарності, визначається за додатком А [2], Вт/м²;

$F_{r,k}$ – коефіцієнт форми між оболонкою будівлі та небосхилом, приймають: $F_r = 1$ – для незатіненої горизонтальної поверхні, $F_r = 0,5$ – для незатіненої вертикальної поверхні;

$\Phi_{r,k}$ – додатковий тепловий потік обумовлений тепловим випромінюванням в

атмосферу від k -го елементу будівлі, Вт.

Еквівалентна площа інсоляції дорівнює площі абсолютно чорного тіла, яке отримує теж сонячне теплове випромінювання, як і поверхня, що розглядається. Тепловий потік внаслідок теплового випромінювання в атмосферу не є сонячним тепловим надходженням, але включений до них для спрощення.

Еквівалентну площу інсоляції світлопрозорого елементу оболонки будівлі (наприклад, вікна) A_{sol} , м², обчислюють за формулою:

$$A_{sol} = F_{sh,gl} g_{gl} (1 - F_F) A_{w,p}, \quad (2.29)$$

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

g_{gl} – коефіцієнт пропускання сонячної енергії для світлопрозорої частини елементу оболонки будівлі, знайдений за формулою (2.30);

F_F – частина площі обрамлення, що дорівнює відношенню площ проекції обрамлення до загальної проекції зашкленого елементу;

$A_{w,p}$ – площа проекції світлопрозорого елементу (наприклад, площа вікна), м².

Для вікон або інших зашкленних елементів оболонки будівлі з нерозсіювальним склінням коефіцієнт пропускання сонячної енергії для випромінювання, що перпендикулярне до скління розраховується з урахуванням оптичних властивостей цього скління.

Осереднений за часом коефіцієнт пропускання сонячної енергії параметр, значення якого менше за g_n , то для його розрахунку використовують коригувальний коефіцієнт F_w :

$$g_{gl} = F_w g_n, \quad (2.30)$$

де $F_w = 0,90$ – коригувальний коефіцієнт для нерозсіювального скління.

За наявності постійної нерухомої завіси всередині та/або ззовні приміщення зменшується загальне пропускання сонячного випромінювання. При

цьому, щоб визначити загальний коефіцієнт пропускання сонячної енергії для скління з постійною завісою, необхідно g_{gl} помножити на знижувальний коефіцієнт. Приклади знижувальних коефіцієнтів в залежності від типу постійної завіси наведені в табл. 9 [2].

Еквівалентна площа інсоляції для непрозорої частини оболонки будівлі A_{sol} розраховується за наступною формулою, m^2 :

$$A_{sol} = \alpha_{S,c} R_{se} U_c A_c, \quad (2.31)$$

де $\alpha_{S,c}$ – коефіцієнт поглинання сонячної радіації для непрозорої частини, приймають за табл. 10 [2];

$R_{se} = 0,043 \text{ м}^2\text{К/Вт}$ – тепловий зовнішній поверхневий опір для непрозорої частини,

U_c – коефіцієнт теплопередачі непрозорої частини оболонки будівлі, $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})$; у випадку фасадної теплоізоляції, що містить вентиляований повітряний прошарок, а також для вентиляованих горищних покриттів необхідно помножити U_c ще на коефіцієнт 0,04;

A_c – площа проекції непрозорої частини на відповідну сторону світу, m^2 .

Сонячні теплові надходження до некондиціонованого об'єму ґрунтуються на тепловому потоку $\Phi_{sol,mn,u,l}$, який враховує еквівалентну площу інсоляції для світлопрозорих елементів некондиціонованого об'єму.

За наявності особливих елементів огорожувальних конструкцій, наприклад, вентиляовані сонячні стіни (стіни Тромба), непрозорі елементи зі світлопрозорою ізоляцією, розрахунок сонячних теплових надходжень проводять за методикою викладеною в додатку Е [4].

Знижувальний коефіцієнт затінення рухомими засобами $F_{sh,gl}$ можна визначити за формулою:

$$F_{sh,gl} = [(1 - f_{sh,with}) g_{gl} + f_{sh,with} g_{gl} + sh] / g_{gl}, \quad (2.32)$$

де g_{gl} – коефіцієнт пропускання сонячної енергії крізь скління за відсутності затінення, обчислений за (2.30);

$g_{gl} + sh$ – коефіцієнт пропускання сонячної енергії крізь скління за наявності затінення, що визначають множенням g_{gl} на знижувальний коефіцієнт, який залежить від типу рухомого затінення;

$f_{sh,with}$ – інтервали часу, коли сонячне затінення використовується. Визначають на основі проектних даних або за фактичним станом. При відсутності конкретних даних можна використовувати дані з табл. 11 [2].

Знижувальний коефіцієнт зовнішнього затінення $F_{sh,O}$ змінюється в межах від 0 до 1, та показує частку зменшення кількості сонячного випромінювання через постійне затінення для поверхні, що розглядається, та викликане:

- топографією місцевості;
- іншими будівлями;
- елементами самої будівлі;
- зовнішніми частинами стіни де встановлений засклений елемент.

Знижувальний коефіцієнт затінення $F_{sh,O}$ можна визначити за формулою:

$$F_{sh,O} = I_{sol,ps,mean} / I_{sol,mean}, \quad (2.33)$$

де $I_{sol,ps,mean}$ – середня освітленість сонячною радіацією поверхні за наявності затінення, Вт/м²;

$I_{sol,mean}$ – середня освітленість сонячною радіацією поверхні за відсутності затінення, Вт/м².

При браку фактичних даних знижувальний коефіцієнт затінення $F_{sh,O}$ можна розраховувати за наступною формулою:

$$F_{sh,O} = F_{hor} F_{ov} F_{fin}, \quad (2.34)$$

де F_{hor} – частковий коригувальний коефіцієнт затінення горизонту, який визначають за даними табл. 12 з [2];

F_{ov} – частковий коригувальний коефіцієнт затінення для звисів, який визначають за даними табл. 13 з [2];

F_{fin} – частковий коригувальний коефіцієнт затінення для ребер, який визначають за даними табл. 14-1, 14-2 з [2].

Якщо ребра розташовані з обох боків вікна, то відповідні значення перемножуються.

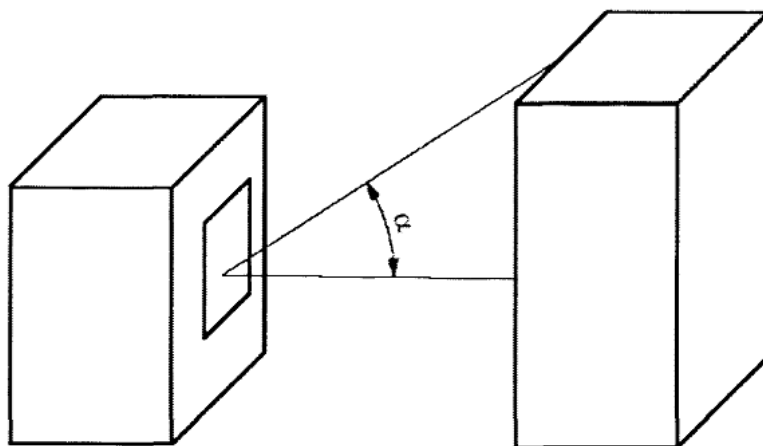
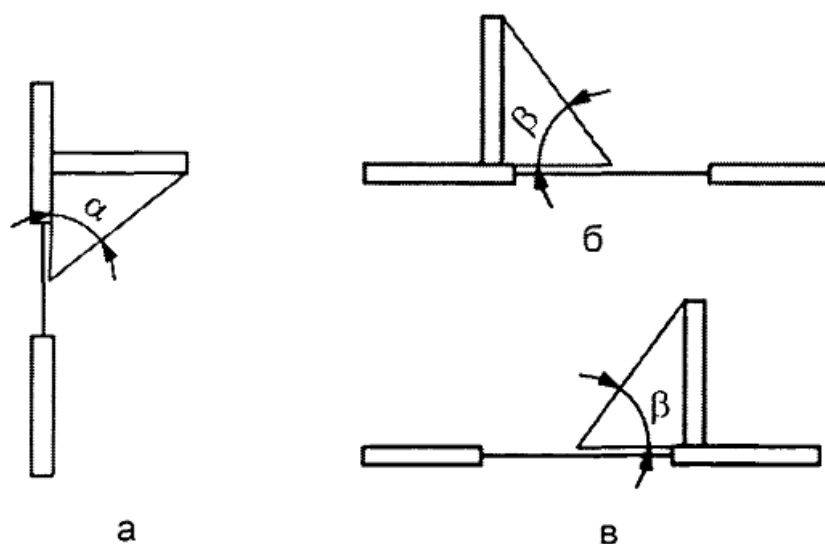


Рис. 2.1. Кут затінення, що створений протилежним будинком або рельєфом місцевості α



а – звис (затінення зверху); б – ребро зліва; в – ребро справа

Рис. 2.2. Кути затінення від звисів і ребер

Частину від площі обрамлення визначають за проектними даними на світлопрозорі елементи. За відсутності таких даних дозволяється для спрощення

розрахунків прийняти значення частки обрамлення $F_F = 0,3$ для вікон та дверних блоків і $F_F = 0,2$ для світлопрозорих фасадів.

Тепловий потік від огорожувальних конструкцій будівлі за рахунок теплового випромінювання в атмосферу Φ_r , визначають за наступною формулою, Вт:

$$\Phi_r = R_{se} U_c A_c h_r \Delta\theta_{er}, \quad (2.35)$$

де $R_{se} = 0,043 \text{ м}^2\text{К/Вт}$ – тепловий зовнішній поверхневий опір для непрозорої частини;

U_c – коефіцієнт теплопередачі для непрозорої частини, $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})$;

A_c – площа проекції елемента для якого ведеться розрахунок, м^2 ;

h_r – коефіцієнт теплопередачі випромінюванням з зовнішньої поверхні оболонки будівлі, $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})$;

$\Delta\theta_{er}$ – середня різниця температур між температурами зовнішнього повітря і «уявною» температурою атмосфери, $^{\circ}\text{C}$, для помірних широт можна прийняти, що $\Delta\theta_{er} = 11 \text{ К}$.

Коефіцієнт теплопередачі випромінюванням з зовнішньої поверхні оболонки будівлі h_r , орієнтовно можна розрахувати за формулою $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})$:

$$h_r = 4\epsilon\sigma(\theta_{ss} + 273)^3, \quad (2.36)$$

де ϵ – коефіцієнт теплового випромінювання з зовнішньої поверхні огороження будівлі, можна прийняти за табл. 10 [2] або за відповідними довідковими даними в залежності від її типу;

$\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К}^4)$ – стала Стефана-Больцмана;

θ_{ss} – середньоарифметична температури поверхні та температура атмосфери, $^{\circ}\text{C}$.

За першого наближення можна прийняти, що $h_r = 5 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$, це відповідає середній температурі в 10°C .

2.6. Динамічні параметри будівлі

Динамічний метод враховує теплові опори та теплоємності огорожувальних конструкцій будівлі, а також теплові надходження від сонця і внутрішніх теплових джерел в кожній зоні будівлі.

В методиці [2] динамічні параметри враховують шляхом введення коефіцієнта використання теплових надходжень для режиму опалення та коефіцієнта використання втрат для режиму охолодження. Вплив інерції будівлі для випадку переривчастого опалення чи його відключення враховується окремо.

Коефіцієнт використання теплових надходжень для режиму опалення $\eta_{H,gn}$ – це функція що залежить від співвідношення надходжень та втрат теплоти γ_H і числового параметра a_H , що є функцією теплової інерції будівлі, як наведено в формулах (2.35)–(2.40):

при $\gamma_H > 0$ і $\gamma_H \neq 1$:

$$\eta_{H,gn} = (1 - \gamma_H^{a_H}) / (1 - \gamma_H^{a_H + 1}), \quad (2.37)$$

при $\gamma_H = 1$:

$$\eta_{H,gn} = a_H / (a_H + 1), \quad (2.38)$$

при $\gamma_H < 0$ і $Q_{H,gn} > 0$:

$$\eta_{H,gn} = 1 / \gamma_H, \quad (2.39a)$$

при $\gamma_H \leq 0$ і $Q_{H,gn} \leq 0$:

$$\eta_{H,gn} = 1, \quad (2.39b)$$

при:

$$\gamma_H = Q_{H,gn} / Q_{H,ht}, \quad (2.40)$$

де γ_H – співвідношення надходжень та втрат теплоти для опалення;

$Q_{H,ht}$ – сумарна теплопередача для опалення, Вт·год;

$Q_{H,gn}$ – сумарні теплонадходження для опалення, Вт·год;

a_H – безрозмірний числовий параметр, який залежить від часової константи будівлі та може бути визначений за формулою:

$$a_H = a_{H,0} + \tau/\tau_{H,0}, \quad (2.41)$$

де $a_{H,0} = 1,0$ – безрозмірний числовий параметр;

τ – часова константа відповідної зони будівлі, може бути визначена за п. 2.6, год;

$\tau_{H,0} = 15$ год – довідкова часова константа.

Коефіцієнт використання втрат для режиму охолодження $\eta_{C,ls}$ є функцією, що залежить від співвідношення надходжень та втрат теплоти для охолодження γ_C і числового параметру a_C , що є функцією теплової інерції будівлі, як наведено в формулах (2.42)-(2.45):

при $\gamma_C > 0$, $\gamma_C \neq 1$ і $Q_{C,ht} > 0$:

$$\eta_{C,ls} = (1 - \gamma_C^{-a_C}) / (1 - \gamma_C^{-(a_C+1)}), \quad (2.42a)$$

при $\gamma_C > 0$, $\gamma_C \neq 1$ і $Q_{C,ht} \leq 0$:

$$\eta_{C,ls} = 1, \quad (2.42b)$$

при $\gamma_C = 1$:

$$\eta_{C,ls} = a_C / (a_C + 1), \quad (2.43)$$

при $\gamma_C < 0$:

$$\eta_{C,ls} = 1, \quad (2.44)$$

при:

$$\gamma_C = Q_{C,gn} / Q_{C,ht}, \quad (2.45)$$

де γ_C – співвідношення надходжень та втрат теплоти для охолодження;

$Q_{C,ht}$ – сумарна теплопередача трансмісією і вентиляцією для охолодження, Вт·год;

$Q_{C,gn}$ – сумарні теплонадходження для охолодження, Вт·год;

a_C – безрозмірний числовий параметр, який залежить від часової константи будівлі та може бути визначений за формулою:

$$a_C = a_{C,0} + \tau/\tau_{C,0}, \quad (2.46)$$

де $a_{C,0} = 1,0$ – безрозмірний числовий параметр;

τ – часова константа відповідної зони будівлі, год.;

$\tau_{C,0} = 15$ год. – довідкова часова константа.

Часова константа відповідної зони будівлі характеризує її внутрішню теплову інерцію, як для опалення, так і для охолодження. Її обчислюють за наступною формулою год.:

$$\tau = \frac{C_m}{H_{tr,adj} + H_{ve,adj} + H_{ve,extra,adj}}, \quad (2.47)$$

де C_m – внутрішня теплоємність будівлі або її зони, Вт·год/К;

$H_{tr,adj}$ – загальний коефіцієнт теплопередачі трансмісією, Вт/К;

$H_{ve,adj}$ – загальний коефіцієнт теплопередачі вентиляцією, Вт/К;

$H_{ve,extra,adj}$ – загальний коефіцієнт теплопередачі за рахунок додаткової вентиляції нічного та/або природного охолодження, Вт/К. $H_{ve,extra,adj} = 0$ для режиму опалення, а для режиму охолодження може бути знайдений за формулою:

$$H_{ve,extra,adj} = \frac{\sum_{i=1}^N \left(\sum_{j=1}^{24} f_{ve,extra,j,k} H_{ve,extra,j,k} \right)}{t}, \quad (2.48)$$

де $H_{ve,extra,j,k}$, $f_{ve,extra,j,k}$, t – те саме, що і для формули (2.19).

Значення $H_{tr,adj}$ і $H_{ve,adj}$ – є показовими для домінуючого сезону режиму опалення: місячні величини січня. $H_{ve,extra,adj}$ визначають для кожного місяця.

Внутрішню теплоємність будівлі або її зони C_m , визначають за формулою Вт·год/К:

$$C_m = C \cdot A_p, \quad (2.49)$$

де C – внутрішня теплоємність будівлі або її зони віднесена на одиницю

кондиціонованої площі, Вт·год/(м²·К), приймають згідно з [2];

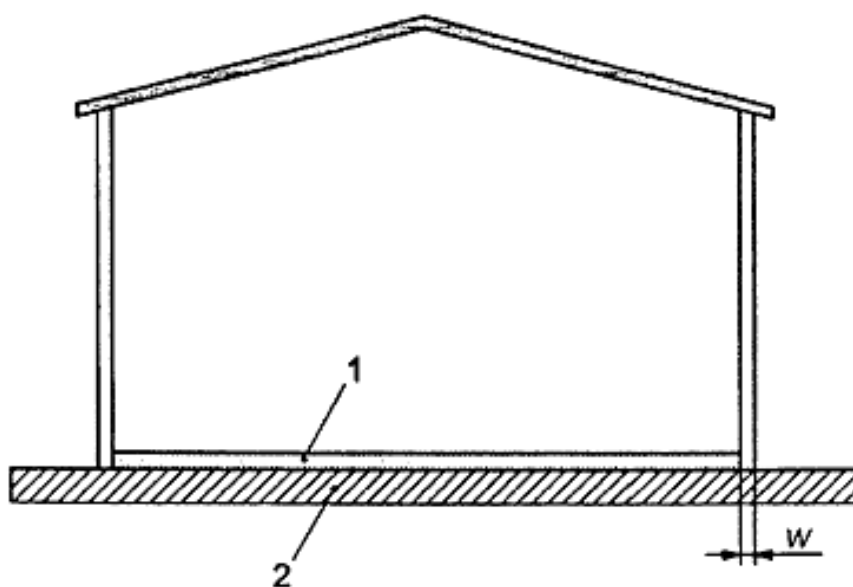
A_f – кондиціонована площа будівлі або її зони, м².

2.8. Визначення трансмісійної теплопередачі до ґрунту

Підлога розташована безпосередньо на ґрунті

Зразок підлоги, що розташована безпосередньо на ґрунті зображено на рис.

2.3.



1 – шар підлоги на ґрунті; 2 – ґрунт; w – товщина зовнішньої стіни

Рис. 2.3. Будинок з підлогою по ґрунту

Коефіцієнт теплопередачі підлоги по ґрунту U визначають за наступними формулами в залежності від результатів нерівності, Вт/(м²·К):

– при $d_t < B'$ (посередньо ізольована або неізольована підлога):

$$U = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_t} \ln \left(\frac{\pi B'}{d_t} + 1 \right), \quad (2.56)$$

– при $d_t > B'$ (гарно ізольована підлога):

$$U = \frac{\lambda}{0,457B' + d_t}, \quad (2.57)$$

де B' – характерний розмір підлоги, який визначається за формулою:

$$B' = A/(0,5 \cdot P), \quad (2.58)$$

d_t – еквівалентна товщина підлоги, яка визначається за формулою:

$$d_t = w + \lambda(R_{si} + R_f + R_{se}), \quad (2.59)$$

де A – площа підлоги по ґрунту, м^2 ;

P – зовнішній периметр підлоги по ґрунту, м ;

w – товщина зовнішньої стіни, що включає всі шари, м ;

λ – теплопровідність ґрунту на якій розташована підлога, можна прийняти за табл. 2.2 [2], $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$;

Таблиця 2.2. Теплопровідність різних ґрунтів [2]

Тип ґрунту	Теплопровідність λ , $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$
Глина або мул	1,5
Пісок або гравій	2,0
Скельний або напівскельний	3,5

R_{si} – тепловий внутрішній поверхневий опір, визначають з табл. 2.3 [2], $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$;

R_f – термічний опір підлоги, який включає всі шари, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$;

R_{se} – тепловий зовнішній поверхневий опір, визначають з табл. 2.3 [2], $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$.

Стаціонарний коефіцієнт трансмісійної теплопередачі до ґрунту H_g , $\text{Вт}/\text{К}$, визначають за формулою:

$$H_g = A \cdot U + P \cdot \Psi_g, \quad (2.60)$$

де A – те саме, що і у формулі (2.58);

Таблиця 2.3. Тепловий поверхневий опір [2]

Тип огорожувальної конструкції	Тепловий поверхневий опір R_{si} , $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$
Внутрішня, вертикальна	0,115
Внутрішня, горизонтальна при тепловому потоці зверху вниз	0,17
Внутрішня, горизонтальна при тепловому потоці знизу вверх	0,10
Усі зовнішні поверхні	0,043

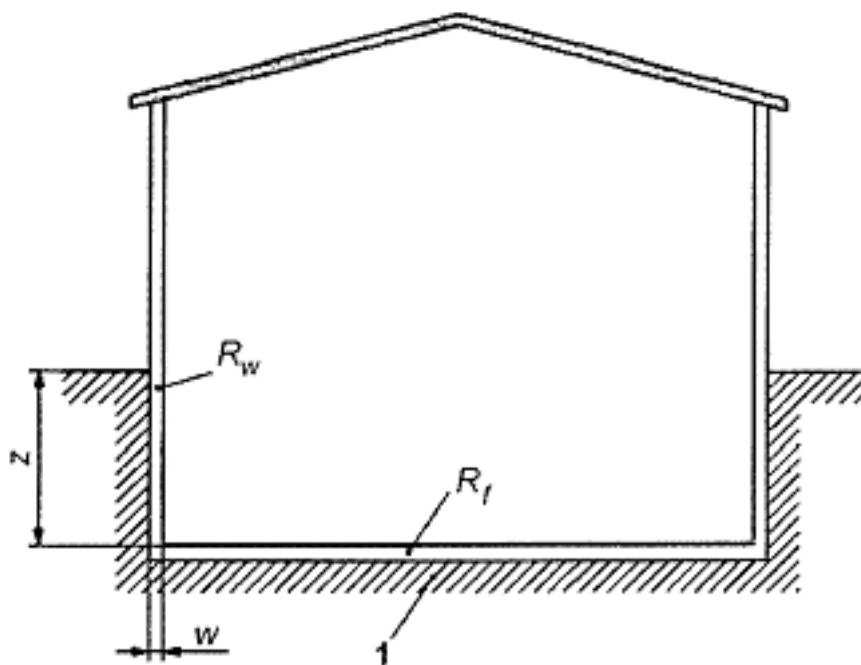
U – те саме, що і у формулах (2.56) або (2.57);

P – те саме, що і у формулі (2.58);

Ψ_g – лінійний коефіцієнт теплопередачі для теплопровідного включення вузла сполучення підлоги по ґрунту із зовнішньою стіною, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$; визначають за розрахунками згідно з методикою викладеною в [13], [14] або за даними з [11].

Опалюваний підвал або цокольний поверх

Конструкція опалюваного підвалу або цокольного поверху наведена на рис. 2.4.



1 – ґрунт; R_w – тепловий опір стін, які контактують з ґрунтом; R_f – тепловий опір підлоги; z – висота стін, що контактують з ґрунтом, а w – їх товщина

Рис. 2.5. Будинок з опалюваним підвалом або цокольним поверхом [2]

Коефіцієнт теплопередачі U_{bf} підлоги до ґрунту в опалювальному підвалі або цокольному поверху визначають за наступними формулами в залежності від результатів нерівностей, Вт/(м²·К):

– при $d_t + 0,5z < B'$ (посередньо ізольована або неізольована підлога підвалу):

$$U_{bf} = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_t + 0,5z} \ln \left(\frac{\pi B'}{d_t + 0,5z} + 1 \right), \quad (2.61)$$

– при $d_t + 0,5z \geq B'$ (добре ізольована підлога в підвалі):

$$U_{bf} = \frac{\lambda}{0,457B' + d_t + 0,5z}, \quad (2.62)$$

де B' – характерний розмір підлоги по ґрунту, визначають за формулою (2.58);

d_t – еквівалентна товщина підлоги по ґрунту, визначають за формулою (2.59);

λ – теплопровідність ґрунту по ґрунту, визначають з табл. 2.3 Вт/(м·К);

z – висота стін, що контактують з ґрунтом тобто знаходяться нижче планувальної відмітки рівня землі, м.

Коефіцієнт теплопередачі стін, які контактують з ґрунтом, U_{bw} , Вт/(м²·К), визначають за наступною формулою:

$$U_{bw} = \frac{2\lambda}{\pi z} \left(1 + \frac{0,5d_t}{d_t + z} \right) \ln \left(\frac{z}{d_w} + 1 \right), \quad (2.63)$$

де d_t , λ , z – те саме, що і у формулах (2.61) або (2.62);

d_w – еквівалентна сумарна товщина стін, які контактують з ґрунтом, визначають за наступною формулою:

$$d_w = \lambda(R_{si} + R_w + R_{se}), \quad (2.64)$$

де λ , R_{si} , R_{se} – те саме, що і у формулі (2.59);

R_w – термічний опір стін, які контактують з ґрунтом, враховуючи всі шари, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$.

Формула (2.63) враховує значення d_w і d_t та є справедливою у випадку якщо $d_w \geq d_t$. При $d_w < d_t$ у формулі (2.63) необхідно замінити на d_w .

Стаціонарний та узагальнений коефіцієнт трансмісійної теплопередачі до ґрунту H_g , визначають за наступною формулою, $\text{Вт}/\text{К}$:

$$H_g = A \cdot U_{bf} + z \cdot P \cdot U_{bw} + P \cdot \Psi_g, \quad (2.65)$$

де A , P – те саме, що і у формулі (2.58);

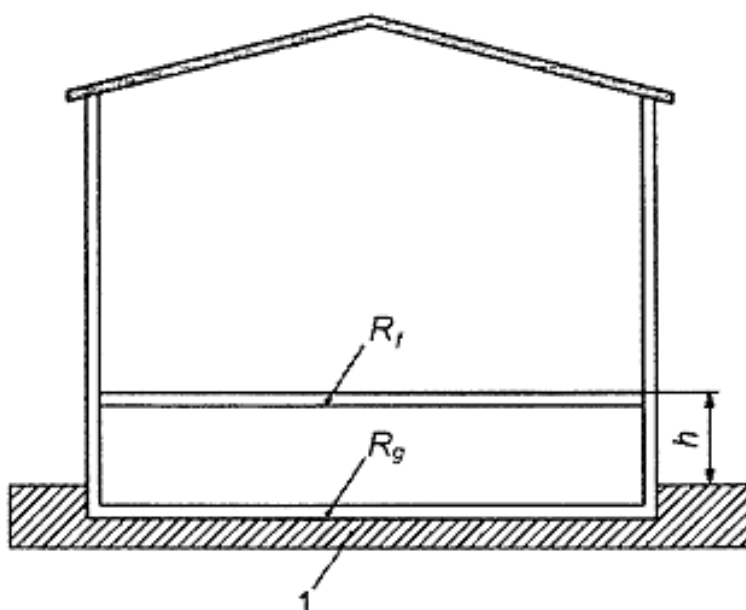
U_{bf} , z – те саме, що і у формулах (2.62) або (2.63);

U_{bw} – те саме, що і у формулі (2.64);

Ψ_g – те саме, що і у формулі (2.60).

Технічне підпілля

Зразок технічного підпілля показано на рис. 2.6.



1 – ґрунт; R_g – термічний опір підлоги по ґрунту; R_f – термічний опір перекриття над технічним підпіллям;

Рис. 2.6. Будинок з технічним підпіллям [2]

Коефіцієнт теплопередачі огорожувальних конструкцій технічного підпілля U визначають з наступної формули, Вт/(м²·К):

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{1}{U_g + U_x}, \quad (2.66)$$

де U_f – коефіцієнт теплопередачі перекриття, що відокремлює технічне підпілля, Вт/(м·К);

$U_x = \frac{1}{R_g}$ – коефіцієнт теплопередачі підлоги по ґрунту, Вт/(м²К);

U_x – еквівалентний коефіцієнт теплопередачі між зовнішнім середовищем та простором технічного підпілля, що обумовлюється вентиляцією та тепловим потоком крізь зовнішні стіни технічного підпілля, Вт/(м²·К).

Коефіцієнт теплопередачі підлоги по ґрунту U_g визначають, з наступної формули

$$d_g = w + \lambda(R_{si} + R_f + R_{se}), \quad (2.67)$$

$$U_g = \frac{2\lambda}{\pi B' + d_g} \ln \left(\frac{\pi B'}{d_g} + 1 \right), \quad (2.68)$$

де R_f – термічний опір підлоги в технічному підпіллі, м·К/Вт;

$w, \lambda, R_{si}, R_{se}$ – те саме, що і у формулі (2.59);

B' – те саме, що і у формулі (2.58).

Еквівалентний коефіцієнт теплопередачі простору технічного підпілля та зовнішнього середовища U_x визначають за наступною формулою:

$$U_x = 2 \frac{h \cdot U_w}{B'} + 1450 \frac{\varepsilon \cdot v \cdot f_w}{B'}, \quad (2.69)$$

де h – висота від рівня ґрунту до верхньої відмітки перекриття технічного

підпілля, м;

U_w – коефіцієнт теплопередачі зовнішніх стін технічного підпілля, що контактує з повітрям, Вт/(м²·К);

ε – загальна площа вентиляційних отворів в підпільному просторі, м²;

v – середня швидкість вітру, яка визначається з [15] (за переважним напрямом в січні місяці), м/с;

f_w – ступінь вітрозахисту, що визначається з [2].

Якщо висота h не є постійною та змінюється по периметру підлоги, то в формулі (2.69) необхідно застосовувати її середнє значення для всієї будівлі.

Стаціонарний та узагальнений коефіцієнт трансмісійної теплопередачі до ґрунту H_g , Вт/К, визначають за формулою (2.60).

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНСТРУКТИВНИХ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ БУДІВЛІ НА ПИТОМІ НОРМИ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ

3.1. Загальні положення удосконалення методики енергетичної сертифікації

Існуюча система енергетичної сертифікації будівель, що базується на оцінці ступеню відхилення розрахункового (фактичного) енергоспоживання від нормативної (еталонної) максимальної питомої енергопотреби має рід недоліків. Найголовнішим недоліком такого підходу є використання фіксованого значення максимальної енергопотреби для будівлі або приміщення $EP_{\max}$, а також використання сукупної норми на опалення, охолодження та гаряче водопостачання.

Формули (2.2) та (2.3) можуть бути представлені в наступному вигляді:

– для житлових будинків

$$\begin{aligned} EP &= (Q_{H,nd} + Q_{C,nd} + Q_{DHW,nd})/A_f = Q_{H,nd}/A_f + Q_{C,nd}/A_f + Q_{DHW,nd}/A_f = \\ &= EP_{H,nd} + EP_{C,nd} + EP_{DHW,nd}, \end{aligned} \quad (3.1)$$

– для громадських будинків

$$\begin{aligned} EP &= (Q_{H,nd} + Q_{C,nd} + Q_{DHW,nd})/V = Q_{H,nd}/V + Q_{C,nd}/V + Q_{DHW,nd}/V = \\ &= EP_{H,nd} + EP_{C,nd} + EP_{DHW,nd}, \end{aligned} \quad (3.2)$$

де $EP_{H,nd}$, $EP_{C,nd}$ та $EP_{DHW,nd}$ – відповідна питома річна енергопотреба будівлі окремо для опалення, охолодження та гарячого водопостачання, кВт·год.

Відповідно для виконання умови (2.1) $EP_{\max}$ повинно розглядатися окремо для опалення, охолодження та гарячого водопостачання. Так, наприклад, відсутність охолодження та гарячого водопостачання дозволяє збільшити EP та

підвищити клас енергетичної ефективності будинку, що ніяк не пов'язано з якістю теплової ізоляції та наявністю систем рекуперації тепла в будинку. І навпаки наявність в будинку гарячого водопостачання та охолодження призводить до збільшення EP та зменшення класу енергетичної ефективності будинку. Такий підхід не враховує також конструктивні особливості та особливості експлуатації кожної конкретної будівлі.

З метою удосконалення системи енергетичної сертифікації запропоновано зробити змінне значення нормативної максимальної енергопортеби для опалення $EP_{H,nd}$, що буде базуватися на мінімально допустимих значеннях опору теплопередачі огорожувальних конструкцій житлових та громадських будівель (табл. 2.3), і нормативній максимальній допустимій кратності повітрообміну (табл. 2.6). Також при обчисленні нормативної максимальної енергопортеби на опалення необхідно врахувати інші особливості експлуатації будівлі або приміщення.

Серед факторів, що впливають на енергоспоживання слід відзначити наступні:

1. Конструктивні:

- коефіцієнт скління фасаду будівлі;
- показник компактності будівлі;
- тип підлоги;
- типу даху;
- нерівномірність скління фасаду будинку за сторонами світу.

2. Особливості експлуатації:

- географічне місце розташування;
- задана температура опалення.

Удосконалена методика енергетичної сертифікації полягає в наступному.

1. Підготовка нормативних даних будівлі для розрахунку.

Підготовка значень мінімально допустимих опорів теплопередачі огорожувальних конструкцій.

Підготовка нормативного значення кратності повітрообміну.

2. Підготовка фактичних даних для розрахунку.

Вибір кліматичних даних за географічним місцем розташування (додаток А [2]).

Визначення характерних площ будівлі за сторонами світу.

Визначення заданої або нормативної температури для опалення.

3. Розрахунок нормативного значення максимальної питомої енергопотреби на опалення для будівлі.

4. Розрахунок енергоспоживання будівлею на опалення за фактичними значеннями опорів теплопередачі огорожувальних конструкцій та кратності повітрообміну або після впровадження енергозберігаючих заходів за методикою розділу 2 або [2].

5. Визначення ступеня відхилення між питомим розрахунковим енергоспоживанням та розрахунковим значенням максимальної нормативної енергопотреби на опалення для будівлі.

6. Присвоєння класу енергетичної ефективності будівлі.

Застосування удосконаленої методики енергетичної сертифікації будівлі дозволяє:

- врахувати мінімально допустимі опори теплопередачі огорожувальних конструкцій при визначені нормативної максимальної (еталонної) питомої енергопотреби;

- врахувати нормативне значення кратності повітрообміну при визначені нормативної максимальної (еталонної) питомої енергопотреби;

- врахувати конструктивні та експлуатаційні особливості будівлі при визначені нормативної максимальної (еталонної) питомої енергопотреби;

- розрахувати значення нормативної максимальної (еталонної) питомої енергопотреби для будівель, що входять табл. 2.1, наприклад, овочесховища, пости охорони і т.п.

З метою обґрунтування застосування удосконаленої методики зі змінним значенням нормативної максимальної питомої енергопотреби дослідимо вплив конструктивних та експлуатаційних факторів на енергоспоживання опаленням будівлі або приміщення.

3.2. Дослідження впливу коефіцієнта скління фасаду будівлі на її енергоспоживання

Одним з факторів який впливає на енергоспоживання є термічний опір та загальна площа вікон будівлі. Зрозуміло, що якщо опір теплопередачі вікна буде меншим за опір теплопередачі стіни, то з збільшенням загальної площі вікон енергоспоживання будівлею повинно також збільшуватися. Враховуючи, що важливу роль відіграє не загальне значення площі вікон, а їх відношення до загальної площі стін то вводиться поняття коефіцієнта скління фасадів будівлі.

Коефіцієнт скління фасадів будинку $m_{ск}$ визначається за формулою:

$$m_{ск} = \frac{F_{cn}}{F_{нп} + F_{д} + F_{cn}}, \quad (3.3)$$

де F_{cn} – загальна площа зовнішніх світлопрозорих огорожувальних конструкцій, m^2 ;

$F_{нп}$ – загальна площа зовнішніх непрозорих стінових огорожувальних конструкцій, m^2 ;

$F_{д}$ – загальна площа входних дверей, m^2 .

Дослідимо вплив коефіцієнту скління фасаду будинку на загальне енергоспоживання. Для обчислення енергоспоживання скористаємося методикою наведеною в розділі 2 або [2]. При цьому лінійними та точковими теплопровідностями знехтуємо. Опір теплопередачі огорожувальних конструкцій відповідатиме мінімально допустимому для I температурної зони. Опором теплопередачі дверей знехтуємо. Кратність повітрообміну прийнята $1,0 \text{ год}^{-1}$. В якості призначення будівлі обрано – житлові будинки. Орієнтація будинку – за основними сторонами світу. Площі вікон на кожную сторону світу (стіну) однакова. Засоби рухомого затінення відсутні. Затінення зовнішніми перешкодами – відсутнє. Підлога – по ґрунту (матеріал глина). Так як опір теплопередачі підлоги по ґрунту не нормується, то в якості нормативного використаний мінімальний опір зовнішніх стін. Географічне місце розташування м. Кропивницький. Дах будинку

– суміщене покриття. Форма будинку – кубічна, розміром 50×50×50 м. Результати проведених розрахунків представлені графіком наведеним на рис. 3.1.

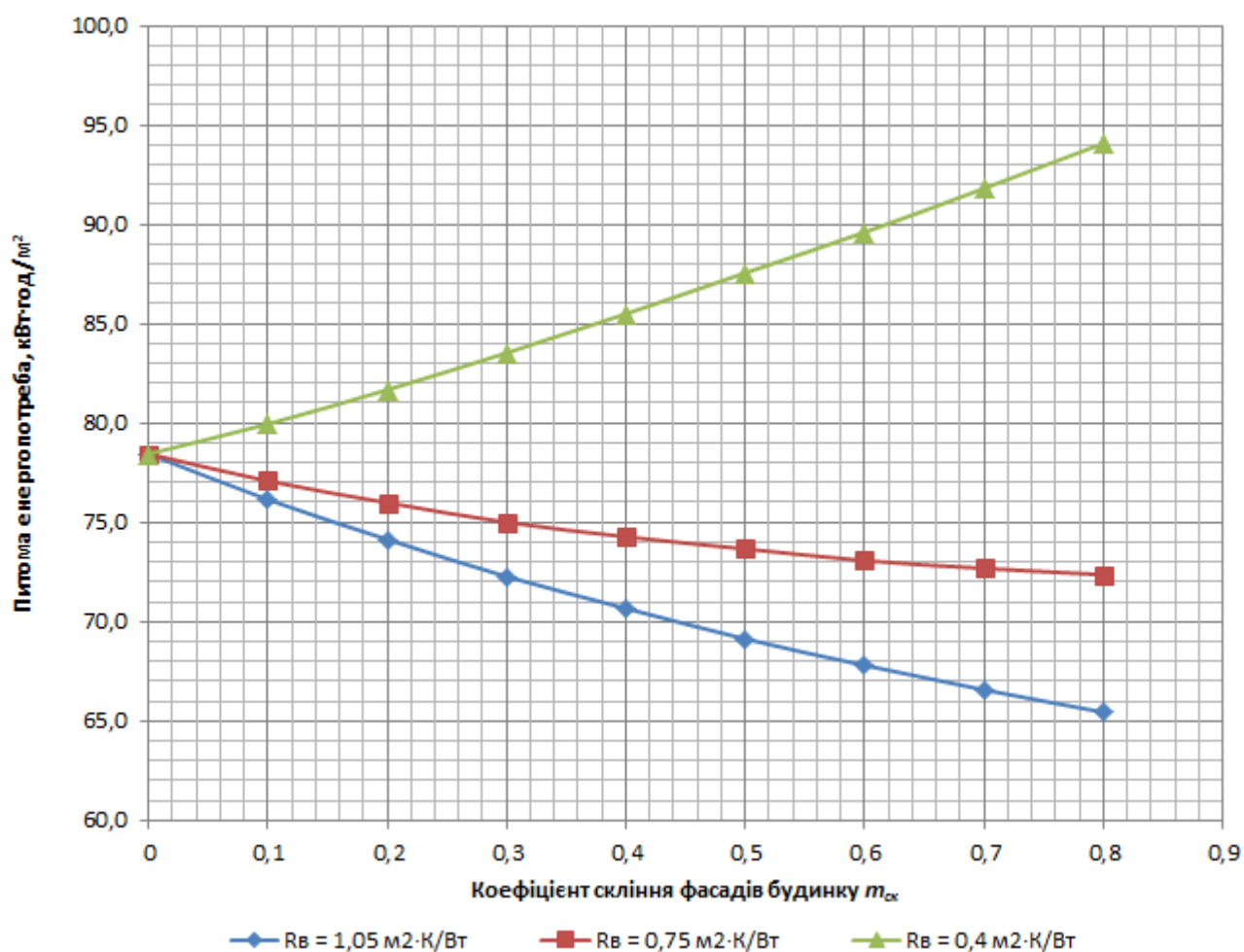


Рис. 3.1. Графік залежності питомого енергоспоживання на опалення будівлею в залежності від коефіцієнта скління при різних значеннях опору теплопередачі світлопрозорих огорожувальних конструкцій.

Аналізуючи графік наведений на рис. 3.1 можна зробити наступні висновки:

1. При мінімально допустимому опорі теплопередачі світлопрозорих огорожувальних конструкцій $R_{b \min} = 0,75 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ при збільшенні коефіцієнту скління фасаду будинку питоме енергоспоживання зменшується. Хоча мінімально допустимий опір теплопередачі світлопрозорих огорожувальних конструкцій менше більше ніж у чотири рази за мінімально допустимий опір теплопередачі

зовнішніх стін $R_{\text{ст min}} = 3,3 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ такий характер зміни енергоспоживання пояснюється збільшенням сонячних теплових надходжень, які при мінімально допустимому опорі теплопередачі світлопрозорих огорожувальних конструкцій переважають збільшення теплових втрат.

2. При меншому опорі теплопередачі світлопрозорих огорожувальних конструкцій, наприклад, при однокамерному склопакеті $R_{\text{в}} = 0,4 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$, збільшення коефіцієнту скління фасаду будинку призводить до збільшення питомого енергоспоживання. Це пояснюється збільшенням теплових втрат, які переважають збільшення сонячних теплових надходжень.

Отже, як висновок, можна стверджувати, що при мінімально допустимому опорі теплопередачі світлопрозорих огорожувальних конструкцій збільшення скління фасаду будинку не призводить до збільшення енергоспоживання.

3.3. Дослідження впливу показника компактності будівлі на її енергоспоживання

Одним з показників, який характеризує геометричні розміри будинку є показник компактності.

Показник компактності будинку, $\Lambda_{\text{к бод}}$, м^{-1} , визначається за формулою:

$$\Lambda_{\text{к бод}} = \frac{F_{\Sigma}}{V_{\text{h}}}, \quad (3.4)$$

де F_{Σ} – загальна площа зовнішніх огорожувальних конструкцій, м^2 ;

V_{h} – опалюваний об'єм будівлі, м^3 .

При зростанні лінійного розміру об'єм збільшується набагато швидше ніж площа поверхні тіла, адже об'єм пропорційний кубу лінійного розміру, а площа квадрату. Це характерне не тільки для тіл кубічної форми, а і для будь яких інших за умови збереження форми або пропорцій. Отже, будинок більший за розмірами буде мати менший показник компактності ніж аналогічний за формою але менший за розмірами.

Звідси впливає важливий факт. Тепловіддача пропорційна площі поверхні, а теплоємність об'єму. Тому більша за розмірами будівля буде довше віддавати накопичене тепло за світловий день (або нагріватися в день) і тому споживатиме менше енергії на одиницю корисної площі.

Дослідимо вплив показника компактності будівлі на її енергоспоживання. Для цього скористаємося методикою розрахунку наведеною в розділі 2 або [2]. Лінійними та точковими теплопровідностями знехтуємо. Опір теплопередачі огорожувальних конструкцій відповідатиме мінімально допустимому для I температурної зони. Опором теплопередачі дверей та вікон знехтуємо. Кратність повітрообміну прийнята $1,0 \text{ год}^{-1}$. В якості призначення будівлі обрано – житлові будинки. Орієнтація будинку – за основними сторонами світу. Підлога – по ґрунту (матеріал глина). Опір теплопередачі підлоги по ґрунту – мінімальний опір зовнішніх стін. Форма будинку – кубічна, розміри змінювалися для отримання необхідного показника компактності будівлі. Географічне місце розташування м. Кропивницький. Дах будинку – суміщене покриття. Результати проведених розрахунків представлені графіком наведеним на рис. 3.2.

Характер графіка залежності питомого енергоспоживання від показника компактності будівлі представленого на рис. 3.2 можна пояснити наступним чином. Теплові втрати крізь огорожувальні конструкції збільшуються пропорційно їх площі, а отже квадрату лінійних розмірів. Кількість теплової енергії, що йде на нагрів вентильованого повітря збільшується пропорційно об'єму приміщення, а отже кубу лінійних розмірів. В той же час, кондиційована площа будівлі A_p , що входить до знаменника формули (2.2) для визначення питомого енергоспоживання житлових будинків пропорційна об'єму будинку, а отже кубу лінійних розмірів. Відповідно, питома енергопотреба будинку буде обернено пропорційна його лінійному розміру. Так само і показник компактності будинку також обернено пропорційний його лінійному розміру. Тим самим пояснюється лінійна залежність питомої енергопотреби від показника компактності будинку. Отже, чим більший розмір будинку тим менша його питома енергопотреба, що пояснюється не якістю його теплової ізоляції.

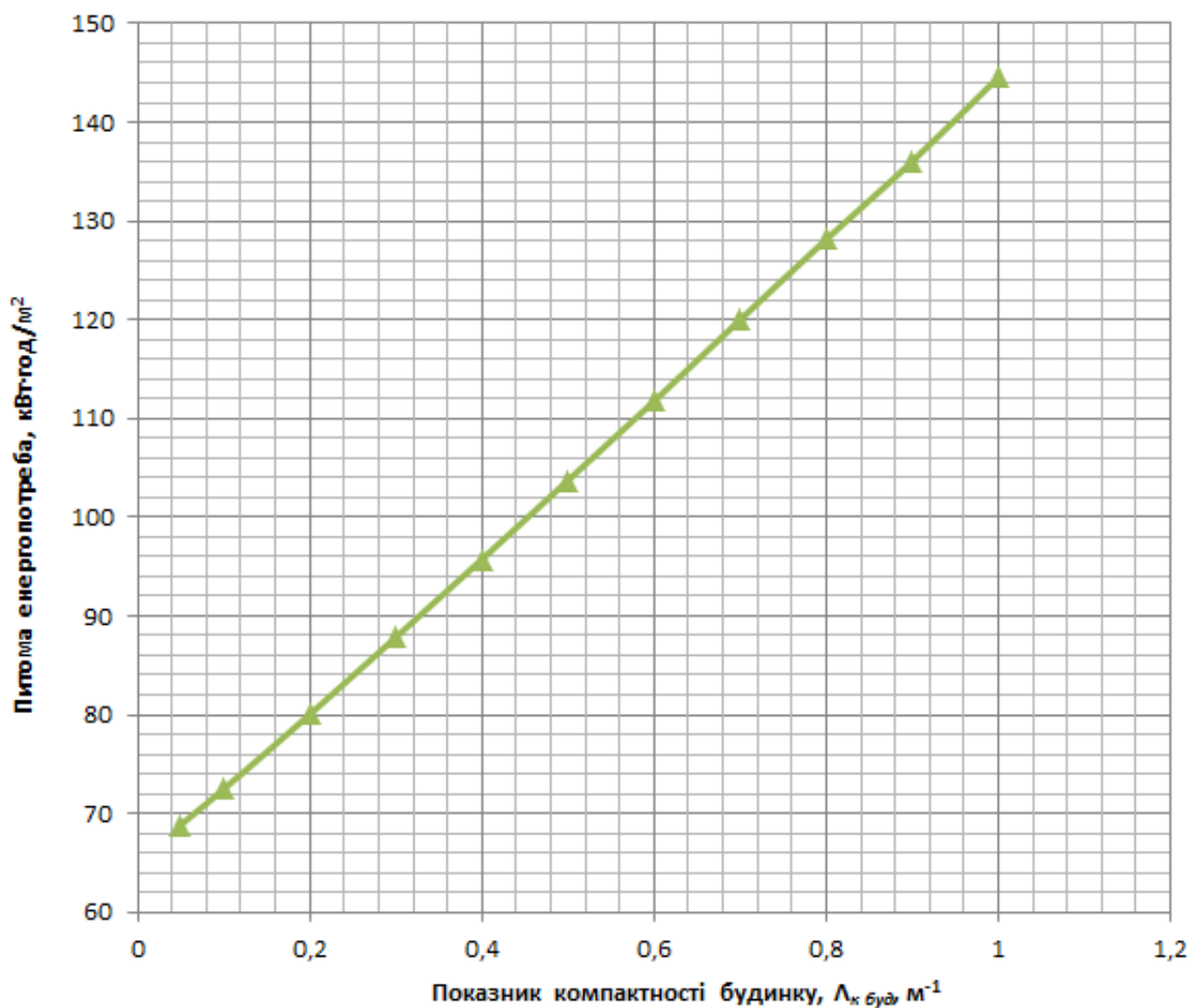


Рис. 3.2. Графік залежності питомого енергоспоживання будівлею в залежності від показника компактності.

Враховуючи, що зміна питомої енергопотреби в залежності від показника компактності будівлі суттєва (рис. 3.2), то необхідно враховувати показник компактності будівлі при заданні нормативної питомої енергопотреби для енергетичної сертифікації та визначенні класу енергетичної ефективності будівлі.

3.4. Дослідження впливу конструктивних особливостей підлоги та даху будинку на його енергоспоживання

Дах будинку розглянемо конструктивно виконаний в двох варіантах або суміщене покриття або неопалювальне горище. Варіант опалювального технічного поверху або горища розглядати не будемо. Такий варіант рідко

зустрічається до того ж його можна розглядати, як додатковий поверх але зі зниженою внутрішньою температурою.

Підлогу в будинку розглянемо в трьох варіантах: підлога по ґрунту, опалювальний підвал та технічне підпілля.

Дослідимо вплив конструктивних особливостей підлоги та даху будинку на його загальне енергоспоживання. Для обчислення енергоспоживання скористаємося методикою наведеною в розділі 2 або [2]. При цьому лінійними та точковими теплопровідностями знехтуємо. Опір теплопередачі огорожувальних конструкцій відповідатиме мінімально допустимому згідно табл. 2.1 для I температурної зони. Опором теплопередачі дверей та вікон знехтуємо. Кратність повітрообміну прийнята $1,0 \text{ год}^{-1}$. В якості призначення будівлі обрано – житлові будинки. Орієнтація будинку – за основними сторонами світу. Географічне місце розташування м. Кропивницький. Форма будинку – кубічна, розміром $30 \times 30 \times 30 \text{ м}$. Результати проведених розрахунків представлені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1. Результати розрахунку питомої енергопотребы від конструктивних особливостей даху та підлоги будинку.

Огороджувальна конструкція	Тип конструкції	Питома енергопотреба, $\text{кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2$
Дах	Суміщене покриття	80,047
	Неопалювальне горище, що вентильовується зовнішнім повітрям	80,344
	Неопалювальне горище, що не вентильовується зовнішнім повітрям	80,316
Підлога ($R_f = 3,3 \text{ (м}^2 \cdot \text{К) / Вт}$)	Підлога по ґрунту	80,047
	Опалювальний підвал	80,622
	Технічне підпілля	81,846
Підлога ($R_f = 0,0 \text{ (м}^2 \cdot \text{К) / Вт}$)	Підлога по ґрунту	82,147
	Опалювальний підвал	81,336
	Технічне підпілля	80,736

Аналізуючи результати розрахунку наведені в табл. 3.1 можна зробити наступні висновки. Тип конструктивного виконання даху або підлоги будинку

при забезпечені нормативних показників опору теплопередачі не створює суттєвого впливу на питому енергопотребу будинку. Також не створює суттєвого впливу ненормований показник опору теплопередачі підлоги по ґрунту R_f (табл. 3.1).

Проведений розрахунок впливу матеріалу ґрунту на питому енергопотребу будинку з підлогою по ґрунту (табл. 3.2). При розрахунках опором теплопередачі підлоги по ґрунту знехтувана ($R_f = 0$).

Таблиця 3.2. Результати розрахунку питомої енергопотреби будинку з підлогою по ґрунту при різних матеріалах ґрунтів ($R_f = 0$).

Матеріал ґрунту	Питома енергопотреба, кВт·год/м ²
Глина або мул	82,147
Пісок або гравій	83,018
Скельний або напівскельний ґрунт	85,425

Аналізуючи результати розрахунку табл. 3.2 можна дійти до висновку, що матеріал ґрунту суттєво не впливає на питому енергопотребу будинку навіть за відсутності підлоги по ґрунту як такої (підлога на відкритому ґрунті).

Отже, підсумовуючи результати проведених розрахунків можна зробити наступні висновки:

1. Тип конструктивного виконання підлоги або даху приміщення при дотриманні мінімально допустимих показників опору теплопередачі не впливає суттєво на загальну енергопотребу будинку.

2. Матеріал ґрунту на якому побудований будинок суттєво не впливає на його загальну енергопотребу.

3.5. Дослідження впливу орієнтації будівлі за сторонами світу на її енергоспоживання

На загальну енергопотребу будинку впливає кількість сонячних теплових надходжень, які в свою чергу залежать від орієнтації будинку за сторонами світу та площі світлопрозорих огорожувальних конструкцій. Конструктивною

особливістю будинку може бути неоднакова площа світлопрозорих огорожувальних конструкцій за сторонами світу, яка потенційно може впливати на її енергопотребу при цьому не характеризуючи якість теплової ізоляції огорожувальних конструкцій.

Дослідимо, як впливає орієнтація будинку та нерівномірність розташування світлопрозорих огорожувальних конструкцій за сторонами світу на її енергопотребу. Для обчислення енергоспоживання скористаємося методикою наведеною в розділі 2 або [2]. При цьому лінійними та точковими теплопровідностями знехтуємо. Опір теплопередачі огорожувальних конструкцій відповідатиме мінімально допустимому згідно табл. 2.1 для I температурної зони. Опором теплопередачі дверей знехтуємо. Кратність повітрообміну прийнята $1,0 \text{ год}^{-1}$. В якості призначення будівлі обрано – житлові будинки. Опір теплопередачі підлоги по ґрунту дорівнює мінімальному опору зовнішніх стін. Матеріал ґрунту – глина. Форма будинку – кубічна, розміром $30 \times 30 \times 30 \text{ м}$. Засоби рухомого затінення відсутні. Затінення зовнішніми перешкодами – відсутнє. При розрахунку змінювався коефіцієнт скління фасаду будинку, а також приймалося, що світлопрозорі огорожувальні конструкції виходять лише на одну сторону світу з основною або проміжною орієнтацією. Географічне розташування м. Кропивницький. Дах будинку – суміщене покриття. Результати проведених розрахунків представлені в табл. 3.3. За даними табл. 3.3 побудований графік представлений на рис. 3.3.

Аналізуючи дані табл. 3.3 та графік рис. 3.3 можна зробити наступні висновки:

1. Вплив орієнтації світлопрозорих огорожувальних конструкцій при мінімально допустимому термічному опорі $R_{b \min} = 0,75 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ за сторонами світу на енергоспоживання будинку є доволі відчутним.

2. Збільшення площі світлопрозорих огорожувальних конструкцій (збільшення коефіцієнта скління фасаду будинку) в стінах орієнтованих на північ, північно-схід та північно-захід призводить до збільшення питомої енергопотреби будинку.

Таблиця 3.3. Результати розрахунку питомої енергопотребы будинку при різних орієнтаціях світлопрозорих огорожувальних конструкцій за сторонами світу

Сторона світу	Питома енергопотреба, кВт·год/м ² при коефіцієнті скління фасаду будинку			
	0,0	0,1	0,2	0,25
Пн	79,73	81,615	83,562	84,558
ПнСх	79,734	81,139	82,697	83,518
Сх	79,73	79,731	80,068	80,23
ПдСх	79,734	77,955	76,67	76,076
Пд	79,73	77,015	74,832	73,896
ПдЗх	79,734	78,002	76,731	76,138
Зх	79,73	79,704	79,98	80,2
ПнЗх	79,734	81,133	82,675	83,488

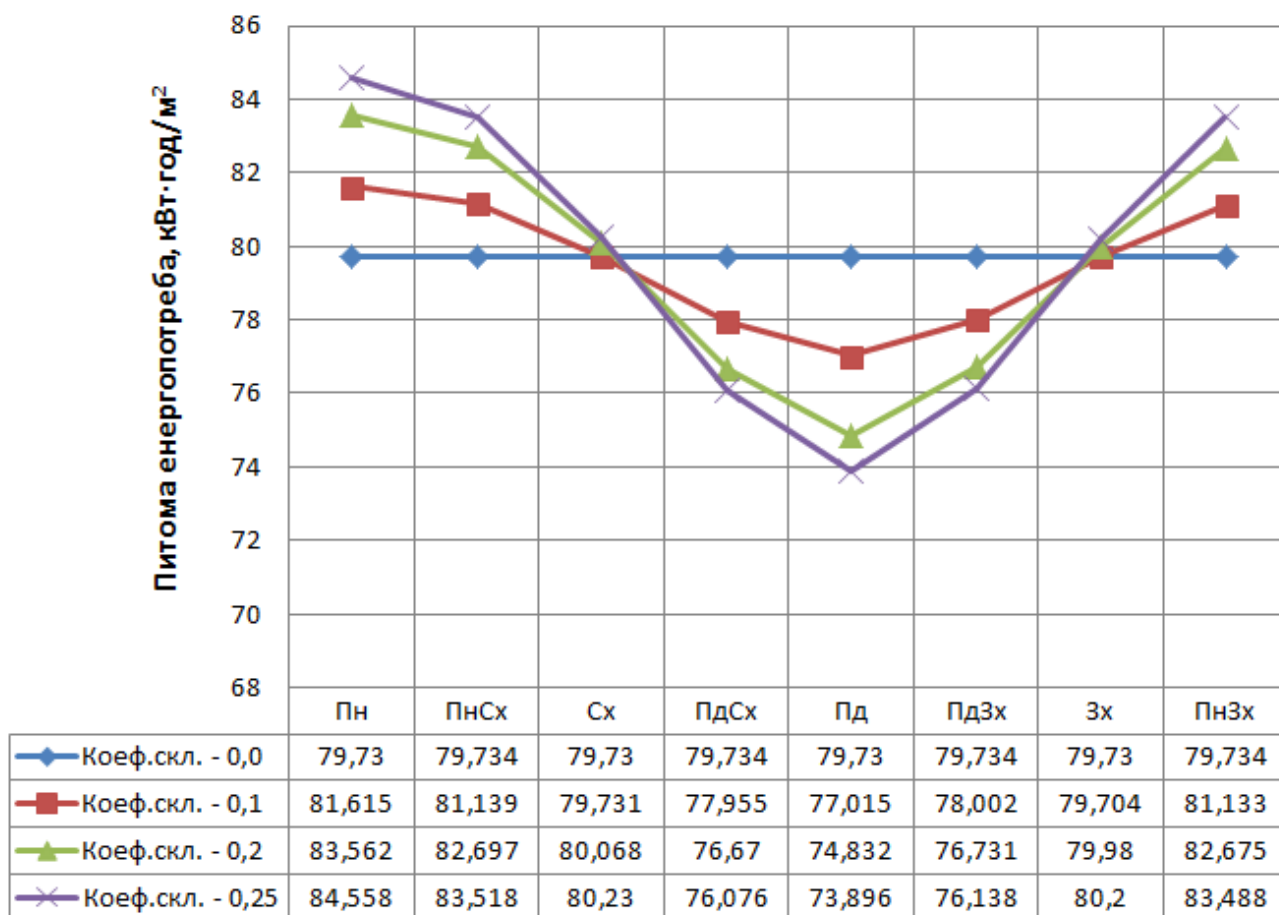


Рис. 3.3. Графік залежності питомої енергопотребы будинку при різних орієнтаціях за сторонами світу світлопрозорих огорожувальних конструкцій та різному коефіцієнті скління фасаду будинку

3. Збільшення площі світлопрозорих огорожувальних конструкцій (збільшення коефіцієнта скління фасаду будинку) в стінах орієнтованих на південь, південно-схід та південно-захід призводить до зменшення питомої енергопотребы будинку.

4. З розрахунку проведеного в п. 3.2 випливає, що пропорційне збільшення площі світлопрозорих огорожувальних конструкцій одночасно в стінах орієнтованих на усі сторони світу при мінімально допустимому термічному опорі світлопрозорих огорожувальних конструкцій не призводить до збільшення питомої енергопотребы будинку.

3.6. Дослідження впливу географічного розташування будинку на його енергоспоживання

Енергопотреба будинку буде залежати від кліматичних умов його розташування. В той же час кліматичні умови будуть залежати від географічного місця розташування. З метою врахування кліматичних умов територія України розділена на дві температурні зони, для яких задаються як різні нормативні питомі енергопотреби так і різні мінімальні опори теплопередачі огорожувальних конструкцій будинків.

Дослідимо, як впливають кліматичні умови географічного місця розташування будинку в межах кожної температурної зони на його енергопотребу. Для обчислення енергоспоживання скористаємося методикою наведеною в розділі 2 або [2]. При цьому лінійними та точковими теплопровідностями знехтуємо. Опір теплопередачі огорожувальних конструкцій відповідатиме мінімально допустимому для кожної температурної зони. Опором теплопередачі дверей та вікон знехтуємо. Кратність повітрообміну прийнята $1,0 \text{ год}^{-1}$. В якості призначення будівлі обрано – житлові будинки. Орієнтація будинку – за основними сторонами світу. Опір теплопередачі підлоги по ґрунту дорівнює мінімальному опору зовнішніх стін. Матеріал ґрунту – глина. Форма будинку – кубічна, розміром $30 \times 30 \times 30$ м. Дах будинку – суміщене покриття. В кожній з температурних зон обрано два місця з найбільшою та найменшою середньорічною

температурою, при цьому до уваги не брався карпатський регіон України. При розрахунках також враховувалася зміна сонячної інсоляції в залежності від місця географічного розташування (табл. А.4 [2]). Результати проведених розрахунків представлені в табл. 3.4.

Таблиця 3.4. Результати розрахунку питомої енергопотребы будинку при різних місцях географічного розташування

Температурна зона України	Місце розташування	Середньорічна температура, °С	Питома енергопотреба, кВт·год/м ²
І	м. Кропивницький	8,1	80,047
	м. Кривий Ріг	8,8	75,879
	м. Семенівка Чернігівська область	6,3	92,914
ІІ	м. Ялта	13,0	43,552
	с.м.т. Кирилівка Запорізька область	8,3	81,182

Аналізуючи результати проведених розрахунків (табл.3.4) можна дійти до висновку, що зміна кліматичних умов при зміні географічного місця розташування навіть у межах однієї температурної зони України суттєво впливає на енергопотребу будівлі. Отже, при задані нормативної питомої енергопотребы на опалення для енергетичної сертифікації та визначені класу енергетичної ефективності будівлі необхідно враховувати кліматичні дані географічного місця розташування.

3.7. Дослідження впливу заданої температури опалення будинку на його енергоспоживання

Важливу роль як для комфорту перебування так і для енергоспоживання відіграє задана внутрішня температура в будівлі. Значення заданої температури, що може використовуватися при енергетичній сертифікації будівель за даними [2] наведена в табл. 3.5. В той же час значення заданої температури може бути змінено, як в більшу так і меншу сторону. Наприклад, для житлових приміщень задана температура з табл. 3.5 складає 20 °С, а мінімально допустима 18 °С [16].

Таблиця 3.5. Значення заданої температури приміщень в залежності від призначення [2]

Призначення будівлі	Внутрішня задана температура опалення, °C
Одноквартирні будинки	20
Багатоквартирні будинки, гуртожитки	20
Громадські будівлі адміністративного призначення, офіси	20
Будівлі навчальних закладів	20
Будівлі дитячих дошкільних закладів	22
Будівлі закладів охорони здоров'я	22
Готелі	20
Ресторани	20
Спортивні заклади	18
Будівлі закладів оптової та роздрібної торгівлі	20
Будівлі культурно-розважальних закладів та дозвільних установ	20
Інші види будівель	20

В певних випадках, з метою економії енергоресурсів, система опалення може працювати в змінному режимі зі зниженням температури всередині приміщення в нічний час та на вихідні. Такий підхід призводить до зменшення енергопотреб будівлі або приміщення і, як наслідок, при енергетичній сертифікації будівлі підвищення класу її енергоефективності, що не пов'язано з якістю теплової ізоляції, а лише відображає особливість режиму експлуатації системи опалення будівлі. Тому при визначенні нормативної максимальної енергопотреб будівлі необхідно враховувати режим роботи системи опалення шляхом застосування зниженого значення заданої температури всередині будівлі. Такий підхід дозволить більш коректно визначити клас енергетичної ефективності будівлі з урахування змінного режиму роботи системи опалення.

В певних випадках з метою підвищення комфорту перебування людей в приміщенні можливе застосування підвищеної заданої температури, наприклад, підвищення температури житлового приміщення до 21-22 °C. Це в свою чергу

приведе до підвищення енергопотреби будівлі і, як наслідок, можливого зменшення класу енергетичної ефективності, що також не пов'язано з якістю теплової ізоляції.

Дослідимо, як впливає значення заданої температури всередині будівлі на її енергопотребу. Для обчислення енергоспоживання скористаємося методикою наведеною в розділі 2 або [2]. При цьому лінійними та точковими теплопровідностями знехтуємо. Опір теплопередачі огорожувальних конструкцій відповідатиме мінімально допустимому згідно табл. 2.1 для I температурної зони. Опором теплопередачі дверей знехтуємо. Кратність повітрообміну прийнята $1,0 \text{ год}^{-1}$. В якості призначення будівлі обрано – житлові будинки. Орієнтація будинку – за основними сторонами світу. Площі вікон на кожную сторону світу (стіну) однакова. Коефіцієнт скління фасаду будинку $m_{\text{ск}} = 0,2$. Засоби рухомого затінення відсутні. Затінення зовнішніми перешкодами – відсутнє. Опір теплопередачі підлоги по ґрунту дорівнює мінімальному опору зовнішніх стін. Матеріал ґрунту – глина. Форма будинку – кубічна, розміром $30 \times 30 \times 30 \text{ м}$. Географічне розташування м. Кропивницький. Дах будинку – суміщене покриття. Результати проведених розрахунків представлені в табл. 3.6 та відображені графіком на рис. 3.4.

Таблиця 3.6. Результати розрахунку питомої енергопотреби будинку в залежності від заданої температури

Внутрішня задана температура опалення, °C	Питома енергопотреба, кВт·год/м ²
14	44,806
15	49,993
16	55,471
17	61,176
18	67,047
19	73,138
20	79,537
21	86,192
22	93,159

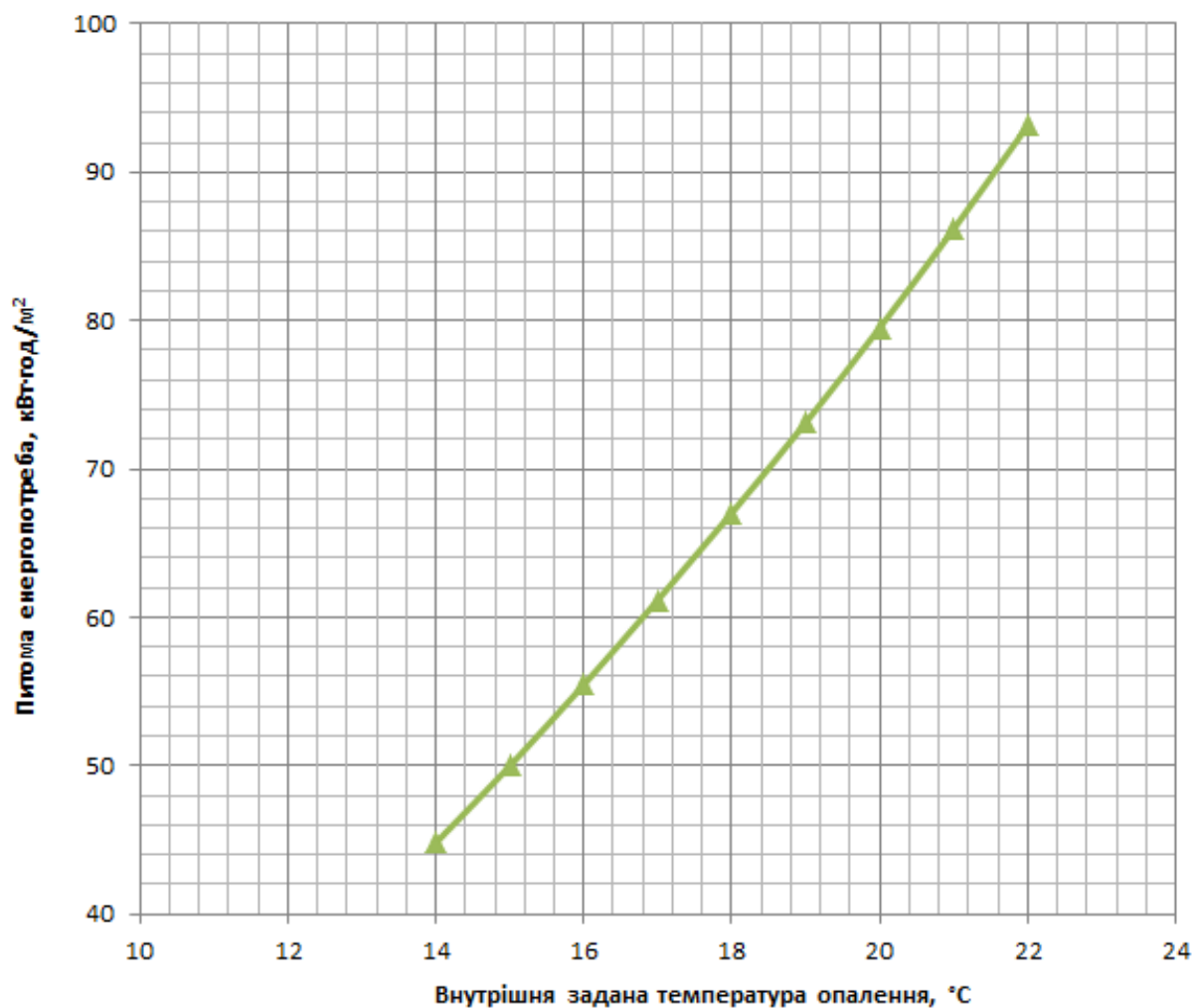


Рис. 3.4. Графік залежності питомої енергопотребы будинку в залежності від внутрішньої заданої температури.

Аналізуючи результати проведених розрахунків наведені в табл. 3.6 та на рис. 3.4 можна дійти до наступних висновків:

1. Значення заданої температури всередині приміщення суттєво впливає на її енергопотребу, тому має бути враховано при визначенні нормативної максимальної енергопотребы будівлі.

2. При зміні заданої температури на 1 °C енергопотреба змінюється приблизно на 5%.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Охорона праці під час проведення робіт із теплоізоляції

Організація та технологія виконання робіт з теплоізоляції повинна забезпечувати безпеку працівників на всіх етапах виробничого процесу. Вимоги для попередження впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів під час підготовки та монтажу теплової ізоляції нового будівництва, розширення, реконструкції підприємств, будівель та споруд визначаються за СНиП 12-04-2002 «Безпека праці в будівництві» з обов'язковим врахуванням вимог щодо правил пожежної безпеки при виконанні будівельно-монтажних робіт, та санітарних норм і правил. При здійсненні теплоізоляційних робіт враховують ймовірність виникнення наступних небезпечних та шкідливих для працівників робіт виробничих факторів:

- недостатня освітленість робочого місця;
- запиленість та загазованість повітря;
- відхилення від норм температури, відносної вологості та швидкості руху повітря в робочій зоні;
- високий рівень шуму та вібрації;
- недостатня електробезпека машин та устаткування, що застосовується.

Шкідливі речовини в повітрі робочої зони та параметри мікроклімату не повинні перевищувати норми, що встановлені ДСТУ.

Допустимі значення рівнів шуму та вібрації, що створені машинами та механізмами на робочих місцях повинні відповідати ДСТУ 12.1.003 і ДСТУ 12.1.012.

Освітленість робочих місць повинна бути не менше за 30 лк.

В технологічних процесах які стосуються виготовлення теплоізоляційних виробів, конструкцій та виконанні теплоізоляційних робіт необхідно застосовувати засоби механізації.

Роботи повинні виконуватися з застосуванням індивідуальних та

колективних засобів захисту на всіх стадіях технологічного процесу по ГОСТ 12.4.011.

Підвищені вимоги до безпеки при виконанні теплоізоляційних робіт з застосуванням теплоізоляції із пінополіуретану з врахуванням його токсичності та пожежонебезпеки що входять до його складу. Область застосування теплової ізоляції з пінополіуретану з точки зору пожежної небезпеки повинна відповідати вимогам СНиП 2.04.14-88.

Основним документом для організації та виконання робіт з теплоізоляції, з урахуванням безпеки праці, є проект виробництва робіт (ППР) або технологічна карта (ТК). Зміст та структура основних рішень, що стосуються забезпечення безпеки праці в ППР і ТК, повинні відповідати вимогам СНиП 12-04-2002. Організаційно-технічні заходи щодо забезпечення безпеки праці мають розроблятися в рамках ППР і ТК.

У ППР і ТК слід передбачати вимоги зниження обсягів та трудомісткості робіт у умовах небезпечних та шкідливих виробничих умов. Це може бути досягнуто за допомогою таких заходів, як демонтажна ізоляція обладнання і трубопроводів, блочний монтаж обладнання та трубопроводів із ізоляцією блоків до їх установки в проектне положення, використання індустріальних конструкцій ізоляції (повнозбірних і комплектних), а також застосування спеціальних заходів щодо механізмів, інструменту, пристосувань та технологічної оснастки (засобів підмоцнування, вантажозахоплювальних пристроїв, засобів індивідуального та колективного захисту).

4.2. Безпека праці при виконанні робіт пов'язаних з миттям, протиркою, утепленням вікон

Загальні положення:

1. До робіт, що пов'язані з миттям, протиркою та утепленням вікон допускаються особи, які пройшли цільовий інструктаж по безпечним методам роботи, з фіксацією результатів, в журналі реєстрації інструктажу на робочому місці.

2. Працівники, що виконують роботи, пов'язані з миттям і утепленням вікон, можуть бути піддані впливу наступних шкідливих та небезпечних виробничих факторів:

- падання з висоти;
- падання предметів з висоти;
- підвищене фізичне навантаження;
- підвищена запыошеність робочої ділянки.

3. Необхідно знати та застосовувати заходи усунення небезпеки та надання першої допомоги потерпілому.

4. Про кожен нещасний випадок, який пов'язаний з виробництвом чи роботою, потерпілий або свідок повинен повідомляти керівнику.

5. Особи, які порушили вимоги та інструкції, несуть персональну відповідальність згідно з чинним законодавством.

6. Якщо створилась небезпечна ситуація для власного життя чи здоров'я людей, які його оточують працівник має право відмовитись від дорученої йому роботи.

Вимоги безпеки перед початком виконання роботи.

1. Місце роботи повинно бути достатньо освітлено.
2. При роботі на висоті користуватись тільки справними із залізним наконечником або з гумовою прокладкою драбинами.
3. Роботу на висоті більшій 1,5 м. проводьте по вказівці адміністрації після відповідного інструктажу.
4. Не використовуйте замість драбин випадкові підставки, ящики, бочки та іншими предмети.
5. Протирку плафонів, світильників проводьте тільки після їх вимкнення з електромережі.
6. Миття зовнішніх поверхонь вікон, їх утеплення, миття зовнішньої поверхні фрамуги необхідно проводити з використанням ременя безпеки або при влаштуванні спеціальних намісток.

7. При виявленні електричного струму при протирці світильників, плафонів, на корпусах електрообладнання негайно припиніть прибирання і повідомте про це адміністрацію.

Вимоги до безпеки під час виконання роботи.

1. Розмовляти між особами забороняється під час роботи на висоті, миття, утепленні вікон, протирці скла.

2. Будьте обережні при роботі на висоті.

3. При роботі з драбини використовуйте взуттям на рівній, неслизькій підлозі та без каблуків.

4. Перевіряйте відсутність напруги на електрообладнанні при протирці плафонів.

5. Використовуйте миючі засоби за інструкцією на упаковці.

6. Забороняється працювати вдвох на переносних драбинах.

7. Забороняється при роботі з драбиною упирати її в переплети віконних рам. Забороняється на верхніх поверхах виконувати зовнішню промивку, чистку вікон з підвіконня.

8. Встановлюйте приставну драбину так, щоб вона не могла бути збитою пішоходом.

9. При поганому самопочутті припинити роботу, звернутись в медпункт обов'язково доповісти адміністрації.

10. Застосовувати захисні рукавиці при роботі, пов'язаній з миттям вікон.

11. При наявності битих шибок, тріщин чи інших пошкоджень скла забороняється проводити роботи, пов'язані з протиркою, миттям та утепленням вікон.

Вимоги до безпеки після закінчення роботи.

1. Прибрати сторонні предмети і сміття, привести в порядок своє робоче місце.

2. По прибрати допоміжні засоби.

3. Повідомте адміністрацію про виявлені недоліки.

4.3. Розрахунок блискавкозахисту

Найбільш небезпечним при появі блискавки з точки зору ураження будівель є прямий удар.

Очікуване число уражень блискавкою в рік будівель і споруд висотою не більше 60 м, не обладнаних грозозахистом і які мають незмінну висоту, визначають за формулою:

$$N = (B + 6h_x)(L + 6h_x)n \cdot 10^{-6},$$

де B – ширина об'єкту, що захищається, м;

L – довжина об'єкту що захищається, м;

h_x – висота об'єкту по його боковим сторонам, м;

n – середнє число уражень блискавкою 1 км² земної поверхні в рік, значення якого наведено в таблиці 12.2 [17] в залежності від інтенсивної грозової діяльності.

З таблиці 12.3 [17] приймається, що захисна зона відноситься до типу Б категорії грозозахисту ІІІ. Під зоною захисту грозовідводу розуміють частину простору, всередині якого споруда чи будівля захищена від прямих ударів блискавки з деякою ступінню надійності. Розрізняють зони захисту типу А, де ступінь захисту складає 99,4% і вище, та зону захисту типу Б зі ступінню надійності 94% і вище.

При інтенсивності грозової діяльності 60-80 год/рік приймається $n = 9$ (табл.12.2 [17]) та $B = 36$ м; $L = 90$ м; $h_x = 11$ м:

$$N = (36 + 6 \cdot 11)(90 + 6 \cdot 11)9 \cdot 10^{-6} = 0,143.$$

Приймається виконання захисту двома окремо розміщеними металевими грозовідводами стрижневого типу висотою $h = 50$ м на відстані $l = 110$ м.

Для зони Б при $l > 1,5h$ ($110\text{м} > 75\text{м}$) параметри зони захисту визначаються (див. рис. 4.1):

$$r_0 = 1,5h = 1,5 \cdot 50 = 75 \text{ м},$$

$$r_x = 1,5 \left(h - \frac{h_x}{0,92} \right) = 1,5 \left(50 - \frac{11}{0,92} \right) = 57,065 \text{ м},$$

$$h_0 = 0,92h = 0,92 \cdot 50 = 46 \text{ м},$$

$$h_c = h_0 - 0,14(l - 1,5h) = 46 - 0,14(110 - 1,5 \cdot 50) = 41,1 \text{ м},$$

$$r_{cx} = r_0 \frac{h_c - h_x}{h_c} = 75 \frac{41,1 - 6}{41,1} = 64,051 \text{ м}, r_c = r_0 = 75 \text{ м}.$$

Кожний грозовідвід складається з наступних елементів:

- блискавкоприймач, безпосередньо сприймаючий прямий удар;
- несуча конструкція, що призначена для встановлення блискавкоприймача;
- струмовідвід, що забезпечує відведення струму блискавки в землю;
- заземлення, яке відводить струм блискавки в землю блискавкоприймача і струмопроводу.

На основі отриманих значень будуються зони захисту даного об'єкту на різних рівнях (рис. 4.1).

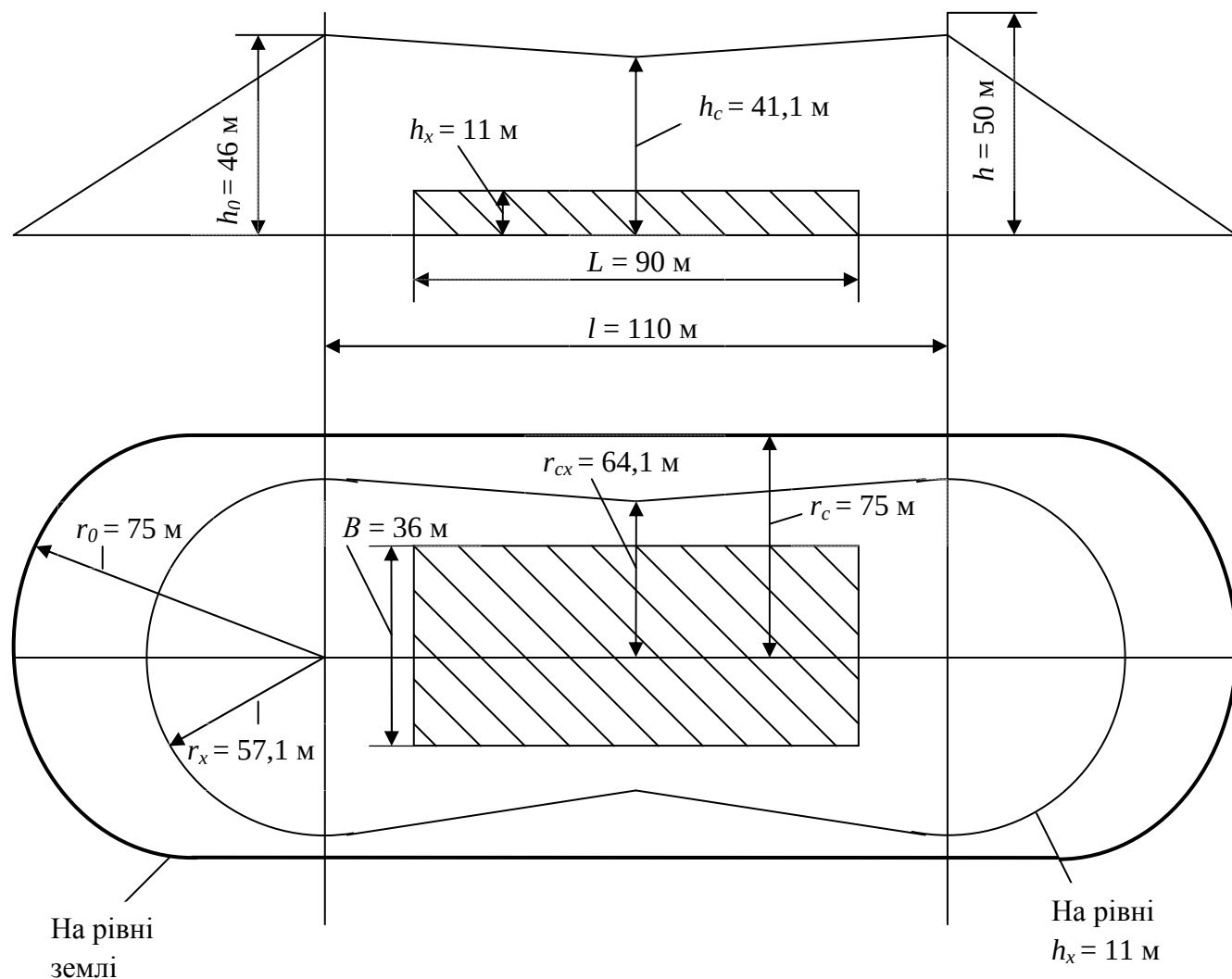


Рис. 4.1. Зони захисту грозозахисту.

4.4. Розрахунок заземлення

У відповідності з ПУЕ, всі металеві частини електроустановок, які в процесі роботи не мають з'єднання з струмопровідними частинами, але можуть потрапити під напругу необхідно заземлити.

Трансформаторні підстанції напругою 10/0,4 кВ на стороні 0,4 кВ мають глухозаземлену нейтраль. З'єднання обмоток цехових трансформаторів - Δ/Y з нулем. Струм замикання на землю 17 А. Цехові підстанції отримують живлення від 2 кабелів, що прокладені в одній траншеї.

Грунт – супісь, II кліматичний район.

Розрахунок зводиться до визначення вертикальних заземлювачів та довжини з'єднувальної смуги з розміщенням їх на плані.

Визначається норма на опір заземлення R_z^H .

Якщо заземлюючий пристрій використовується одночасно для електроустановок напругою до 1000 В та вище:

$$R_z \leq \frac{125}{I_z} = \frac{125}{27} = 4,63 \text{ Ом};$$

Згідно ПУЕ, так як сумарна потужність струмоприймачів більш 100 кВА то R_z повинен бути не більше 4 Ом. Приймається $R_z = 4 \text{ Ом}$.

Визначається розрахунковий питомий опір ґрунту:

$$\rho_p = \rho_{\text{табл}} \cdot \psi = 250 \cdot 1,4 = 350 \text{ Ом} \cdot \text{м},$$

де $\rho_{\text{табл}}$ – табличне значення, для супіску $\rho_{\text{табл}} = 250 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ (табл. 8.1 [18]);

ψ – підвищуючий коефіцієнт, для України, для стержньових заземлювачів $\psi = 1,4$. (табл. 8.2 [18]).

Опір одинарного вертикального заземлювача:

$$R_o = 0,366 \frac{\rho_{\text{розр}}}{l} \left(\lg \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \lg \frac{4t+l}{4t-l} \right) =$$

$$= 0,366 \frac{350}{5} \left(\lg \frac{2 \cdot 5}{2,5} + \frac{1}{2} \lg \frac{4 \cdot 3 + 5}{4 \cdot 3 - 5} \right) = 20,361 \text{ Ом},$$

де l – довжина заземлювача, приймається 4 м; d – діаметр заземлювача (приймаються стрижні діаметром 2,5 см).

$$t = h + \frac{l}{2} = 0,5 + \frac{5}{2} = 3 \text{ м},$$

де h – глибина прокладки смуг (згідно ПУЕЕ – 0,5...0,8 м).

Приймаються електроди прокладені по замкнутому контуру згідно плану та визначається орієнтовна кількість заземлювачів:

$$n_o = \frac{R_o}{R_s \cdot \eta_t} = \frac{20,361}{4 \cdot 0,59} = 8,628 \approx 9 \text{ шт},$$

де η_o – коефіцієнт використання ряду заземлювачів, для $a/l=4/5=0,8$, $\eta_o = 0,59$ за табл. 8.5 [18].

де $a = 4$ м – відстань між електродами згідно ПУЕЕ.

Довжина горизонтальної з'єднувальної смуги:

$$l_n = 1,05a \cdot n = 1,05 \cdot 4 \cdot 9 = 37,8 \text{ м}.$$

Опір смуги з урахуванням екранування:

$$R_n = 0,366 \frac{\rho_{\text{розр}}}{l_n \cdot \eta_n} \lg \frac{2l_n}{b \cdot n} = 0,366 \frac{350}{37,8 \cdot 0,59} \lg \frac{2 \cdot 37,8^2}{0,01 \cdot 0,5} = 24 \text{ Ом},$$

де η_n – коефіцієнт використання з'єднувальної смуги шириною $b = 10$ мм та товщиною 5 мм.

Необхідний опір вертикальних заземлювачів з урахуванням опору з'єднувальної смуги:

$$R_{\text{тр}} = \frac{R_n \cdot R_3^H}{R_n \cdot R_3^H} = \frac{24 \cdot 4}{24 - 4} = 4,8 \text{ Ом.}$$

Остаточна кількість заземлювачів:

$$n = \frac{R_o}{R_{\text{тр}} \cdot \eta_o} = \frac{20,361}{4,8 \cdot 0,59} = 7,49 \approx 8 \text{ шт.}$$

Проводиться перевірка опору заземлювача і порівнюється отримане значення з нормуємим:

$$R_3 = \frac{1}{\frac{1}{R_{\text{тр}}} + \frac{1}{R_n}} = \frac{1}{\frac{1}{4,8} + \frac{1}{24}} = 4 \text{ Ом.}$$

Дійсний опір заземлюючого пристрою з 8-ма заземлювачами не перевищує нормуючого значення.

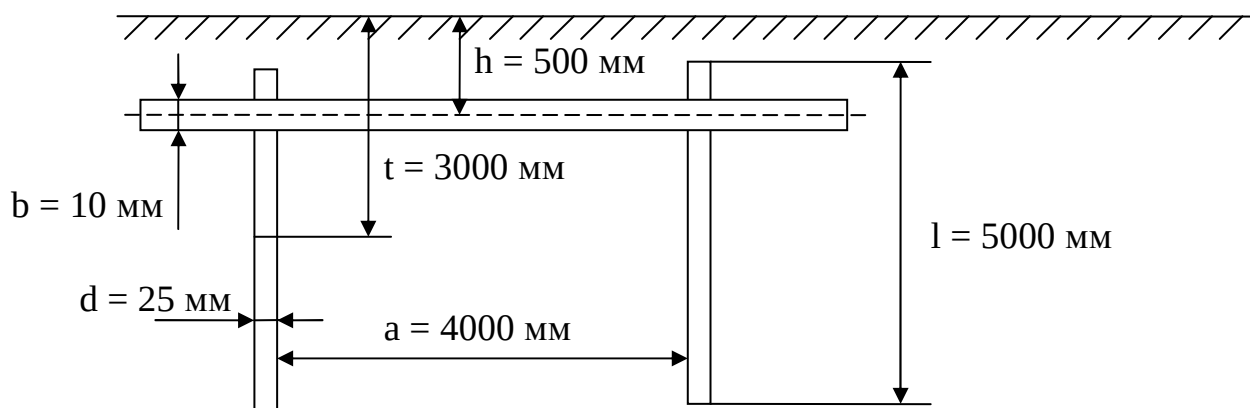


Рис. 4.2. Схема для прокладки заземлення

ВИСНОВКИ

З метою підвищення рівня ефективності використання теплової енергії та зменшення її втрат Верховною Радою України в 2016 р. прийнятий закон «Про енергетичну ефективність будівель» яким зобов'язала обов'язкову сертифікацію енергоефективності будівель. Для визначення класу енергетичної ефективності будівлі наведені еталонні питомі норми енергоспоживання житлових та громадських будівель. Суттєвим недоліком вказаних норм є повна відсутність прив'язки до конструктивних та експлуатаційних особливостей будівлі. Натомість, регламентується лише мінімально допустиме значення опору теплопередачі огорожувальної конструкції, яка є орієнтиром для оцінки фактичних теплоізоляційних характеристик огорожувальних конструкцій.

Існуюча система енергетичної сертифікації будівель, що базується на оцінці ступеню відхилення розрахункового (фактичного) енергоспоживання від нормативної (еталонної) максимальної питомої енергопотреби має рід недоліків. Найголовнішим недоліком такого підходу є використання фіксованого значення максимальної енергопотреби для будівлі або приміщення, а також використання сукупної норми на опалення, охолодження та гаряче водопостачання. Так, наприклад, відсутність охолодження та гарячого водопостачання дозволяє збільшити *EP* та підвищити клас енергетичної ефективності будинку, що ніяк не пов'язано з якістю теплової ізоляції та наявністю систем рекуперації тепла в будинку. І навпаки наявність в будинку гарячого водопостачання та охолодження призводить до збільшення *EP* та зменшення класу енергетичної ефективності будинку.

З метою удосконалення системи енергетичної сертифікації запропоновано зробити змінне значення нормативної максимальної енергопотреби для опалення, що буде базуватися на мінімально допустимих значеннях опору теплопередачі огорожувальних конструкцій житлових та громадських будівель, і нормативній максимально допустимій кратності повітрообміну. Також при обчисленні нормативної максимальної енергопотреби на опалення необхідно врахувати інші

особливості експлуатації будівлі або приміщення.

Серед факторів, що впливають на енергоспоживання слід відзначити наступні:

1. Конструктивні:

- коефіцієнт скління фасаду будівлі;
- показник компактності будівлі;
- тип підлоги;
- типу даху;
- нерівномірність скління фасаду будинку за сторонами світу.

2. Особливості експлуатації:

- географічне місце розташування;
- задана температура опалення.

Удосконалена методика енергетичної сертифікації полягає в наступному.

1. Підготовка нормативних даних будівлі для розрахунку.

Підготовка значень мінімально допустимих опорів теплопередачі огорожувальних конструкцій.

Підготовка нормативного значення кратності повітрообміну.

2. Підготовка фактичних даних для розрахунку.

Вибір кліматичних даних за географічним місцем розташування.

Визначення характерних площ будівлі за сторонами світу.

Визначення заданої або нормативної температури для опалення.

3. Розрахунок нормативного значення максимальної питомої енергопотреби на опалення для будівлі.

4. Розрахунок енергоспоживання будівлею на опалення за фактичними значеннями опорів теплопередачі огорожувальних конструкцій та кратності повітрообміну або після впровадження енергозберігаючих заходів.

5. Визначення ступеня відхилення між питомим розрахунковим енергоспоживанням та розрахунковим значенням максимальної нормативної енергопотреби на опалення для будівлі.

6. Присвоєння класу енергетичної ефективності будівлі.

З метою обґрунтування застосування удосконаленої методики зі змінним значенням нормативної максимальної питомої енергопотреби досліджено вплив конструктивних та експлуатаційних факторів на енергоспоживання опаленням будівлі.

Дослідження впливу коефіцієнта скління фасаду будівлі на її енергоспоживання дозволяє зробити наступні висновки:

1. При мінімально допустимому опорі теплопередачі світлопрозорих огорожувальних конструкцій $R_{в \min} = 0,75 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ при збільшенні коефіцієнту скління фасаду будинку питоме енергоспоживання зменшується. Хоча мінімально допустимий опір теплопередачі світлопрозорих огорожувальних конструкцій менше більше ніж у чотири рази за мінімально допустимий опір теплопередачі зовнішніх стін $R_{ст \min} = 3,3 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ такий характер зміни енергоспоживання пояснюється збільшенням сонячних теплових надходжень, які при мінімально допустимому опорі теплопередачі світлопрозорих огорожувальних конструкцій переважають збільшення теплових втрат.

2. При меншому опорі теплопередачі світлопрозорих огорожувальних конструкцій, наприклад, при однокамерному склопакеті $R_{в} = 0,4 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$, збільшення коефіцієнту скління фасаду будинку призводить до збільшення питомого енергоспоживання. Це пояснюється збільшенням теплових втрат, які переважають збільшення сонячних теплових надходжень.

Дослідження впливу показника компактності будівлі на її енергоспоживання можна пояснити наступним чином. Теплові втрати крізь огорожувальні конструкції збільшуються пропорційно їх площі, а отже квадрату лінійних розмірів. В той же час, кондиційована площа будівлі, пропорційна об'єму будинку, а отже кубу лінійних розмірів. Відповідно, питома енергопотреба будинку буде обернено пропорційна його лінійному розміру. Так само і показник компактності будинку також обернено пропорційний його лінійному розміру. Тим самим пояснюється лінійна залежність питомої енергопотреби від показника компактності будинку. Отже, чим більший розмір будинку тим менша його питома енергопотреба, що пояснюється не якістю його теплової ізоляції, а його

конструктивними особливостями.

Враховуючи, що зміна питомої енергопотреби в залежності від показника компактності будівлі суттєва, то необхідно враховувати показник компактності будівлі при задані нормативної питомої енергопотреби для енергетичної сертифікації та визначені класу енергетичної ефективності будівлі.

Аналізуючи дослідження впливу конструктивних особливостей підлоги та даху будинку на його енергоспоживання можна зробити наступні висновки:

1. Тип конструктивного виконання підлоги або даху приміщення при дотриманні мінімально допустимих показників опору теплопередачі не впливає суттєво на загальну енергопотребу будинку.

2. Матеріал ґрунту на якому побудований будинок суттєво не впливає на його загальну енергопотребу.

Аналізуючи дослідження впливу орієнтації будівлі за сторонами світу на її енергоспоживання можна зробити наступні висновки:

1. Вплив орієнтації світлопрозорих огорожувальних конструкцій при мінімально допустимому термічному опорі $R_{v \min} = 0,75 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ за сторонами світу на енергоспоживання будинку є доволі відчутним.

2. Збільшення площі світлопрозорих огорожувальних конструкцій (збільшення коефіцієнта скління фасаду будинку) в стінах орієнтованих на північ, північно-схід та північно-захід призводить до збільшення питомої енергопотреби будинку.

3. Збільшення площі світлопрозорих огорожувальних конструкцій (збільшення коефіцієнта скління фасаду будинку) в стінах орієнтованих на південь, південно-схід та південно-захід призводить до зменшення питомої енергопотреби будинку.

Аналізуючи результати дослідження впливу географічного розташування будинку на його енергоспоживання можна діти до висновку, що зміна кліматичних умов при зміні географічного місця розташування навіть у межах однієї температурної зони України суттєво впливає на енергопотребу будівлі. Отже, при задані нормативної питомої енергопотреби на опалення для

енергетичної сертифікації та визначені класу енергетичної ефективності будівлі необхідно враховувати кліматичні дані географічного місця розташування.

Аналізуючи результати проведених розрахунків дослідження впливу заданої температури опалення будинку на його енергоспоживання можна дійти до наступних висновків:

1. Значення заданої температури всередині приміщення суттєво впливає на її енергопотребу, тому має бути враховано при визначені нормативної максимальної енергопотреби будівлі.

2. При зміні заданої температури на 1 °C енергопотреба змінюється приблизно на 5%.

Застосування удосконаленої методики енергетичної сертифікації будівлі дозволяє:

- врахувати мінімально допустимі опори теплопередачі огорожувальних конструкцій при визначені нормативної максимальної (еталонної) питомої енергопотреби;

- врахувати нормативне значення кратності повітрообміну при визначені нормативної максимальної (еталонної) питомої енергопотреби;

- врахувати конструктивні та експлуатаційні особливості будівлі при визначені нормативної максимальної (еталонної) питомої енергопотреби;

- розрахувати значення нормативної максимальної (еталонної) питомої енергопотреби для будівель, що входять до таблиці з нормативними максимальними питомими енергопотребами, наприклад, овочесховища, пости охорони і т.п.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. КТМ 204 України 244-94 «Норми та вказівки по нормуванню витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарсько-побутові потреби в Україні».
2. ДСТУ 9190:2022 «Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання під час опалення, охолодження, вентиляції, освітлення та гарячого водопостачання».
3. ДБН В.2.6-31:2021 «Теплова ізоляція та енергоефективність будівель».
4. ДСТУ Б EN ISO 13790:2011 (EN ISO 13790:2008, ITD) "Енергоефективність будинків. Розрахунок енергоспоживання на опалення та охолодження".
5. ДСТУ Б В.2.2-39:2016 «Методи та етапи проведення енергетичного аудиту будівель».
6. Порядок проведення сертифікації енергетичної ефективності. Форма енергетичного сертифіката. Використання програмного забезпечення для визначення енергетичної ефективності будівель. – Проект постанови Кабінету Міністрів України. [Електронний ресурс]. URL: <http://www.niisk.com/images/novini/proekti-normativnikh-akt-v/>. (Дата звернення: 05.06.2018).
7. Закон України від 22 червня 2017 року № 2118-VIII «Про енергетичну ефективність будівель» [Електронний ресурс]. URL: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/2118-19> (Дата звернення: 05.06.2018).
8. ДСТУ-Н Б В.2.6-190:2013 «Настанова з розрахункової оцінки показників теплостійкості та теплосвоєння огорожувальних конструкцій».
9. ДСТУ Б В.2.2-19:2007 «Будинки і споруди. Метод визначення повітропроникності огорожувальних конструкцій в натурних умовах».
10. ISO 13789:2007, Thermal performance of buildings-Transmission and ventilation heat transfer coefficients - Calculation method (Теплові характеристики

будівель. Коефіцієнти теплопередачі трансмісією та вентиляцією. Метод розрахунку).

11. ДСТУ Б В.2.6-189:2013 «Методи вибору теплоізоляційного матеріалу для утеплення будівель».

12. ДСТУ-Н Б В.2.6-146:2010 «Конструкції будинків і споруд. Настанова щодо проектування й улаштування вікон та дверей».

13. ДСТУ ISO 10211-1:2005 «Теплопровідні включення в будівельних конструкціях. Обчислення теплових потоків і поверхневих температур» Частина 1. Загальні методи (ISO 10211-1:1995, IDT).

14. ДСТУ ISO 10211-2:2005 «Теплопровідні включення в будівельних конструкціях. Обчислення теплових потоків і поверхневих температур». Частина 2. Лінійні теплопровідні включення (ISO 10211-2:1995, IDT).

15. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Будівельна кліматологія».

16. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. Учеб. пособие для вузов. — 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1984. - 448 с, ил.

17. Федоров А.А., Старкова Л.Е.. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по электроснабжению промышленных предприятий: Учебное пособие для вузов.— М.: Энергоатомиздат, 1987.

18. Федоров А.А., Сербиновский Г.В. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий: Электрооборудование и автоматизация. 1981. М.: Энергоиздат – 624 с, ил.