

Звіт з енергетичного аудиту

«Вище професійне училище Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, м. Вінниця, вул. Генерала Арабея, 7. Будівля НІРЧ з гуртожитками, інвентарний №101310007»



Енергоаудитор:

Неволя Ліна Ігорівна

Серія та номер кваліфікаційного атестата енергоаудитора

№ ЕЕ 00046

Вінниця, 2023р.

Контактні дані замовника

Назва організації або ПІБ замовника	Вище професійне училище Львівського державного університету безпеки життєдіяльності (м. Вінниця)
Адреса організації або паспортні дані замовника	21020, м. Вінниця, вул. Генерала Арабея, 7
Контактна особа	Ігор Ліпчанчук
Посада	Т. в. о. начальника
Тел.	(0432) 53-09-52

Контактні дані об'єкта

Назва проекту	«Вище професійне училище Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, м. Вінниця, вул. Генерала Арабея, 7. Будівля НПРЧ з гуртожитками, інвентарний №101310007»
Адреса	м. Вінниця, вул. Генерала Арабея, 7
Контактна особа	Ігор Ліпчанчук
Посада	Т. в. о. начальника
Тел.	(0432) 53-09-52

Контактні дані аудиторів

Назва організація	ФОП Неволя Ліна Ігорівна
Адреса організації	21034, Україна, Вінницька обл., м. Вінниця, вул. Шимка Максима, буд. 38-Б, корпус 1, кв. 13
Контактна особа	Неволя Ліна Ігорівна
Посада	-
Тел.	+38 (068) 217-58-95

Звіт складено на основі інформації наданої замовником і отриманої в ході енергетичного обстеження об'єкту.

Зміст

1. Вступ.....	3
2. Нормативні посилання.....	3
3. Загальні дані про будівлю	4
4. Конструктивні особливості будівлі	4
4.1. Зовнішні стіни.....	5
4.2. Вікна	5
4.3. Переkritтя в рівні підлоги по ґрунту.....	6
4.4. Суміщене покриття	6
4.5. Вхідні двері	6
5. Характеристика інженерних систем.....	6
5.1. Опалення та охолодження	6
5.2. Гаряче водопостачання	7
5.3. Вентиляція.....	7
6. Енергоспоживання	7
7. Визначення класу енергетичної ефективності будівлі	8
8. Заходи з енергозбереження	8
8.1. Утеплення стін.....	9
8.2. Утеплення підвалу.....	9
8.3. Утеплення суміщеного покриття	10
8.4. Часткова заміна вікон.....	10
8.5. Модернізація системи опалення	11
8.6. Встановлення механічної системи вентиляції.....	12
8.7. Модернізація системи освітлення.....	13
Додаток А. Кваліфікаційний сертифікат.....	15
Додаток Б. Розрахунок енергопотреби та енергоспоживання будівлі.....	17

1. Вступ

Енергоаудит проводиться з метою визначення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів та отримання енергетичного сертифіката будівлі.

2. Нормативні посилання

- ДБН В 2.6-31:2021 Теплова ізоляція будівель.
- ДСТУ Б В.2.2-39:2016 Методи та етапи проведення енергетичного аудиту будівель.
- ДСТУ Н Б В.2.6-101:2010 Конструкції будинків і споруд. Метод визначення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій.
- ДБН В.2.2-9:2018 Будинки і споруди. Громадські будинки та споруди. Основні положення.
- ДБН В.2.5-28:2018 Природне та штучне освітлення.
- ДСТУ Б В.2.6-34:2008 Конструкції будинків і споруд. Конструкції зовнішніх стін з фасадною теплоізоляцією. Класифікація й загальні технічні вимоги.
- ДСТУ Б А.2.2-8:2010 Розділ «Енергоефективність» в складі проектної документації.
- ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування.

Наслідком цих стандартів та правил є наступні вимоги:



• м. Вінниця належить до I температурної зони загальною кількістю градусо-днів опалювального періоду - 3501°C·днів.

- Внутрішня температура опалення для навчальних закладів +20 °С.
- Внутрішня температура охолодження для навчальних закладів +24 °С.
- Мінімально допустиме значення опору теплопередачі зовнішніх стін для I температурної зони $R_{q \min}=4,0 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$.
- Мінімально допустиме значення опору теплопередачі вікон для I температурної зони $R_{q \min}=0,9 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$.
- Мінімально допустиме значення опору теплопередачі суміщеного покриття для I температурної зони $R_{q \min}=7,0 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$.
- Мінімально допустиме значення опору теплопередачі зовнішніх дверей для I температурної зони $R_{q \min}=0,7 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$.

• Нормативні максимальні тепловитрати будівлі (I температурна зона), у даному випадку $E_{\max}=46,6 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^2$

- Забезпечення повітрообміну приміщень.
- Забезпечення місцевого регулювання теплового потоку для забезпечення комфортних умов.
- Забезпечення необхідної кількості гарячої води відповідної температури згідно з нормативами.
- Забезпечення належного рівня освітленості.
- Теплоізоляція трубопроводів, кранів, арматури.

3. Загальні дані про будівлю

Загальні дані

Назва об'єкту	«Вище професійне училище Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, м. Вінниця, вул. Генерала Арабея, 7. Будівля НІРЧ з гуртожитками, інвентарний №101310007»
Кількість поверхів	5
Чиста висота приміщення, м.	2,8
Опалювальний об'єм, м ³	12937,7
Опалювальна площа, м ²	3784,7
Загальна площа будівлі, м ²	3784,7
Загальний об'єм будівлі, м ³	18971,6
Тип системи тепlopостачання	Централізоване
Система гарячого водopостачання	Від електричних водонагрівачів
Система вентиляції	Припливно витяжна з природним спонуканням
Коефіцієнт скління фасадів	0,14
Показник компактності будинку	0,41

Площі зовнішніх огорожень будинку

Ч.ч	Вид огорожувальної конструкції	Загальна площа, м ²
1	Зовнішні стіни В тому числі: - стіни, що контактують з зовнішнім повітрям; - стіни, що контактують з ґрунтом	2223 1953,7 269,3
2	Підлога по ґрунту	1306,5
3	Суміщене покриття	1301,4
4	Світлопрозорі конструкції, в тому числі: - вікна	337,8 337,8
5	Вхідні двері в будинок, в тому числі: - ворота - вхідні двері	93,6 73,8 19,8
	Загальна площа зовнішніх огорожувальних конструкцій будинку, А_Σ, м²	5262,3

4. Конструктивні особливості будівлі

4.1. Зовнішні стіни

Зовнішні стіни:

- цегляна кладка товщиною 510 мм без утеплення;
- цегляна кладка товщиною 250 мм без утеплення;
- залізобетон товщиною 500 мм.

Приведений опір зовнішніх стін кондиціонованого об'єму, що контактують з зовнішнім повітрям дорівнює $0,7 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}$.

Приведений опір зовнішніх стін кондиціонованого об'єму, що контактують з ґрунтом дорівнює $0,2 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}$.

Приведений опір теплопередачі не відповідає мінімальним вимогам.

Коефіцієнт теплопередачі зовнішніх стін $U = 1,43 \text{ Вт/м}^2\text{К}$.



Загальна оцінка існуючого стану – задовільний.

4.2. Вікна

Вікна частково металопластикові з подвійним склінням, а частково (29%) дерев'яні вікна.

Приведений опір теплопередачі віконних металопластикових блоків дорівнює $0,75 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ та $0,6 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$, що не відповідає мінімальним вимогам.

Коефіцієнт теплопередачі $U = 1,33 \text{ Вт/м}^2\text{К}$ та $1,67 \text{ Вт/м}^2\text{К}$.



4.3. Перекриття в рівні підлоги по ґрунту

Перекриття -бетон товщ. 200 мм. з цементно-піщаної стяжкою та покривний шар підлоги.

Приведений опір перекриття $0,2 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}$.

Коефіцієнт теплопередачі $U = 5 \text{ Вт/м}^2\text{К}$.

4.4. Суміщене покриття

Перекриття -залізобетонна плита товщ. 220 мм. з цементно-піщаної стяжкою.

Приведений опір перекриття $0,3 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}$.

Коефіцієнт теплопередачі $U = 3,33 \text{ Вт/м}^2\text{К}$.

4.5. Вхідні двері

Входи оснащені металевими вхідними дверима. Стан вхідних дверей задовільний.

Приведений опір зовнішніх дверей дорівнює $0,6 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}$. Приведений опір теплопередачі не відповідає мінімальним вимогам.

Коефіцієнт теплопередачі $U = 1,67 \text{ Вт/м}^2\text{К}$



5. Характеристика інженерних систем

5.1. Опалення та охолодження

Джерело опалення – система централізованого тепlopостачання. Тепlopостачання будівлі здійснюється по одному тепловому вводу.

В якості опалювальних приладів – радіатори, які влаштовані біля зовнішніх стін та під вікнам.



Централізована система охолодження та кондиціонування не передбачена.

5.2. Гаряче водопостачання

Джерело гарячого водопостачання – електричні водонагрівачі.
Теплоносій – вода. Температура теплоносія – 55 °С.



5.3. Вентиляція

Вентиляція будівлі припливно витяжна з природним спонуканням. Тому вентиляція приміщень будівлі відбувається в природній спосіб за рахунок перепаду тиску в середині та зовні будівлі та повітропроникності огорожувальних конструкцій (через нещільності в віконних конструкціях і відкриті елементи віконних, дверних конструкцій при провітрюванні). Видалення повітря відбувається через вент. канали.

6. Енергоспоживання

Розрахунковий обсяг споживання електроенергії за рік:

- Енергоспоживання при опаленні – 1315699,7 кВтгод.;
- Енергоспоживання при охолодженні – 13882,4 кВтгод.;
- Енергоспоживання ГВП – 64315,6 кВтгод.;

- Енергоспоживання при освітленні – 70375,0 кВтгод.
 Розрахунок енергопотреби та енергоспоживання детальніше див. додаток Б.

7. Визначення класу енергетичної ефективності будівлі

$$\Delta EP = [(EP_{use} - EP_p) / EP_p] \times 100$$

де: EP_{use} - загальний показник питомого енергоспоживання при опаленні та охолодженні;

EP_p - граничне значення питомого енергоспоживання при опаленні та охолодженні житлових та громадських будівель.

$$EP_p = 46,6 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^3$$

$$EP_{use} = EP_{H,use} + EP_{C,use}$$

Де: $EP_{H,use}$ - питоме енергоспоживання при опаленні, кВт·год/м³

$EP_{C,use}$ - питоме енергоспоживання при охолодженні, кВт · год/м³

$$EP_{use} = 101,7 + 1,1 = 102,8 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^3$$

$$\Delta EP = [(102,8 - 46,6) / 46,6] \cdot 100 = 120,6 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^3$$

Клас енергетичної ефективності будівлі

Клас енергетичної ефективності будівлі	Відсоткові показники, ΔEP
A	$\Delta EP < -50$
B	$-50 \leq \Delta EP < -20$
C	$-20 \leq \Delta EP \leq 0$
D	$0 < \Delta EP \leq 20$
E	$20 < \Delta EP \leq 35$
F	$35 < \Delta EP \leq 50$
G	$50 < \Delta EP$

Згідно з методикою визначення енергетичної ефективності дана будівля відноситься до класу енергетичної ефективності «G»

8. Заходи з енергозбереження

Після дослідження стану будинку та споживання ним енергоресурсів можна зробити висновок, що існуючі показники відрізняються від еталонних згідно з ДБН. Тому актуально буде запропонувати енергоефективні заходи, які не тільки зменшать споживання теплової енергії, а й покращать умови комфортного перебування в будівлі.

Для даної будівлі найбільш актуальними заходами, що принесуть економію теплової енергії та покращать умови перебування, є:

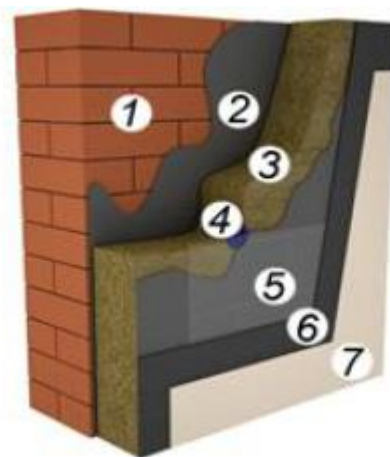
- Утеплення фасадів;
- Утеплення перекриття в рівні підлоги по ґрунту;
- Утеплення підвалу (цоколя);
- Часткова заміна вікон;
- Модернізація системи опалення;
- Модернізація систем вентиляції;
- Модернізація системи освітлення.

8.1. Утеплення стін

Загальна площа стін, які потрібно утеплити складає 1953,7 м², в тому числі стіни опалювального підвалу, що контактують з зовнішнім повітрям. Приведений термічний опір існуючих стін складає 0,7 м² К/Вт і не відповідає нормам. Пропонується досягти значення 4 м² К/Вт шляхом утеплення стін.

Ізоляцію стін пропонується виконати за системою зовнішнього утеплення «мокрый фасад». Дана система досить проста в реалізації та надійна в експлуатації. В якості основного матеріалу використовується мінеральна вата товщиною 150 мм, густиною 87,5 кг/м³ та коефіцієнтом теплопровідності 0,0371 Вт/мК, але не більше ніж 0,045 Вт/мК.

На етапі робочого проектування слід повторно розглянути варіант утеплення та обрати найдоцільніший варіант, який відповідає сучасним вимогам на час проектування.

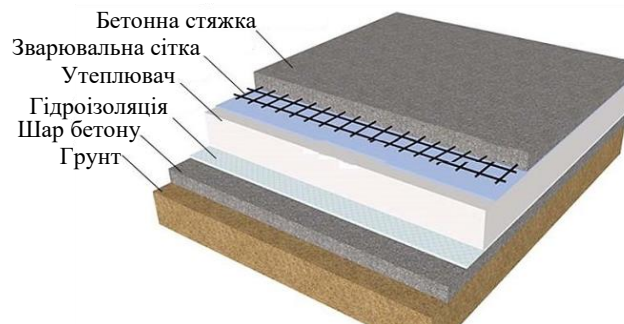


1. Стіна
2. Клейовий шар
3. Утеплювач
4. Тарілчастий дюбель
5. Армуюча скло сітка
6. Клейовий шар
7. Декоративно-захисний шар

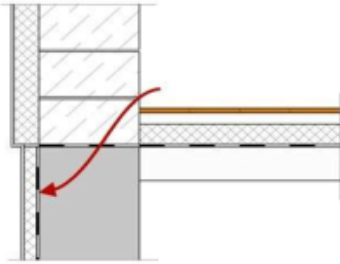
8.2. Утеплення підвалу

Загальна площа перекриття в рівні підлоги по ґрунту 1306,5 м², загальна площа стін підвалу, що контактують з ґрунтом 269,3 м². Приведений термічний опір існуючого перекриття складає 0,2 м² К/Вт. Приведений термічний опір існуючих стін підвального поверху складає 0,2 м² К/Вт.

Пропонується утеплити перекриття в рівні підлоги по ґрунту за допомогою екструдованих пінополістирольних плит загальною товщ. не менше 50 мм, та теплопровідністю не більше ніж 0,037 Вт/мК.



Також пропонується утеплити стіни підвалу, що контактують з ґрунтом екструдованими пінополістирольними плитами товщиною не менше 100 мм, теплопровідністю не більше ніж 0,037 Вт/мК на 2м. нижче рівня землі.



Теплова ізоляція стіни виконується на 2 м нижче рівня землі (відповідно до п 4.10 (ДСТУ 9191:2022) , причому утеплювач у цій частині меншої товщини. При такому способі утеплення цоколь буде трохи "втоплений" по відношенню до стіни, що дозволить вберегти його від атмосферних опадів.

На етапі робочого проектування слід повторно розглянути варіант утеплення та обрати найдоцільніший варіант, який відповідає сучасним вимогам на час проектування.

8.3 Утеплення суміщеного покриття

Загальна площа суміщеного покриття 1301,4 м². Приведений термічний опір існуючого покриття складає 0,3 м² К/Вт.

Пропонується утеплити покриття за допомогою мінеральної вати загальною товщ. не менше 250 мм, та теплопровідністю не більше ніж 0,0373 Вт/мК.



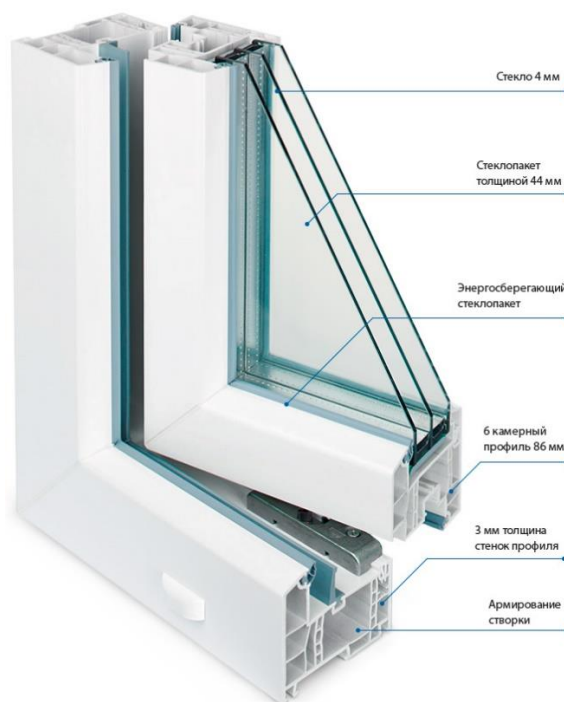
8.4. Часткова заміна вікон

Загальна площа вікон становить в кондиціонованому об'ємі – 337,8 м². Приведений опір теплопередачі існуючих металопластикових вікон становить 0,75 м² К/Вт, дерев'яних – 0,6 м² К/Вт, що не відповідає мінімальним нормам. Пропонується замінити вікна на сучасні ПВХ вікна, конструкції яких виготовляються з металопластикового профілю та оснащені трьохкамерними склопакетами. Значення опору теплопередачі вікон становить не менше ніж 0,9 м² К/Вт.

Вікна ПВХ володіють високою герметичністю і в закритому положенні практично не пропускають повітря, що в свою чергу порушує повітрообмін і згодом сприяє накопиченню вуглекислотного газу, парів, утворенню грибка і цвілі. Щоб уникнути всіх вище вказаних проблем, пропонується розробка техніко-економічного обґрунтування для вибору оптимальної схеми вентиляції з можливою рекуперацією тепла або без неї. Розрахунки системи вентиляції необхідно виконати згідно з сучасними ДБН з вентиляції та кондиціонування.

Також можливо придбати вікна з вентиляційною решіткою (вбудованим вентиляційним клапаном), в такому випадку слід звернути увагу на їх сертифікацію, яка підтверджує, що вікна виготовлено відповідно вимог.

На етапі робочого проектування слід повторно розглянути варіанти склопакетів та обрати найдоцільніший тип, який відповідає сучасним вимогам на час проектування.



8.5. Модернізація системи опалення

У рамках модернізації планується проведення таких заходів:

- Утеплення внутрішніх магістральних трубопроводів які проходять в неопалювальних приміщеннях. При недостатньо утеплених трубопроводів температура теплоносія у споживачів значно нижча від нормованої, що призводить до її більшої втрати, тому теплоізоляція дозволяє підтримувати необхідні мінімальні перепади температури на великих відстанях, тим самим економлячи кількість спожитої теплової енергії.

- Балансування опалювальної системи. Балансування системи опалення здійснюється для забезпечення рівномірного розподілу теплоносія у всіх точках споживання. Балансування здійснюється за допомогою установки в системі балансуючих клапанів.

- Встановлення балансувальних клапанів. Їх встановлення забезпечує енергозбереження за рахунок необхідної витрати теплоносія для забезпечення потрібної температури і комфортної роботи системи. В цілому балансувальний клапан збільшує термін служби системи і істотно скорочує кількість несправностей.

- Заміна опалювальних приладів на сучасні радіатори.

- Дооснащення зарадіаторними рефлекторами. Встановлення тепловідбиваючих екранів за радіатором є не тільки маловитратним заходом, але й значно сприяє поліпшенню комфорту в приміщенні, оскільки стіна за батареєю не буде прогріватись, а енергія, яка раніше витрачалась на прогрів стіни, буде використана корисно для підняття температури

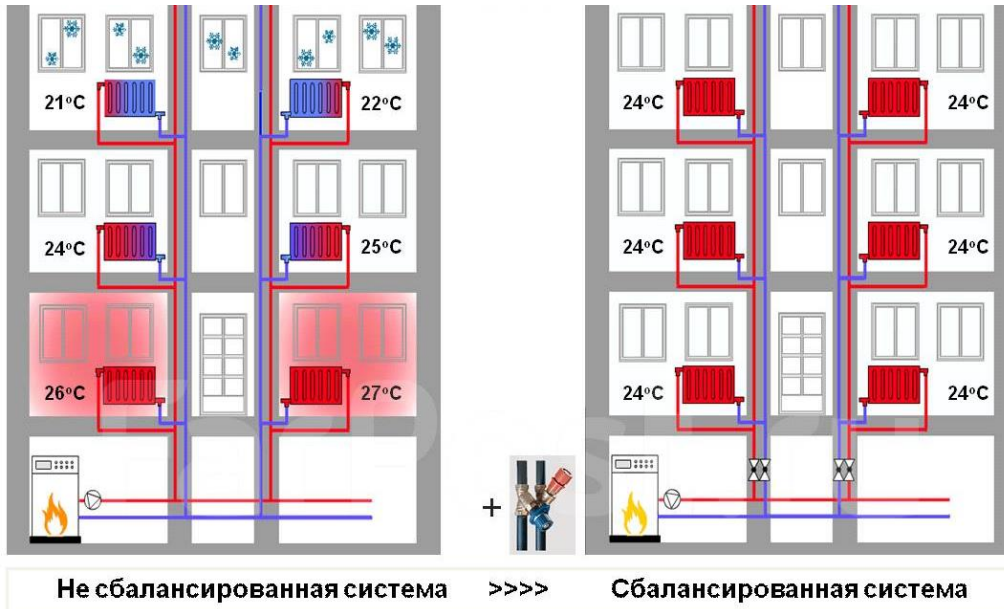


Приклад інсталяції
зарадіаторного рефлектора



Загальний вигляд теплової
ізоляції для трубопроводів

В кімнаті.



8.6. Встановлення механічної системи вентиляції

Необхідне створення нової системи вентиляції в будівлі.

З точки зору енергоефективності важливим аспектом є наявність рекуперації. Рекуперація повітря - це, перш за все процес повернення тепла (в літній період холоду) повітря, що видаляється - повітряю яке нагнітається (свіжому). Рекуперація повітря забезпечується за рахунок підігріву (охолодження) приточного повітря, за рахунок витяжного тепла (холоду), такі системи як правило мають можливість встановлення додаткового блоку підігріву. Крім обігріву ми також можемо контролювати вологісний режим приміщення.

Таким чином можна відзначити наступні переваги рекупераційних систем:

- Зменшення витрат на обігріві приміщень палат, кабінетів, або цілого будинку (споруди) за рахунок ефективного використання витяжного тепла (холоду);
- Постійне забезпечення чистого повітря в палаті (будинку) при будь-якій погоді при закритих вікнах;
- Видалення шкідливих речовин, CO₂, неприємних запахів;
- Висока якість повітря за рахунок використання фільтрів;
- Відсутність цвілі за рахунок контролю вологісного режиму приміщень.
- Звукоізоляція та відсутність необхідності відкривати вікна.

Пропонується використання рекуператорів типу Prana.

Унікальною особливістю Prana є одночасна подача та витяжка повітря без їх змішування. Це гарантує виведення забрудненого повітря з приміщення та подачу свіжого, чистого.

Компактність та простота також є перевагою виробу. Prana - це пристрій невеликих розмірів, який легко встановлюється у стіну.



8.7. Модернізація системи освітлення

Пропонується провести заміну частини освітлювальних приладів. Світловіддача ламп розжарювання має невелике значення, крім того, строк служби таких ламп складає біля 1000 годин (приблизно 4 місяці, за умови роботи в середньому 8 год/добу).

Пропонується встановити світлодіодні світильники.

Переваги світлодіодних світильників:

- значний строк служби 9до 60 000 год, тоді як лампа розжарювання світить близько 1000 год, а звичайна люмінесцентна лампа – 8000 год);
- значно вища світловіддача (сучасні світлодіоди більше 75% енергії перетворюють на світло, тоді як майже 90% енергії ламп розжарювання – це тепло);
- не потрібно утилізувати відпрацьовані лампи;
- моментальне ввімкнення та можливість частого вмикання;
- не потрібні стартери;
- працює стабільно при коливаннях напруги (світловий потік незмінний).



Додатки

Додаток А

Кваліфікаційний сертифікат



Вищий навчальний заклад
«Міжрегіональна Академія управління персоналом»
Атестаційна комісія з проведення професійної атестації осіб,
які мають намір провадити діяльність із сертифікації
енергетичної ефективності та обстеження інженерних систем будівель

КВАЛІФІКАЦІЙНИЙ АТЕСТАТ

№ ЕЕ 00046

НЕВОЛЯ

ЛІНА ІГОРІВНА

пройшов атестацію в Атестаційній комісії МАУП
та має право провадити діяльність з

ПРОВЕДЕННЯ АУДИТУ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ

Рішення Атестаційної комісії №46
від «12» квітня 2019 року

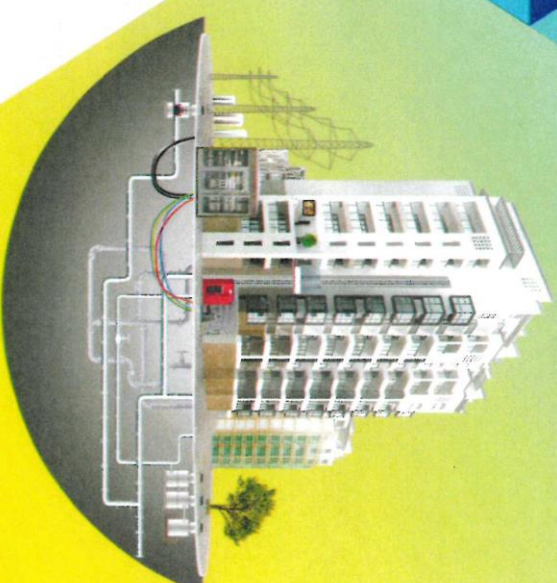
Строк дії кваліфікаційного атестату
до «11» квітня 2024 року

Голова Атестаційної комісії

Д.Т.Н.



О.М.Галінський



Додаток Б

Розрахунок енергопотребы та енергоспоживання
будівлі

ЗМІСТ

1. ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ	2
2. РОЗРАХУНКОВІ ПАРАМЕТРИ	3
3. ОСНОВНІ ОБ'ЄМНО-ПЛАНУВАЛЬНІ ПОКАЗНИКИ	3
4. ОБ'ЄМНО –ПЛАНУВАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ.....	4
5. ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОТЕХНІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЗОВНІШНІХ ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ	4
5.1 ТЕПЛОТЕХНІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ЗОВНІШНЬОЇ СТІНИ.....	4
5.3 ТЕПЛОТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗОВНІШНІХ ВІКОН ТА ДВЕРЕЙ.....	6
5.4 ТЕПЛОТЕХНІЧНИЙ РОЗРАХУНОК СУМІЩЕНОГО ПОКРИТТЯ.....	6
5.5 ТЕПЛОТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРЕКРИТТЯ В РІВНІ ПІДЛОГИ ПО ГРУНТУ	7
6. ЕНЕРГОПОТРЕБА ДЛЯ ОПАЛЕННЯ.....	7
6.1. ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ ТРАНСМІСІЄЮ	8
6.2 ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ ВЕНТИЛЯЦІЄЮ	12
6.3 ТЕПЛОВІ НАДХОДЖЕННЯ	15
6.4 ДИНАМІЧНІ ПАРАМЕТРИ.....	23
6.5 ВНУТРІШНІ УМОВИ.....	23
6.6 РОЗРАХУНОК ЕНЕРГОПОТРЕБИ ДЛЯ ОПАЛЕННЯ	24
7. ЕНЕРГОПОТРЕБА ДЛЯ ОХОЛОДЖЕННЯ	24
7.1 ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ ТРАНСМІСІЄЮ	25
7.2 ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ ВЕНТИЛЯЦІЄЮ	25
7.3 ДИНАМІЧНІ ПАРАМЕТРИ.....	28
7.4 РОЗРАХУНОК ЕНЕРГОПОТРЕБИ ДЛЯ ОХОЛОДЖЕННЯ.....	29
8. ЕНЕРГОПОТРЕБИ ДЛЯ ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ ($Q_{DHW,nd}$).....	30
9. РОЗРАХУНОК ЕНЕРГОПОТРЕБИ БУДІВЛІ.....	30
10. ЗАГАЛЬНЕ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ПРИ ОПАЛЕНІ	30
11. ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ПРИ ОХОЛОДЖЕНІ.....	33
12. РОЗРАХУНОК ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ БУДІВЛІ.....	34
14. ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ	34
13. ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ПРИ ОСВІТЛЕННІ.....	35

1. ЗАГАЛЬНА ІНФОРМАЦІЯ

Об'єкт- «Вище професійне училище Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, м. Вінниця, вул. Генерала Арабея, 7. Будівля НПРЧ з гуртожитками, інвентарний №101310007».

Зовнішні стіни:

- цегляна кладка товщиною 510 мм без утеплення;
- цегляна кладка товщиною 250 мм без утеплення;
- залізобетон товщиною 500 мм.

Суміщене покриття – з/б основа без утеплення.

Перекриття в рівні підлоги по ґрунту не утеплюється.

Світлопрозорі конструкції (вікна, фасадні двері) виконані з ПВХ-профілів із подвійним склінням із заповненням однокамерними склопакетами, також наявні вікна з дерев'яними рамами.

У будівлі передбачено централізоване теплопостачання та гаряче водопостачання від електричних бойлерів.

Вентиляція в будинку передбачається припливно-витяжна з природним спонуканням.

Облік енергоресурсів:

- енергії для системи опалення – лічильниками теплової енергії;
- енергії для системи гарячого водопостачання - лічильниками електричної енергії;
- електроенергії –лічильниками активної електричної енергії.

Система водяного опалення.

Теплоносій – вода.

Опалювальні прилади – радіатори.

Тип системи – двотрубна.

Регулювання температури теплоносія в системі – відсутнє (без залежності від погодних умов або надмірною температурою).

Відповідність проекту опалюваної площі будівлі - відповідає .

Гідравлічне балансування системи – відсутнє.

Регулювання періодичності зниження споживання енергії системою та/або розподілення теплоносія –відсутнє автоматичне регулювання.

Регулювання із застосуванням електроенергії – відсутнє.

Теплоізоляція трубопроводів та запірно-регулювальної арматури – наявна.

Регулювання температури приміщення - з П-регулюванням (1К).

Температурний напір (за температури повітря 20 °С) – 60 К (наприклад, 90/70).

Специфічні тепловтрати через зовнішні огороження - опалювальний прилад встановлено біля зовнішньої стіни, вікно без радіаційного захисту.

Гідравлічне налагодження – відсутнє.

Система повітряного опалення – відсутня.

Система панельно-променевого водяного або електричного опалення - відсутнє.

Система електричного опалення – відсутня.

Система гарячого водопостачання.

Розташування трубопроводів та їх теплоізоляція - трубопроводи розташовані в опалюваній частині будівлі та в неопалювальній, теплоізолювані стандартно.

Тип системи – тупикова.

Розташування циркуляційного трубопроводу – відсутнє.

Регулювання швидкості обертання насоса – відсутнє.

Регулювання періодичності зниження споживання енергії системою – відсутнє.

Тип джерела енергії та підігріву акумуляційного бака – електричні водонагрівачі.

Регулювання витоку води - ручне.

2. РОЗРАХУНКОВІ ПАРАМЕТРИ

Згідно з ДБН В.2.6-31:2021, для навчальних закладів:

- розрахункова температура внутрішнього повітря $t_v = 20$ °С;

- розрахункове значення відносної вологості повітря $\varphi_v = 50$ %.

Відповідно до таблиці Б.1 Додатку Б ДБН В.2.6-31:2021, $t_v = 20$ °С і $\varphi_v = 50$ % є показниками "нормального" вологісного режиму.

Вологісні умови експлуатації матеріалу в огорожувальних конструкціях.

Згідно до таблиці Б.3 Додатку Б ДБН В.2.6-31:2021, "нормальний" вологісний режим приміщень відповідає умовам експлуатації "Б".

Кількість градусо-днів опалювального періоду для I температурної зони – більше 3501°С· днів.

3. ОСНОВНІ ОБ'ЄМНО-ПЛАНУВАЛЬНІ ПОКАЗНИКИ

Площі зовнішніх огорожень будинку наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Площі зовнішніх огорожень будинку

Ч.ч	Вид огорожувальної конструкції	Загальна площа, м ²
1	Зовнішні стіни В тому числі: - стіни, що контактують з зовнішнім повітрям; - стіни, що контактують з ґрунтом	2223 1953,7 269,3
2	Підлога по ґрунту	1306,5
3	Суміщене покриття	1301,4
4	Світлопрозорі конструкції, в тому числі: - вікна	337,8 337,8
5	Вхідні двері в будинок, в тому числі: - ворота - вхідні двері	93,6 73,8 19,8
	Загальна площа зовнішніх огорожувальних конструкцій будинку, А_Σ, м²	5262,3

Кондиціонована площа будівлі становить $A_f = 3784,7 \text{ м}^2$.

Кондиціонований об'єм будівлі становить $V_f = 12937,7 \text{ м}^3$.

4. ОБ'ЄМНО – ПЛАНУВАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Коефіцієнт скління фасадів будинку визначається за формулою:

$$m_{gl,v} = (A_{i,\Sigma C,B}) / (A_{i,\Sigma C,B} + A_{i,\Sigma H,B}) = 337,8 / (1953,7 + 337,8 + 93,6) = 0,14.$$

Показник компактності будинку, $\Lambda_{bci}, \text{ м}^{-1}$:

$$\Lambda_B = A_{i\Sigma} / V = 5262,3 / 12937,7 = 0,41.$$

5. ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОТЕХНІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЗОВНІШНІХ ОГОРОЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

5.1 ТЕПЛОТЕХНІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ЗОВНІШНЬОЇ СТІНИ

Мінімально допустиме значення приведенного опору теплопередачі для непрозорих частин зовнішніх стін в І-й температурній $R_{qmin} = 4,0 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$.

Величини розрахункових теплофізичних параметрів матеріалів, що використовуються наведені в таблицях. Коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої і зовнішньої поверхонь огорожувальної конструкції дорівнюють:

$$h_{si} = 8,7 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К}); h_{se} = 23 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Конструкція зовнішньої стіни (тип I) – цегляна кладка. Товщина кладки - 510 мм.

Величини розрахункових теплофізичних параметрів матеріалів, що використовуються, наведено в таблиці 2.

Таблиця 2. Теплофізичні параметри матеріалів.

№ шару	Найменування шару	Густина, ρ_0 , кг/м ³	Товщина, δ , м	Теплопровідність λ_{ip} , Вт/(м·К)
1	Опорядження	--	--	--
2	Цегляна кладка	1800	0,51	0,81

$$R_{\Sigma пр. заг.} = 1/8,7 + 0,51/0,81 + 1/23 = 0,8 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт};$$

$$S = 1768,1 \text{ м}^2.$$

Конструкція зовнішньої стіни (тип II) – цегляна кладка. Товщина кладки - 250 мм.

Величини розрахункових теплофізичних параметрів матеріалів, що використовуються, наведено в таблиці 3.

Таблиця 3. Теплофізичні параметри матеріалів.

№ шару	Найменування шару	Густина, ρ_0 , кг/м ³	Товщина, δ , м	Теплопровідність λ_{ip} , Вт/(м·К)
1	Опорядження	--	--	--
2	Цегляна кладка	1800	0,25	0,81

$$R_{\Sigma пр. заг.} = 1/8,7 + 0,25/0,81 + 1/23 = 0,5 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт};$$

$$S = 148,1 \text{ м}^2.$$

Цоколь. Конструкція зовнішньої стіни (тип III) – залізобетон. Товщину стіни приймаємо 500 мм. Величини розрахункових теплофізичних параметрів матеріалів, що використовуються, наведено в таблиці 4.

Таблиця 4. Теплофізичні параметри матеріалів.

№ шару	Найменування шару	Густина, ρ_0 , кг/м ³	Товщина, δ , м	Теплопровідність λ_{ip} , Вт/(м·К)
1	Опорядження	-	-	-
2	Залізобетон	2500	0,5	2,04

Тоді, опір теплопередачі:

$$R_{\Sigma пр. заг.} = 1/8,7 + 0,5/2,04 + 1/23 = 0,4 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт};$$

$$S = 37,5 \text{ м}^2.$$

Значення лінійних коефіцієнтів теплопередачі лінійних теплопровідних включень навколо вікон:

- включення в зоні перемичок для стіни = 0,081 Вт/мК;

- включення в зоні підвіконня для стіни = 0,039 Вт/мК;

- включення в зоні рядового сполучення для стіни = 0,056 Вт/мК.

Для розрахунку енергетичної ефективності будівлі знайдено середнє значення опору теплопередачі стін:

$$R_{\Sigma пр} = 1953,7 / (1768,1 / 0,8 + 148,1 / 0,5 + 37,5 / 0,4 + 344,6 \cdot 0,081 + 311 \cdot 0,039 + 2 \cdot 261,2 \cdot 0,056) = 0,7 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$$

$$R_{\Sigma пр} \leq R_{q \min}$$

Теплотехнічний розрахунок зовнішніх стін, що контактують з ґрунтом.

Конструкція зовнішньої стіни (тип IV) – залізобетон. Товщину стіни приймаємо 500 мм. Величини розрахункових теплофізичних параметрів матеріалів, що використовуються, наведено в таблиці 5.

Величини розрахункових теплофізичних параметрів матеріалів, що використовуються, наведено в таблиці 5.

Таблиця 5. Теплофізичні параметри матеріалів

№ шару	Найменування шару	Густина, ρ_0 , кг/м ³	Товщина, δ , м	Теплопровідність λ_{ip} , Вт/(м·К)
1	Залізобетон	2500	0,5	2,04

Тоді, опір теплопередачі:

$$R_{\Sigma пр} = 0,5 / 2,04 = 0,2 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт};$$

$$S = 269,3 \text{ м}^2.$$

5.3 ТЕПЛОТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗОВНІШНІХ ВІКОН ТА ДВЕРЕЙ

Приведений опір теплопередачі зовнішніх світлопрозорих огорожувальних конструкцій – $R_{\Sigma пр,wi} = 0,75 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$, для дерев'яних – $0,6 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$

Приведений опір теплопередачі вхідних дверей у будинок – $R_{\Sigma пр,fdi} = 0,6 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}$.

5.4 ТЕПЛОТЕХНІЧНИЙ РОЗРАХУНОК СУМІЩЕНОГО ПОКРИТТЯ.

Мінімально допустиме значення приведенного опору теплопередачі для непрозорих частин суміщеного покриття в I-й температурній зоні становить:

$$R_{q \min} = 7,0 \text{ м}^2 \cdot \text{К} / \text{Вт}.$$

Коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої і зовнішньої поверхонь огорожувальної конструкції дорівнюють:

$$h_{si} = 10 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К}); h_{se} = 23 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Таблиця 6. Теплофізичні параметри матеріалів

№ шару	Найменування шару	Густина, ρ_0 , кг/м ³	Товщина, δ , м	Теплопровідність λ_{ip} , Вт/(м·К)
1	Стяжка з цементно-піщаного р-ну	1800	0,05	0,93
2	Плита залізобетонна	2500	0,22	2,04

Тоді, $R_{\Sigma} = 1/10 + 0,05/0,93 + 0,22/2,04 + 1/23 = 0,3 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$;

$$S = 1301,4 \text{ м}^2.$$

5.5 ТЕПЛОТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЕРЕКРИТТЯ В РІВНІ ПІДЛОГИ ПО ГРУНТУ

Величини розрахункових теплофізичних параметрів матеріалів, що використовуються, наведено в таблиці 7.

Таблиця 7. Теплофізичні параметри матеріалів

№ шару	Найменування шару	Густина, ρ_0 , кг/м ³	Товщина, δ , м	Теплопровідність λ_{ip} , Вт/(м·К)
1	Опорядження підлоги	-	-	-
2	Цементно-піщана стяжка	1800	0,05	0,93
3	Бетонна основа	2400	0,2	1,86
4	Втрамбований ґрунт основи	-	-	-

Тоді, $R_{\Sigma} = 0,05/0,93 + 0,2/1,86 = 0,2 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$;

$$S = 2353,8 \text{ м}^2.$$

6. ЕНЕРГОПОТРЕБА ДЛЯ ОПАЛЕННЯ

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

$$Q_{H,nd} = Q_{H,nd,cont} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} Q_{H,gn},$$

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

$Q_{H,ht}$ - сумарна теплопередача в режимі опалення, Вт·год;

$Q_{H,gn}$ сумарні теплонадходження в режимі опалення, Вт·год;

$\eta_{H,gn}$ - безрозмірний коефіцієнт використання надходжень.

Сумарна теплопередача ($Q_{n,h,t}$)

Для кожної зони будівлі та для кожного місяця сумарну теплопередачу

$Q_{n,h,t}$, Вт год, визначають за формулою:

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

де Q_{tr} - сумарна теплопередача трансмісією, Вт год;

Q_{ve} - сумарна теплопередача вентиляцією, Вт год.

Сумарну теплопередачу трансмісією Q_{tr} , Вт год, розраховують для кожного місяця та для кожної зони за формулою:

$$Q_{tr} = N_{tr,adj} \cdot (\theta_{int,set,h} - \theta_e) \cdot t,$$

де $N_{tr,adj}$ - загальний коефіцієнт теплопередачі трансмісією зони, Вт/К, встановлений для різниці температур всередині-ззовні,

$\theta_{int,Set,H}$ - задана температура зони будівлі для опалення, °С;

θ_e - середньомісячна температура зовнішнього середовища, °С;

t - тривалість місяця для якого проводиться розрахунок, год.

6.1. ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ ТРАНСМІСІЄЮ

Для розрахунку прийнято, що приведений опір теплопередачі зовнішніх огорожувальних конструкцій відповідає нормативним вимогам. Узагальнені коефіцієнти теплопередачі трансмісією наведені в таблиці 8.

Значення загального коефіцієнта теплопередачі трансмісією $N_{tr,adj}$, Вт/К, розраховується за формулою:

$$N_{tr,adj} = N_d + N_g + N_u + N_a$$

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

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

N_u – узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією через неконд. об'єми, Вт/К;

N_a – узагальнений коефіцієнт теплопередачі трансмісією до суміжних будівель, Вт/К., у даному випадку $N_a=0$.

$$N_x = b_{tr,x} \cdot \sum A_i \cdot U_i,$$

де A_i – площа і-го елемента оболонки будівлі, м²;

U_i – коефіцієнт теплопередачі і-го елемента оболонки будівлі, Вт/(м²·К), що становить $U_i = 1/R_{\Sigma pri}$;

$R_{\Sigma pri}$ – опір теплопередачі і-го елемента оболонки будівлі, м²·К/Вт;

$b_{tr,x}$ – поправочний коефіцієнт, що становить:

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

– $b_{tr,x} \neq 1$ при розрахунках H_g , H_U , H_A (визначається)

Таблиця 8. Характеристики теплопередачі трансмісією до зовнішнього середовища, H_d , Вт/К

№	Вид огорожувальної конструкції	A_i , м ²	R_{Σ} , м ² ·К/Вт	U , Вт/(м ² ·К)	$b_{tr,x,H}$	$b_{tr,x,C}$	$H_{d,H}$, Вт/К	$H_{d,C}$, Вт/К
1	Зовнішні стіни	1953,7	0,7	1,43	1	1	2793,8	2793,8
2	Суміщене покриття	1301,4	0,3	3,33	1	1	4333,7	4333,7
3	Світлопрозорі конструкції (дерев'яні вікна)	98	0,6	1,67	1	1	163,7	163,7
4	Світлопрозорі конструкції (металопластикові вікна)	239,8	0,75	1,33	1	1	318,9	318,9
5	Вхідні двері	93,6	0,6	1,67	1	1	156,3	156,3
	Σ						7766,4	7766,4

Теплопередача стаціонарного стану через ґрунт (опалювальний підвал)

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

$$H_g = A \cdot U_{bf} + z \cdot P \cdot U_{bw} + P \cdot \Psi_g$$

де A - площа підлоги, - 510,1 м²;

U - коефіцієнт теплопередачі підлоги по ґрунту, Вт/ (м²·К);

z - висота стін, що контактують з ґрунтом (нижче планувальної відмітки землі), 2,8 м;

P - зовнішній периметр підлоги – 130,8 м;

Ψ_g - лінійний коефіцієнт теплопередачі теплопровідного включення вузла сполучення конструкції підлоги по ґрунту із зовнішньою стіною, Вт/(м·К);

Визначаємо еквівалентну товщину підлоги згідно з формулою:

$$d_t = w + \lambda_g (R_{si} + R_f + R_{se}),$$

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

λ_g – теплопровідність ґрунту,

R_{si} - тепловий внутрішній поверхневий опір для горизонтальних огорожувальних конструкцій,

R_f - термічний опір підлоги включаючи всі шари, м²·К/Вт; (згідно розрахунку 0,2 м²·К/Вт)

R_{se} - тепловий зовнішній поверхневий опір, 0,043 м²· К/Вт.

$$d_t = 0,5 + 2(0,17 + 0,2 + 0,043) = 1,3 \text{ м};$$

Характерний розмір підлоги згідно з формулою:

$$B' = A/0,5P = 510,1/0,5 \cdot 130,8 = 7,8 \text{ м}$$

Так як $dt+0,5 z < B'$ (неізольована або посередньо ізольована підлога):

$1,3+0,5 \cdot 2,8=2,7 < 7,8$ то коефіцієнт теплопередачі підлоги по ґрунту U , Вт/(м²·К), визначаєм за формулою:

$$U_{bf} = [2\lambda / (\pi B' + dt + 0,5 z)] \ln (\pi B' / (dt + 0,5 z) + 1),$$

де B' - характерний розмір підлоги;

d_t - еквівалентна товщина підлоги;

λ - теплопровідність ґрунту, Вт/(м·К).

$$U_{bf} = [2 \cdot 2 / (3,14 \cdot 7,8 + 2,7)] \ln((3,14 \cdot 7,8 / 2,7) + 1) = 0,3 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$$

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

$$U_{bw} = [2\lambda / \pi z (1 + 0,5 d_t / d_t + z)] \ln (z/d_w + 1),$$

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

$$d_w = \lambda_g (R_{si} + R_w + R_{se}) = 2 \cdot (0,115 + 0,2 + 0,043) = 0,7.$$

Так як $d_w < d_t$, то:

$$U_{bw} = [2 \cdot 2 / (3,14 \cdot 2,8) \cdot (1 + 0,5 \cdot 0,7 / (0,7 + 2,8))] \ln (2,8 / 0,7 + 1) = 0,8.$$

$$H_g = 510,1 \cdot 0,3 + 2,8 \cdot 130,8 \cdot 0,8 + 130,8 \cdot 0,05 = 446 \text{ Вт/К}$$

Теплопередача стаціонарного стану через ґрунт (без підвалу)

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

$$H_g = A \cdot U + P \cdot \Psi_g$$

де A - площа підлоги, 796,4 м²;

U - коефіцієнт теплопередачі підлоги по ґрунту, Вт/(м²·К);

P - зовнішній периметр підлоги, 114 м;

Ψ_g - лінійний коефіцієнт теплопередачі теплопровідного включення вузла сполучення конструкції підлоги по ґрунту із зовнішньою стіною, Вт/(м·К);

Визначаємо еквівалентну товщину підлоги згідно з формулою:

$$d_t = w + \lambda_g (R_{si} + R_f + R_{se}),$$

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

λ_g - теплопровідність ґрунту, 2 Вт/(м·К);

R_{si} - тепловий внутрішній поверхневий опір для горизонтальних огорожувальних конструкцій - 0,17 м²·К/Вт;

R_f - термічний опір підлоги включаючи всі шари, $m^2 \cdot K/Wt$; (згідно розрахунку $0,2 m^2 \cdot K/Wt$);

R_{se} - тепловий зовнішній поверхневий опір, $0,043 m^2 \cdot K/Wt$.

$dt = 0,5 + 2(0,17 + 0,2 + 0,043) = 1,3 m$;

Характерний розмір підлоги згідно з формулою:

$B' = A/0,5P = 796,4/(0,5 \cdot 114) = 14 m$.

Так як $dt < B'$ (неізольована або посередньо ізольована підлога):

$1,3 < 14$, то коефіцієнт теплопередачі підлоги по ґрунту U , $Wt/(m^2 \cdot K)$, визначаєм за формулою:

$$U = [2\lambda / (\pi B' + dt)] \ln ((\pi B' / dt) + 1),$$

де B' - характерний розмір підлоги;

dt - еквівалентна товщина підлоги;

λ - теплопровідність ґрунту, $2 Wt / (m \cdot K)$.

$$U = [2 \cdot 2 / (3,14 \cdot 14 + 1,3)] \ln((3,14 \cdot 14 / 1,3) + 1) = 0,3 Wt / (m^2 \cdot K)$$

$$H_g = 796,4 \cdot 0,3 + 114 \cdot 0,05 = 244,6 Wt/K$$

$$H_{g, \text{загал}} = 446 + 244,6 = 690,6 Wt/K$$

Значення загального коефіцієнта теплопередачі трансмісією:

$$H_{tr, \text{adj}, H} = H_d + H_g = 7766,4 + 690,6 = 8457 Wt/K$$

$$H_{tr, \text{adj}, C} = H_d + H_g = 7766,4 + 690,6 = 8457 Wt/K$$

Сумарна теплопередача для опалення трансмісією розрахована згідно з формулою $Q_{tr} = H_{tr, \text{adj}} \cdot (\theta_{int, H, set} - \theta_e) \cdot t$ та для кожного місяця і приведена в таблиці 9.

Таблиця 9. Сумарна теплопередача трансмісією

Місяць року	$H_{tr, \text{adj}}, Wt/K$	$\theta_{int, H, set}, ^\circ C$	$\theta_e, ^\circ C$	t, год	$Q_{tr}, kWt \cdot \text{год}$
січень	8457	20	-5,1	744	157929,4
лютий	8457	20	-3,8	672	135257,9
березень	8457	20	0,5	744	122694,2
квітень	8457	20	8,1	720	72459,6
травень	8457	20	14,2	744	36493,6
червень	8457	20	17,2	720	17049,3
липень	8457	20	18,7	744	8179,6
серпень	8457	20	18	744	12584
вересень	8457	20	13,3	720	40796,6
жовтень	8457	20	7,6	744	78020,9
листопад	8457	20	1,8	720	110820,5
грудень	8457	20	-2,9	744	144087

6.2 ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ ВЕНТИЛЯЦІЄЮ

Для розрахунку прийнято, що система вентиляції будівлі відповідає вимогам ДБН В.2.5-67. Вентиляція в будинку припливно-витяжна природним спонуканням.

Площа основних приміщень $A_{f=}$ 2605,7 м².

Площа приміщень загального використання $A_{f=}$ 1179 м².

Сумарна теплопередача вентиляцією для опалення визначається за формулою:

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

де $N_{ve,adj,H}$ - загальний коефіцієнт теплопередачі вентиляцією для опалення, Вт/(К·год);

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

θ_e - середньомісячна температура зовнішнього середовища, °С;

t - тривалість місяця, для якого проводиться розрахунок, год,;

Загальний коефіцієнт теплопередачі вентиляцією

$$N_{ve,adj,H} = \text{ра са}(q_{ve,mn,H} \cdot b_{ve,H} + q_{inf,mn,H});$$

де ра са - теплоємність одиниці об'єму повітря, дорівнює 0,336 Вт·год/(м·К);

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

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

$q_{inf,mn,H}$ - усереднена за часом витрата повітря для інфільтрації для опалення, м³/год.

$$q_{ve,mn,H} = q_{ve,H} \cdot t_{ve,H} / 168,$$

де $q_{ve,H}$ - нормативні витрати вентиляційного повітря для опалення, м³/год

$t_{ve,H}$ - період використання нормативної витрати вентиляційного повітря для опалення, год/тиждень

Питомі витрати повітря для основних приміщень – 2,4 дм³/с·м²;

Питомі витрати повітря для приміщень загального користування – 0,7 дм³/с·м².

$q_{ve,осн.прим.} = (2,4/1000) \cdot 60 \cdot 60 \text{ м}^3/\text{год}/\text{м}^2 = 8,64 \cdot 2605,7 = 22513,2 \text{ м}^3/\text{год};$

$q_{ve,загал.кор.} = (0,7/1000) \cdot 60 \cdot 60 \text{ м}^3/\text{год}/\text{м}^2 = 2,52 \cdot 1179 = 2971,1 \text{ м}^3/\text{год}.$

$q_{ve,mn,осн.прим.} = 22513,2 \cdot 50/168 = 6700,4 \text{ м}^3/\text{год}.$

$q_{ve,mn,загал.кор.} = 2971,1 \cdot 50/168 = 884,3 \text{ м}^3/\text{год}.$

$q_{ve,mn} = 6700,4 + 884,3 = 7584,7 \text{ м}^3/\text{год}.$

Усереднена за часом витрата повітря для інфільтрації розраховується за формулою:

$$q_{inf,mn,H} = n_{inf,H} V_{ve} v_{tinf,H} / 168,$$

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

V_{ve} – об'єм зони, призначений для вентиляції;

v_v – коефіцієнт зниження об'єму повітря в будівлі, яким враховують наявність внутрішніх огорожувальних конструкцій, $v_v=0,85$;

$t_{inf, H}$ – період використання витрати повітря для інфільтрації для періодів опалення, год.

$$n_{inf, H} = \sum q_{inf, m, H} / (V_{ve} v_v)$$

де $q_{inf, m, H}$ – приведені витрати повітря через оболонку будівлі, що орієнтована на m -ну сторону світу для опалення, $m^3/год$

$$q_{inf, m, H} = Q_{100, s, m} ((a_{inf, se} (\Delta P_{gr, m, H} + F_{e, seas, m, H} \Delta P_{wd, m, H}) / 100)^{\frac{2}{3}}$$

$Q_{100, s, m}$ – повітропроникність через отвори (віконні, дверні) в стінових конструкціях будівлі, орієнтованих на відповідну сторону світу під час перепаду тиску зовні та всередині будівлі 100 Па, $m^3/год$;

$\Delta P_{gr, m, H}$ – перепад гравітаційного тиску зовні та всередині будівлі для опалення, Па;

$\Delta P_{wd, m, H}$ – перепад вітрового тиску зовні та всередині будівлі для опалення, Па;

$F_{e, seas, m, H}$ – повторюваність напрямку вітру за січень відповідно за сторонами світу;

$a_{inf, se}$ – надбавковий коефіцієнт, що враховує витрату повітря через глухі стінові конструкції оболонки будівлі. $a_{inf, se} = 1,1$.

Перепад гравітаційного тиску зовні та всередині будівлі для опалення розраховують за формулою:

$$\Delta P_{gr, m, H} = 0,5 Z_{se, m} (\gamma_{e, seas, H} - \gamma_{int, set, H}),$$

де $Z_{se, m}$ – висота будівлі від нижнього рівня опалювального об'єму (чи ґрунту за наявності опалювального цокольного поверху) до верхнього рівня опалювального об'єму, м;

$\gamma_{e, seas, H}$, $\gamma_{int, set, H}$ – питома вага відповідно зовнішнього і внутрішнього повітря для періоду опалення, H/m^3 , яку розраховують за формулами:

$$\gamma_{e, seas, H} = 3463 / (273 + \theta_{e, seas, H}),$$

$$\gamma_{int, set, H} = 3463 / (273 + \theta_{int, set, H}),$$

де $\theta_{e, seas, H}$ – середню температуру зовнішнього повітря за період із середньодобовою температурою повітря ≤ 8 °C (або ≤ 10 °C для будівель закладів освіти, дошкільної освіти та закладів охорони здоров'я), °C

$$\gamma_{e, seas, H} = 3463 / (273 + 0,6) = 12,7 \text{ H/m}^3.$$

$$\gamma_{int, set, H} = 3463 / (273 + 20) = 11,8 \text{ H/m}^3.$$

$$\Delta P_{gr, m, H} = 0,5 \cdot 12,7 (12,7 - 11,8) = 5,7 \text{ Па}.$$

Перепад вітрового тиску розраховують для середньої швидкості вітру за січень за відповідною стороною світу визначають за формулою:

$$\Delta P_{wd,m,H}=0,03 \gamma_{e, seas,H} \beta_{v,m} v_{e,seas,m,H}^2$$

де $v_{e,seas,m,H}$ – середня швидкість вітру за січень за сторонами світу;

$\beta_{v,m}$ – коефіцієнт, що враховує зміну швидкості повітря за висотою будівлі.

$$\Delta P_{wd,m,H(Пн,ПнСх)}=0,03 \cdot 12,7 \cdot 0,7 \cdot 3,8^2=3,9 \text{ Па}$$

$$\Delta P_{wd,m,H(Сх,ПдСх)}=0,03 \cdot 12,7 \cdot 0,7 \cdot 3,2^2=2,7 \text{ Па}$$

$$\Delta P_{wd,m,H(Пд,ПдЗх)}=0,03 \cdot 12,7 \cdot 0,7 \cdot 3,4^2=3,1 \text{ Па}$$

$$\Delta P_{wd,m,H(Зх,ПнЗх)}=0,03 \cdot 12,7 \cdot 0,7 \cdot 4,7^2=5,9 \text{ Па}$$

Повітропроникність через отвори в стінових конструкціях будівлі орієнтованих на відповідну сторону світу під час перепаду тиску зовні та всередині будівлі 100 Па, м³/год, визначають за формулою:

$$Q_{100,s,m}=\Sigma Q_{100} A_{i, m},$$

де $A_{i, m}$ – площа і-го елемента оболонки, орієнтованого на m-ну сторону світу;

Q_{100} – показник повітропроникності для відповідного типу конструкції, м³/(м²·год).

$$Q_{100,s,m}=9 \cdot (38,7+225+34,5+133,2)=3882,6 \text{ м}^3/\text{год}$$

Тоді $q_{inf, m,H(Пн,ПнСх)}=3882,6 (1,1(5,7+0,077 \cdot 3,9))/100)^{\frac{2}{3}}=634,1 \text{ м}^3/\text{год}$

$q_{inf, m,H(Сх,ПдСх)}=3882,6 (1,1(5,7+0,094 \cdot 2,7))/100)^{\frac{2}{3}}=630,8 \text{ м}^3/\text{год}$

$q_{inf, m,H(Пд,ПдЗх)}=3882,6 (1,1(5,7+0,142 \cdot 3,1))/100)^{\frac{2}{3}}=643,9 \text{ м}^3/\text{год}$

$q_{inf, m,H(Зх,ПнЗх)}=3882,6 (1,1(5,7+0,184 \cdot 5,9))/100)^{\frac{2}{3}}=688,3 \text{ м}^3/\text{год}$

Кратність повітрообміну за рахунок інфільтрації:

$$n_{inf, H}=(634,1+630,8+643,9+688,3)/(12937,7 \cdot 0,85)=0,2 \text{ год}^{-1}$$

Усереднена за часом витрата повітря за рахунок інфільтрації:

$$q_{inf, mn,H}=0,2 \cdot 12937,7 \cdot 0,85 \cdot (168-50)/168=1544,8 \text{ м}^3/\text{год}$$

Загальний коефіцієнт теплопередачі вентиляцією:

$$N_{ve,adj}=0,336(7584,7 \cdot 1+1544,8)=3067,5 \text{ Вт/К}$$

Сумарна теплопередача вентиляцією розрахована трансмісією згідно з формулою

$Q_{ve}=N_{ve,adj}(\theta_{int,set, H}-\theta_e) \cdot t$ та для кожного місяця і приведена в таблиці 10.

Таблиця 10. Сумарна теплопередача вентиляцією

Місяць року	$N_{ve, adj}$, КВт/К	$\theta_{int,H,set}$, °С	θ_e , °С	t, год	Q_{ve} , Вт·год
січень	3067,5	20	-5,1	744	57283,7
лютий	3067,5	20	-3,8	672	49060,4
березень	3067,5	20	0,5	744	44503,3
квітень	3067,5	20	8,1	720	26282,3
травень	3067,5	20	14,2	744	13236,9
червень	3067,5	20	17,2	720	6184,1

липень	3067,5	20	18,7	744	2966,9
серпень	3067,5	20	18	744	4564,4
вересень	3067,5	20	13,3	720	14797,6
жовтень	3067,5	20	7,6	744	28299,5
листопад	3067,5	20	1,8	720	40196,5
грудень	3067,5	20	-2,9	744	52262,8

Сумарна теплопередача розрахована згідно з формулою $Q_{n,ht} = Q_{tr} + Q_{ve}$ та приведені в таблиці 11.

Таблиця 11. Сумарна теплопередача

Місяць року	$Q_{ve}, \text{кВт}\cdot\text{год}$	$Q_{tr}, \text{кВт}\cdot\text{год}$	$Q_{n, ht}, \text{кВт}\cdot\text{год}$
січень	57283,7	157929,4	215213,1
лютий	49060,4	135257,9	184318,3
березень	44503,3	122694,2	167197,5
квітень	26282,3	72459,6	98741,9
травень	13236,9	36493,6	49730,5
червень	6184,1	17049,3	23233,4
липень	2966,9	8179,6	11146,5
серпень	4564,4	12584	17148,4
вересень	14797,6	40796,6	55594,2
жовтень	28299,5	78020,9	106320,4
листопад	40196,5	110820,5	151017
грудень	52262,8	144087	196349,8

6.3 ТЕПЛОВІ НАДХОДЖЕННЯ

Сумарні теплові надходження Q_{gn} , Вт·год, для кожного місяця визначають за формулою:

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

де Q_{int} - сума внутрішніх теплонадходжень протягом даного періоду, Вт·год,

Q_{sol} - сума сонячних теплонадходжень протягом даного періоду, Вт·год.

Теплонадходження від внутрішніх теплових джерел у зоні будівлі

До уваги прийняті наступні теплонадходження: внутрішній тепловий потік від людей, внутрішній тепловий потік від обладнання, внутрішній тепловий потік від освітлення. Відповідно загальна сумарна величина усередненого теплового потоку приймається:

$$Q_{int} = \frac{N}{168} \cdot \frac{N_m - N_{m, noc}}{N_m} (\sum \Phi_{int, mn, k} \cdot A_{f, k}) t + Q_{W, dis, rbl, m},$$

де N – графік використання, год/тиждень;

N_m – кількість днів у відповідному місяці;

$N_{m, \text{noc}}$ – кількість днів невикористання;

$\Phi_{\text{int}, m, k}$ – усереднена за часом щільність теплового потоку від k -го внутрішнього джерела, Вт/м²;

$A_{f, k}$ – кондиціонована площа зони будівлі, м²;

$Q_{w, \text{dis}, \text{rbl}}$ – утилізаційні регулярні тепловтрати, Вт/год, у даному випадку $Q_{w, \text{dis}, \text{rbl}} = 0$;

t – тривалість місяця, для якого проводять розрахування, год.

$$\Sigma \Phi_{\text{int}} = \Phi_{\text{int}, \text{Oc}} + \Phi_{\text{int}, \text{L}} + \Phi_{\text{int}, \text{A}}$$

За типовим графіком використання приймаємо:

для навчальних закладів:

- метаболічна теплота ($\Phi_{\text{int}, \text{Oc}}$) – 7 Вт/м²;

- освітлення ($\Phi_{\text{int}, \text{L}}$) – 7 Вт/м²;

- обладнання ($\Phi_{\text{int}, \text{A}}$) – 6 Вт/м².

$$\Sigma \Phi_{\text{int}} = 7 + 7 + 6 = 20 \text{ Вт/м}^2.$$

$$\frac{N}{168} \cdot \Phi_{\text{int}} \cdot A_f = \frac{50}{168} \cdot 20 \cdot 4521,5 = 26913,7 \text{ Вт.}$$

Сумарні тепло надходження від внутрішніх теплових джерел розраховані згідно з формулою $Q_{\text{int}} = (\Sigma \Phi_{\text{int}} \cdot A_f) \cdot t$ та для кожного місяця і приведені в таблиці 12.

Таблиця 12. Теплонадходження від внутрішніх теплових джерел

Місяць року	t, год	$\frac{N}{168} \cdot \Sigma \Phi_{\text{int}} \cdot A_f$	N_m	$N_{m, \text{noc}}$	$Q_{\text{int}}, \text{кВт} \cdot \text{год}$
січень	744	26913,7	31	2	18731,9
лютий	672	26913,7	28	0	18086
березень	744	26913,7	31	1	19377,9
квітень	720	26913,7	30	1	18731,9
травень	744	26913,7	31	3	18086
червень	720	26913,7	30	2	18086
липень	744	26913,7	31	22	5813,4
серпень	744	26913,7	31	22	5813,4
вересень	720	26913,7	30	0	19377,9
жовтень	744	26913,7	31	1	19377,9
листопад	720	26913,7	30	0	19377,9
грудень	744	26913,7	31	1	19377,9

Сонячні теплонадходження

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

$$Q_{sol} = (\sum \Phi_{sol,mn,k}) \cdot t,$$

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

t – тривалість місяця, год.

Сонячні теплонадходження через елементи будівлі:

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

де $F_{sh, ob, k}$ - понижувальний коефіцієнт затінення перешкодами для еквівалентної площі інсоляції k-ої поверхні, у даному випадку =1

$A_{sol,k}$ - еквівалентна площа інсоляції k-ої поверхні з даною орієнтацією та кутом нахилу у визначеній зоні чи об'ємі, м².

$I_{sol,k}$ - сонячна радіація, значення енергетичної освітленості сприймаючої площі k-ої поверхні з даною орієнтацією та кутом нахилу за середніх умов хмарності Вт/м².

Середньомісячна сонячна радіація на відповідні площини приведена в таблиці.

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

$F_r=1$ – для незатіненого горизонтального даху, $F_r=0,5$ – для незатіненої вертикальної стіни;

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

Еквівалентна площа інсоляції заклеєного елемента:

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

де $F_{sh,gl}$ - понижувальний коефіцієнт затінення для рухомих засобів;

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

F_F - частка площі обрамлення, відношення площі проекції обрамлення до загальної площі проекції заклеєного елемента, $F_F=0,3$ для віконних та дверних блоків;

$A_{w,p}$ - загальна площа проекції заклеєного елемента, м².

Коефіцієнт пропускання сонячної енергії (g_{gl}): $g_{gl} = F_w \cdot g_n$,

де F_w - поправочний коефіцієнт для нерозсіювального скління: $F_w = 0,90$.

g_n - коефіцієнт загального пропускання сонячної енергії при нормальному куті падіння для поширених типів скління, $g_n=0,75$.

$$g_{gl} = 0,75 \cdot 0,9 = 0,68$$

Площа світлопрозорих конструкцій згідно з проектними даними становить:

- на Пн,ПнСх фасаді – $A_{W, Пн,ПнСх} = 32,4 \text{ м}^2$;
- на Сх,ПдСх фасаді – $A_{W, Сх,ПдСх} = 147,3 \text{ м}^2$;
- на Пд,ПдЗх фасаді – $A_{W, Пд,ПдЗх} = 28,8 \text{ м}^2$;
- на Зх,ПнЗх фасаді – $A_{W, Зх,ПнЗх} = 129,3 \text{ м}^2$;

$$A_{sol,w,(Пн,ПнСх)} = F_{sh,gl} \cdot g_{gl} \cdot (1-F_F) \cdot A_{w,p} = 1 \cdot 0,68 \cdot (1-0,3) \cdot 32,4 = 15,4 \text{ м}^2$$

$$A_{sol,w,(Сх,ПдСх)} = F_{sh,gl} \cdot g_{gl} \cdot (1-F_F) \cdot A_{w,p} = 1 \cdot 0,68 \cdot (1-0,3) \cdot 147,3 = 70,1 \text{ м}^2$$

$$A_{sol,w,(Пд,ПдЗх)} = F_{sh,gl} \cdot g_{gl} \cdot (1-F_F) \cdot A_{w,p} = 1 \cdot 0,68 \cdot (1-0,3) \cdot 28,8 = 13,7 \text{ м}^2$$

$$A_{sol,w,(Зх,ПнЗх)} = F_{sh,gl} \cdot g_{gl} \cdot (1-F_F) \cdot A_{w,p} = 1 \cdot 0,68 \cdot (1-0,3) \cdot 129,3 = 61,5 \text{ м}^2$$

Сонячні теплонадходження розрахованні згідно формули $\Phi_{sol,w} = F_{sh,w} \cdot A_{sol,w} \cdot I_{sol,w}$ та для кожного місяця приведені в таблиці 13.

У випадку відсутності засобів рухомого затінення $F_{sh,gt} = 1$.

Таблиця 13. Сонячні теплонадходження через вікна

Місяць року	$I_{sol}, \text{Вт/м}^2$				$A_{sol,w}$				$\Phi_{sol,w}$				$\Sigma \Phi_{sol,w}$
	Пн,ПнСх	Сх,ПдСх	Пд,ПдЗх	Зх,ПнЗх	Пн,ПнСх	Сх,ПдСх	Пд,ПдЗх	Зх,ПнЗх	Пн,ПнСх	Сх,ПдСх	Пд,ПдЗх	Зх,ПнЗх	
січень	14,5	29,5	43,2	18,7	15,4	70,1	13,7	61,5	223,3	2068	591,8	1150,1	4033,2
лютий	23,1	45,7	62,7	30,1	15,4	70,1	13,7	61,5	355,7	3203,6	859	1851,2	6269,5
березень	37,2	66,1	81,3	48,9	15,4	70,1	13,7	61,5	572,9	4633,6	1113,8	3007,4	9327,7
квітень	45,9	81,5	85,4	60,3	15,4	70,1	13,7	61,5	706,9	5713,2	1170	3708,5	11298,6
травень	65,3	100,6	97,3	77,5	15,4	70,1	13,7	61,5	1005,6	7052,1	1333	4766,3	14157
червень	72,1	102,3	93,9	88,5	15,4	70,1	13,7	61,5	1110,3	7171,2	1286,4	5442,8	15010,7
липень	70,2	102,4	94,7	87,3	15,4	70,1	13,7	61,5	1081,1	7178,2	1297,4	5369	14925,7
серпень	54,2	99,2	100,6	72,7	15,4	70,1	13,7	61,5	834,7	6953,9	1378,2	4471,1	13637,9
вересень	34,9	81,2	96,7	52,7	15,4	70,1	13,7	61,5	537,5	5692,1	1324,8	3241,1	10795,5
жовтень	20,6	53,3	71,5	29,4	15,4	70,1	13,7	61,5	317,2	3736,3	979,6	1808,1	6841,2
листопад	10,5	25,5	36,7	14,3	15,4	70,1	13,7	61,5	161,7	1787,6	502,8	879,5	3331,6
грудень	10	21,4	31,3	12,3	15,4	70,1	13,7	61,5	154	1500,1	428,8	756,5	2839,4

Еквівалентна площа інсоляції непрозорих елементів будівлі.

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

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

де $\alpha_{s,c}$ - безрозмірний коефіцієнт поглинання сонячної радіації непрозорою частиною;

$\alpha_{s,c}=0,8$ для стін, $\alpha_{s,c}=0,9$ для суміщеного покриття;

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

U_c - коефіцієнт теплопередачі непрозорої частини, $Вт/(m^2 \cdot K)$;

A_c - площа проекції непрозорої частини, m^2 .

Теплове випромінювання в атмосфері.

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

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

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

U_c - коефіцієнт теплопередачі непрозорої частини, $Вт/(m^2 \cdot K)$;

A_c - площа проекції елемента, m^2 ;

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

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

$$U_c = 1/R_{стін} = 1/0,7 = 1,43 \text{ Вт}/(m^2 \cdot K);$$

$$U_{сум.. покрит.} = 1/R_{покр.} = 1/0,3 = 3,33 \text{ Вт}/(m^2 \cdot K).$$

Коефіцієнт теплопередачі випромінюванням зовнішньої поверхні h_r , $Вт/(m^2 \cdot K)$:

$$h_r = 4\varepsilon \cdot \sigma \cdot (\theta_{ss} + 273)^3,$$

де ε - коефіцієнт теплового випромінювання зовнішньою поверхнею огороження;

$\varepsilon = 0,93$ для стін, $\varepsilon = 0,9$ для покрівлі;

σ - стала Стефана-Больцмана $= 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(m^2 \cdot K^4)$;

θ_{ss} - середньо арифметичне значення поверхневої температури та температури атмосфери, $^{\circ}C$

Коефіцієнт теплопередачі розрахований згідно формули $h_r = 4\varepsilon \cdot \sigma \cdot (\theta_{ss} + 273)^3$ та для кожного місяця приведений в таблиці 14.

Таблиця 14. Коефіцієнт теплопередачі

Місяць року	σ , $Вт/(m^2 \cdot K^4)$	ε		$\theta_{ss}, ^{\circ}C$	$h_r, \text{ Вт}/(m^2 \cdot K)$	
		стіни	покрівля		стіни	покрівля
січень	$5,67 \cdot 10^{-8}$	0,93	0,9	-5,1	4,1	3,9
лютий				-3,8	4,1	4
березень				0,5	4,3	4,2
квітень				8,1	4,7	4,5
травень				14,2	5	4,8
червень				17,2	5,2	5

липень				18,7	5,2	5,1
серпень				18	5,2	5
вересень				13,3	4,9	4,8
жовтень				7,6	4,7	4,5
листопад				1,8	4,4	4,2
грудень				-2,9	4,2	4

Додатковий тепловий потік за рахунок теплового випромінювання розраховується за формулою $\Phi_r = R_{se} \cdot U_c \cdot A_c \cdot h_r \cdot \Delta \theta_{er}$ та по кожному місяцю приведений в таблиці 15.

Таблиця 15. Теплове випромінювання (стіни та покрівля)

Місяць року	$R_{se}, \text{ м}^2\text{К/Вт}$	$U_c, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$		$A_c, \text{ м}^2$		$h_r, \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$		$\Delta \theta_{er}, \text{ }^\circ\text{C}$	$\Phi_r, \text{ Вт}$	
		Стіни	Сум. покриття	Стіни	Сум. покриття	Стіни	Сум. покриття		Стіни	Сум. покриття
січень	0,043	1,43	3,33	1953,7	1301,4	4,1	3,9	11	5418	7994,3
лютий						4,1	4		5418	8199,3
березень						4,3	4,2		5682,3	8609,3
квітень						4,7	4,6		6210,9	9224,2
травень						5	4,9		6607,3	9839,1
червень						5,2	5		6871,6	10249
липень						5,3	5,1		6871,6	10454
серпень						5,3	5,1		6871,6	10249
вересень						5	4,8		6475,2	9839,1
жовтень						4,7	4,5		6210,9	9224,2
листопад						4,4	4,2		5814,4	8609,3
грудень						4,2	4		5550,1	8199,3

Площа непрозорих елементів згідно з проектними даними становить:

- на Пн,ПнСх фасаді– $A_{w, Пн,ПнСх} = 335,6 \text{ м}^2$;
- на Сх,ПдСх фасаді– $A_{w, Сх,ПдСх} = 639,4 \text{ м}^2$;
- на Пд,ПдЗх фасаді– $A_{w, Пд,ПдЗх} = 337,9 \text{ м}^2$;
- на Зх,ПнЗх2 фасаді– $A_{w, Зх,ПнЗх} = 640,8 \text{ м}^2$.

Еквівалентна площа інсоляції непрозорих елементів $A_{sol(стіни)}$ розрахована за формулою $A_{sol,w} = \alpha_{s,c} \cdot R_{se} \cdot U_c \cdot A_c$. При цьому, безрозмірний коефіцієнт поглинання сонячної радіації непрозорою частиною становить: $\alpha_{s,нп} = 0,8$ для стіни; $R_{se} = 0,043 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, $U_c = 1,43 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

$$A_{sol,c}(P_n, P_n C_x) = 0,8 \cdot 0,043 \cdot 1,43 \cdot 335,6 = 16,5 \text{ м}^2$$

$$A_{sol,c}(C_x, P_d C_x) = 0,8 \cdot 0,043 \cdot 1,43 \cdot 639,4 = 31,5 \text{ м}^2$$

$$A_{sol,c}(P_d, P_d Z_x) = 0,8 \cdot 0,043 \cdot 1,43 \cdot 337,9 = 16,6 \text{ м}^2$$

$$A_{sol,c}(Z_x, P_n Z_x) = 0,8 \cdot 0,043 \cdot 1,43 \cdot 640,8 = 31,5 \text{ м}^2$$

Таблиця 16. Сонячні теплонадходження через непрозорі елементи (стіни)

Місяць року	I_{sol} , Вт/м ²				$A_{sol,w}$				$\Phi_{sol,w}$				$\Sigma \Phi_{sol,w}$
	$P_n, P_n C_x$	$C_x, P_d C_x$	$P_d, P_d Z_x$	$Z_x, P_n Z_x$	$P_n, P_n C_x$	$C_x, P_d C_x$	$P_d, P_d Z_x$	$Z_x, P_n Z_x$	$P_n, P_n C_x$	$C_x, P_d C_x$	$P_d, P_d Z_x$	$Z_x, P_n Z_x$	
січень	14,5	29,5	43,2	18,7	16,5	31,5	16,6	31,5	239,3	929,3	717,1	589,1	2474,8
лютий	23,1	45,7	62,7	30,1	16,5	31,5	16,6	31,5	381,2	1439,6	1040,8	948,2	3809,8
березень	37,2	66,1	81,3	48,9	16,5	31,5	16,6	31,5	613,8	2082,2	1349,6	1540,4	5586
квітень	45,9	81,5	85,4	60,3	16,5	31,5	16,6	31,5	757,4	2567,3	1417,6	1899,5	6641,8
травень	65,3	100,6	97,3	77,5	16,5	31,5	16,6	31,5	1077,5	3168,9	1615,2	2441,3	8302,9
червень	72,1	102,3	93,9	88,5	16,5	31,5	16,6	31,5	1189,7	3222,5	1558,7	2787,8	8758,7
липень	70,2	102,4	94,7	87,3	16,5	31,5	16,6	31,5	1158,3	3225,6	1572	2750	8705,9
серпень	54,2	99,2	100,6	72,7	16,5	31,5	16,6	31,5	894,3	3124,8	1670	2290,1	7979,2
вересень	34,9	81,2	96,7	52,7	16,5	31,5	16,6	31,5	575,9	2557,8	1605,2	1660,1	6399
жовтень	20,6	53,3	71,5	29,4	16,5	31,5	16,6	31,5	339,9	1679	1186,9	926,1	4131,9
листопад	10,5	25,5	36,7	14,3	16,5	31,5	16,6	31,5	173,3	803,3	609,2	450,5	2036,3
грудень	10	21,4	31,3	12,3	16,5	31,5	16,6	31,5	165	674,1	519,6	387,5	1746,2

Еквівалентна площа інсоляції непрозорих елементів A_{sol} розрахована за формулою

$A_{sol} = \alpha_{s,c} \cdot R_{se} \cdot U_c \cdot A_c$. При цьому, безрозмірний коефіцієнт поглинання сонячної радіації становить: $\alpha_{s,c}=0,9$, $R_{se}=0,043 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}$, $U_c=3,33 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$, $A_c = 1301,4 \text{ м}^2$

$$A_{sol} = \alpha_{s,c} \cdot R_{se} \cdot U_c \cdot A_c = 0,9 \cdot 0,043 \cdot 3,33 \cdot 1301,4 = 167,7 \text{ м}^2$$

Таблиця 17. Сонячні теплонадходження через непрозорі елементи (покрівлі)

Місяць року	$A_{sol}, \text{ м}^2$	I_{sol} , Вт/м ²	$A_{sol} \cdot I_{sol} \cdot F_{r,k}$
січень	167,7	34	5701,8
лютий		59	9894,3
березень		99	16602,3
квітень		145	24316,5
травень		202	33875,4
червень		215	36055,5
липень		207	34713,9
серпень		180	30186

вересень		133	22304,1
жовтень		75	12577,5
листопад		33	5534,1
грудень		24	4024,8

Таблиця 18. Додатковий тепловий потік за рахунок теплового випромінювання

Місяць року	$\Phi_{г,}$		$F_{г, k}$		$F_{г, k} \cdot \Phi_{г, k}$	
	стіни	покрівля	стіни	покрівля	стіни	покрівля
січень	5418	7994,3	0,5	1	2709	7994,3
лютий	5418	8199,3			2709	8199,3
березень	5682,3	8609,3			2841,2	8609,3
квітень	6210,9	9224,2			3105,5	9224,2
травень	6607,3	9839,1			3303,7	9839,1
червень	6871,6	10249,1			3435,8	10249,1
липень	6871,6	10454,1			3435,8	10454,1
серпень	6871,6	10249,1			3435,8	10249,1
вересень	6475,2	9839,1			3237,6	9839,1
жовтень	6210,9	9224,2			3105,5	9224,2
листопад	5814,4	8609,3			2907,2	8609,3
грудень	5550,1	8199,3			2775,1	8199,3

Сонячні теплонадходження через елементи будівлі розраховуються за формулою

$$\Phi_{sol,k} = F_{sh,ob,k} \cdot A_{sol,k} \cdot I_{sol,k} - F_{г, k} \cdot \Phi_{г, k} \text{ та приведені в таблиці 19.}$$

Теплонадходження від сонця до зони будівлі $Vt_{год}$, розраховані за формулою

$$Q_{sol} = (\sum \Phi_{sol, mn, k}) \cdot t \text{ та приведені в таблиці 19.}$$

Таблиця 19. Теплонадходження від сонця

Місяць року	$\sum \Phi_{sol,w}, \text{Вт}$			$(F_{г, k} \cdot \Phi_{г, k}), \text{Вт}$		$\Phi_{sol,k}, \text{Вт}$	t, год	$Q_{sol}, \text{кВт} \cdot \text{год}$
	вікна	стіни	покрівля	стіни	покрівля			
січень	4033,2	2474,8	5701,8	2709	7994,3	1506,5	744	1120,8
лютий	6269,5	3809,8	9894,3	2709	8199,3	9065,3	672	6091,9
березень	9327,7	5586	16602,3	2841,2	8609,3	20065,5	744	14928,7
квітень	11298,6	6641,8	24316,5	3105,5	9224,2	29927,2	720	21547,6
травень	14157	8302,9	33875,4	3303,7	9839,1	43192,5	744	32135,2
червень	15010,7	8758,7	36055,5	3435,8	10249,1	46140	720	33220,8
липень	14925,7	8705,9	34713,9	3435,8	10454,1	44455,6	744	33075
серпень	13637,9	7979,2	30186	3435,8	10249,1	38118,2	744	28359,9

вересень	10795,5	6399	22304,1	3237,6	9839,1	26421,9	720	19023,8
жовтень	6841,2	4131,9	12577,5	3105,5	9224,2	11220,9	744	8348,3
листопад	3331,6	2036,3	5534,1	2907,2	8609,3	-614,5	720	-442,4
грудень	2839,4	1746,2	4024,8	2775,1	8199,3	-2364	744	-1758,8

6.4 ДИНАМІЧНІ ПАРАМЕТРИ

Часова константа будівлі характеризує внутрішню теплову інерцію будівлі

$$C_m = C \cdot A_f,$$

Будівля є важкою, відповідно внутрішня теплоємність будівлі на одиницю площі становить $C = 80 \text{ Вт} \cdot \text{год} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

$$C_m = 80 \cdot 4521,5 = 361720 \text{ Вт} \cdot \text{год} / \text{К}$$

Часова константа будівлі, τ , год:

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

де $H_{tr,adj}$ - репрезентативне значення загального коефіцієнта теплопередачі трансмісією, Вт/К

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

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

$$\tau = 361720 / (8457 + 3067,5) = 31,4 \text{ год.}$$

Безрозмірний коефіцієнт використання надходжень для опалення $\eta_{n,gn}$ - це функція співвідношення надходжень і втрат теплоти γ_n , та числового параметра a_n , який залежить від інерції будівлі. Розраховано за формулами для кожного місяця.

Безрозмірний числовий параметр a_n :

$$a_n = a_{n,0} + (\tau / \tau_{n,0}) = 1 + (31,4 / 15) = 3,1.$$

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

τ - часова константа зони будівлі, год,

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

6.5 ВНУТРІШНІ УМОВИ

Задана температура на опалення будівлі становить $\theta_{int,set,H} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Задана температура на охолодження будівлі становить $\theta_{int,set,C} = 24 \text{ }^\circ\text{C}$

6.6 РОЗРАХУНОК ЕНЕРГОПОТРЕБИ ДЛЯ ОПАЛЕННЯ

Розрахунок енергопотребы для опалення виконаний згідно з формулою $Q_{H,nd} = Q_{H,nd,cont} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} Q_{H,gn}$ для кожного місяця, наведений в таблиці 20.

Безрозмірне співвідношення надходжень і втрат теплоти для режиму опалення визначається за формулою:

$$\gamma_H = Q_{H,gn} / Q_{H,ht},$$

якщо $\gamma_H > 0$, то $\eta_{H,gn} = 1 - \gamma_H^{an} / 1 - \gamma_H^{an+1}$

якщо $\gamma_H < 0$, та $Q_{H,gn} > 0$, то $\eta_{H,gn} = 1 / \gamma_H$

Сумарні теплові надходження Q_{gn} Вт·год, для кожного місяця визначають за формулою:

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

Таблиця 20. Розрахунок енергопотребы для опалення.

Місяць року	$Q_{H,tr}$ кВт·год	$Q_{H,ve}$ кВт·год	$Q_{H,ht}$ кВт·год	$Q_{H,sol}$ кВт·год	$Q_{H,int}$ кВт·год	$Q_{H,gn}$ кВт·год	γ_H	$\eta_{H,gn}$	$Q_{H,nd}$ кВт·год
січень	157929,4	57283,7	215213,1	1120,8	18731,9	19852,7	0,09	1	195360,4
лютий	135257,9	49060,4	184318,3	6091,9	18086	24177,9	0,13	1	160140,4
березень	122694,2	44503,3	167197,5	14928,7	19377,9	34306,6	0,21	0,99	133234
квітень	72459,6	26282,3	98741,9	21547,6	18731,9	40279,5	0,41	0,96	--
травень	36493,6	13236,9	49730,5	32135,2	18086	50221,2	1,01	0,75	--
червень	17049,3	6184,1	23233,4	33220,8	18086	51306,8	2,21	0,43	--
липень	8179,6	2966,9	11146,5	33075	5813,4	38888,4	3,49	0,28	--
серпень	12584	4564,4	17148,4	28359,9	5813,4	34173,3	1,99	0,47	--
вересень	40796,6	14797,6	55594,2	19023,8	19377,9	38401,7	0,69	0,87	--
жовтень	78020,9	28299,5	106320,4	8348,3	19377,9	27726,2	0,26	0,99	78871,5
листопад	110820,5	40196,5	151017	-442,4	19377,9	18935,5	0,13	1	132081,5
грудень	144087	52262,8	196349,8	-1758,8	19377,9	17619,1	0,09	1	178730,7
Σ									878418,5

7. ЕНЕРГОПОТРЕБА ДЛЯ ОХОЛОДЖЕННЯ

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

$$Q_{C,nd} = Q_{C,nd,cont} = Q_{C,gn} - \eta_{C,IS} Q_{C,ht},$$

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

$Q_{C,ht}$ - сумарна теплопередача в режимі охолодження, Вт·год;

$Q_{c,gn}$ сумарні теплонадходження в режимі охолодження, Вт·год;

$\eta_{c,IS}$ -безрозмірний коефіцієнт використання надходжень.

Сумарна теплопередача ($Q_{c,ht}$)

Для кожної зони будівлі та для кожного місяця сумарну теплопередачу $Q_{c,ht}$, Вт·год, визначають за формулою: $Q_{ht} = Q_{tr} + Q_{ve}$,

де Q_{tr} - сумарна теплопередача трансмісією, Вт·год;

Q_{ve} - сумарна теплопередача вентиляцією, Вт·год.

7.1 ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ ТРАНСМІСІЄЮ

Сумарну теплопередачу трансмісією Q_{tr} , Вт·год, розрахована для кожного місяця за формулою $Q_{tr} = N_{tr,adj} \cdot (\theta_{int,set,C} - \theta_e) \cdot t$ та наведена в таблиці 21.

Таблиця 21. Сумарна теплопередача трансмісією

Місяць року	$N_{tr,adj}$, Вт/К	$\theta_{int,set,C}$, °С	θ_e , °С	t, год	$Q_{tr,c}$ кВт·год
січень	8457	24	-5,1	744	183097
лютий	8457	24	-3,8	672	157990
березень	8457	24	0,5	744	147862
квітень	8457	24	8,1	720	96815,7
травень	8457	24	14,2	744	61661,7
червень	8457	24	17,2	720	41405,5
липень	8457	24	18,7	744	33347,6
серпень	8457	24	18	744	37752
вересень	8457	24	13,3	720	65152,7
жовтень	8457	24	7,6	744	103189
листопад	8457	24	1,8	720	135177
грудень	8457	24	-2,9	744	169255

7.2 ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ ВЕНТИЛЯЦІЄЮ

Сумарна теплопередача вентиляцією через зону будівлі розраховується за формулою:

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

де $N_{ve,adj}$ - загальний коефіцієнт теплопередачі вентиляцією, Вт/К;

$N_{ve,extra,j,k}$ - загальний коефіцієнт теплопередачі за рахунок додаткової вентиляції (нічна вентиляція та/або природне охолодження) від k-го елемента, Вт/К; у даному випадку = 0;

$\theta_{int,set,C}$ - задана температура зони будівлі для опалення, °С;

θ_e - середньомісячна температура зовнішнього середовища, °С;

θ_{ej} - температура зовнішнього середовища, °С, для конкретної години доби, визначена на підставі погодинних значень репрезентативного дня місяця;

t - тривалість місяця, для якого проводиться розрахунок, год;

$f_{ve,extra,j,k}$ - частка роботи для конкретної години доби i -го дня місяця від k -го елемента додаткової вентиляції (якщо нічна вентиляція та/або природне охолодження працює); $f_{ve,extra,j,k} = 1$, якщо не працює, $f_{ve,extra,j,k} = 0$);

$j = 1$ до 24 - крок розрахунку в годинах;

$j = 1$ до N - крок розрахунку в добах ($N = 31$ для січня).

У випадку вентиляції за рахунок природного охолодження та/або нічної вентиляції протягом періоду охолодження додаткову складову загального коефіцієнта теплопередачі за рахунок додаткової вентиляції до кондиціонованого об'єму, Вт/К, розраховують за формулою:

$$H_{ve,adj,C} = \rho a c (q_{ve,mn,C} \cdot b_{ve,C} + q_{inf,mn,C});$$

де $\rho a c$ - теплоємність одиниці об'єму повітря, дорівнює $0,336$ Вт·год/(м·К);

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

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

$q_{inf,mn,C}$ - усереднена за часом витрата повітря для інфільтрації для охолодження, м³/год.

Усереднена за часом витрата повітря для інфільтрації розраховується за формулою:

$$q_{inf,mn,H} = n_{inf,C} V_{ve} v_v t_{inf,C} / 168,$$

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

V_{ve} – об'єм зони, призначений для вентиляції;

v_v – коефіцієнт зниження об'єму повітря в будівлі, яким враховують наявність внутрішніх огорожувальних конструкцій, $v_v = 0,85$;

$t_{inf,C}$ – період використання витрати повітря для інфільтрації для періодів охолодження, год.

$$n_{inf,C} = \sum q_{inf,m,C} / (V_{ve} v_v)$$

де $q_{inf,m,C}$ – приведені витрати повітря через оболонку будівлі, що орієнтована на m -ну сторону світу для охолодження, м³/год

$$q_{inf,m,C} = Q_{100,s,m} ((a_{inf,se} (\Delta P_{gr,m,C} + F_{e,seas,m,C} \Delta P_{wd,m,C}) / 100)^{\frac{2}{3}}$$

$Q_{100,s,m}$ – повітропроникність через отвори (віконні, дверні) в стінових конструкціях будівлі, орієнтованих на відповідну сторону світу під час перепаду тиску зовні та всередині будівлі 100 Па, м³/год;

$\Delta P_{gr,m,C}$ – перепад гравітаційного тиску зовні та всередині будівлі для охолодження, Па;

$\Delta P_{wd,m,C}$ – перепад вітрового тиску зовні та всередині будівлі для охолодження, Па;

$F_{e,seas,m,C}$ – повторюваність напрямку вітру за липень відповідно за сторонами світу;

$a_{inf, se}$ – надбавковий коефіцієнт, що враховує витрату повітря через глухі стінові конструкції оболонки будівлі. $a_{inf, se} = 1,1$.

Перепад гравітаційного тиску зовні та всередині будівлі для охолодження розраховують за формулою:

$$\Delta P_{gr,m,C} = 0,5 Z_{se,m} (\gamma_{e, seas,C} - \gamma_{int, set,C}),$$

де $Z_{se,m}$ – висота будівлі від нижнього рівня опалювального об'єму (чи ґрунту за наявності опалювального цокольного поверху) до верхнього рівня опалювального об'єму;

$\gamma_{e, seas,C}$, $\gamma_{int, set,C}$ – питома вага відповідно зовнішнього і внутрішнього повітря для періоду охолодження, Н/м³, яку розраховують за формулами:

$$\gamma_{e, seas,C} = 3463 / (273 + \theta_{e, seas,C}),$$

$$\gamma_{int, set,C} = 3463 / (273 + \theta_{int, set,C}),$$

де $\theta_{e, seas,C}$ – середню температуру зовнішнього повітря за період із середньодобовою температурою повітря ≥ 21 °С, °С

$$\gamma_{e, seas,C} = 3463 / (273 + 21) = 11,8 \text{ Н/м}^3.$$

$$\gamma_{int, set,C} = 3463 / (273 + 24) = 11,7 \text{ Н/м}^3.$$

$$\Delta P_{gr,m,C} = 0,5 \cdot 12,7 (11,8 - 11,7) = 0,6 \text{ Па}.$$

Перепад вітрового тиску розраховують для середньої швидкості вітру за липень за відповідною стороною світу визначають за формулою:

$$\Delta P_{wd,m,C} = 0,03 \gamma_{e, seas,C} \beta_{v,m} v_{e,seas,m,C}^2,$$

де $v_{e,seas,m,C}$ – середня швидкість вітру за липень за сторонами світу;

$\beta_{v,m}$ – коефіцієнт, що враховує зміну швидкості повітря за висотою будівлі.

$$\Delta P_{wd,m,C}(\text{Пн}, \text{ПнCx}) = 0,03 \cdot 11,8 \cdot 0,7 \cdot 3,4^2 = 2,9 \text{ Па}$$

$$\Delta P_{wd,m,C}(\text{Cx}, \text{ПдCx}) = 0,03 \cdot 11,8 \cdot 0,7 \cdot 3^2 = 2,2 \text{ Па}$$

$$\Delta P_{wd,m,C}(\text{Пд}, \text{Пд3x}) = 0,03 \cdot 11,8 \cdot 0,7 \cdot 3^2 = 2,2 \text{ Па}$$

$$\Delta P_{wd,m,C}(\text{3x}, \text{Пн3x}) = 0,03 \cdot 11,8 \cdot 0,7 \cdot 3,7^2 = 3,4 \text{ Па}$$

Повітропроникність через отвори в стінових конструкціях будівлі орієнтованих на відповідну сторону світу під час перепаду тиску зовні та всередині будівлі 100 Па, м³/год, визначають за формулою:

$$Q_{100,s,m} = \sum Q_{100} A_{i,m},$$

де $A_{i,m}$ – площа і-го елемента оболонки, орієнтованого на m-ну сторону світу;

Q_{100} – показник повітропроникності для відповідного типу конструкції, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$.

$$Q_{100,s,m} = 9 \cdot (38,7 + 225 + 34,5 + 133,2) = 3882,6 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$\text{Тоді } q_{\text{inf},m,C(\text{Пн},\text{ПнCx})} = 3882,6 (1,1(0,3 + 0,116 \cdot 2,9)) / 100)^{\frac{2}{3}} = 183,8 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$q_{\text{inf},m,C(\text{Cx},\text{ПдCx})} = 3882,6 (1,1(0,3 + 0,081 \cdot 2,2)) / 100)^{\frac{2}{3}} = 162,5 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$q_{\text{inf},m,C(\text{Пд},\text{Пд3x})} = 3882,6 (1,1(0,3 + 0,085 \cdot 2,2)) / 100)^{\frac{2}{3}} = 163,7 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$q_{\text{inf},m,C(\text{3x},\text{Пн3x})} = 3882,6 (1,1(0,3 + 0,216 \cdot 3,4)) / 100)^{\frac{2}{3}} = 232,8 \text{ м}^3/\text{год}$$

Кратність повітрообміну за рахунок інфільтрації:

$$n_{\text{inf},H} = (183,8 + 162,5 + 163,7 + 232,8) / (12937,7 \cdot 0,85) = 0,1 \text{ год}^{-1}$$

Усереднена за часом витрата повітря за рахунок інфільтрації:

$$q_{\text{inf},mn,H(\text{прир})} = 0,1 \cdot 12937,7 \cdot 0,85 \cdot (168 - 50) / 168 = 772,4 \text{ м}^3/\text{год}$$

$$N_{\text{ve,adj}} = 0,336 \cdot (7584,7 \cdot 1 + 772,4) = 2808 \text{ Вт/К}$$

Таблиця 22. Сумарна теплопередача вентиляцією

Місяць року	$N_{\text{ve,adj}}, \text{Вт/К}$	$\theta_{\text{int},H,\text{set}}, \text{°C}$	$\theta_e, \text{°C}$	t, год	$Q_{\text{ve}}, \text{Вт} \cdot \text{год}$
січень	2808	24	-5,1	744	60794,3
лютий	2808	24	-3,8	672	52457,9
березень	2808	24	0,5	744	49095,1
квітень	2808	24	8,1	720	32146
травень	2808	24	14,2	744	20473,7
червень	2808	24	17,2	720	13748
липень	2808	24	18,7	744	11072,5
серпень	2808	24	18	744	12534,9
вересень	2808	24	13,3	720	21632,8
жовтень	2808	24	7,6	744	34262,1
листопад	2808	24	1,8	720	44883,1
грудень	2808	24	-2,9	744	56198,2

7.3 ДИНАМІЧНІ ПАРАМЕТРИ

Часова константа будівлі характеризує внутрішню теплову інерцію будівлі

$$C_m = C \cdot A_f,$$

Будівля є важкою, відповідно внутрішня теплоємність будівлі на одиницю площі становить $C = 80 \text{ Вт} \cdot \text{год} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

$$C_m = 80 \cdot 4521,5 = 361720 \text{ Вт}\cdot\text{год}/\text{К}$$

Часова константа будівлі, τ , год,:

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

де $H_{tr,adj}$ - репрезентативне значення загал. коефіцієнта теплопередачі трансмісією, Вт/К

$H_{ve,adj}$ – репрезентативне значення загал. коефіцієнта теплопередачі вентиляцією, Вт/К

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

$$\tau = 361720 / (8457 + 2808 + 0) = 32,1.$$

Безрозмірний коефіцієнт використання надходжень для охолодження $\eta_{c,gn}$ – це функція співвідношення надходжень і втрат теплоти γ_H , та числового параметра a_c , який залежить від інерції будівлі. Розраховано за формулами кожного місяця.

Безрозмірний числовий параметр a_n :

$$a_c = a_{c,0} + (\tau / \tau_{c,0}) = 1 + (32,1/15) = 3,1.$$

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

τ - часова константа зони будівлі, год,

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

7.4 РОЗРАХУНОК ЕНЕРГОПОТРЕБИ ДЛЯ ОХОЛОДЖЕННЯ

Розрахунок енергопотреби для охолодження виконаний згідно з формулою $Q_{C,nd} = Q_{C,nd,cont} = Q_{C,gn} - \eta_{C,IS} Q_{C,ht}$ для кожного місяця, наведений в таблиці 23.

Безрозмірне співвідношення надходжень і втрат теплоти для режиму опалення визначається за формулою: $\gamma_H = Q_{C,gn} / Q_{C,ht}$,

якщо $\gamma_H > 0$, то $\eta_{C,gn} = (1 - \gamma_H^{-a_c}) / (1 - \gamma_H^{-(a_c+1)})$

Таблиця 23. Розрахунок енергопотреби для охолодження

Місяць року	$Q_{C,tr}$, кВт·год	$Q_{C,ve}$, кВт·год	$Q_{C,ht}$, кВт·год	$Q_{C,sol}$, кВт·год	$Q_{C,int}$, кВт·год	$Q_{C,gn}$, кВт·год	γ_C	$\eta_{C,gn}$	$Q_{C,nd}$, кВт·год
січень	183097,4	60794,3	243891,7	1120,8	18731,9	19852,7	0,08	0,08	-
лютий	157990,3	52457,9	210448,2	6091,9	18086	24177,9	0,11	0,11	-
березень	147862,2	49095,1	196957,3	14928,7	19377,9	34306,6	0,17	0,17	-
квітень	96815,7	32146	128961,7	21547,6	18731,9	40279,5	0,31	0,3	1591
травень	61661,7	20473,7	82135,4	32135,2	18086	50221,2	0,61	0,55	5046,7
червень	41405,5	13748	55153,5	33220,8	18086	51306,8	0,93	0,73	11044,7
липень	33347,6	11072,5	44420,1	33075	5813,4	38888,4	0,88	0,71	7350,1
серпень	37752,0	12534,9	50286,9	28359,9	5813,4	34173,3	0,68	0,6	4001,2

вересень	65152,7	21632,8	86785,5	19023,8	19377,9	38401,7	0,44	0,42	1951,8
жовтень	103188,9	34262,1	137451,0	8348,3	19377,9	27726,2	0,2	0,2	-
листопад	135176,7	44883,1	180059,8	-442,4	19377,9	18935,5	0,11	0,11	-
грудень	169255,0	56198,2	225453,2	-1758,8	19377,9	17619,1	0,08	0,08	-
Σ									30985,5

8. ЕНЕРГОПОТРЕБИ ДЛЯ ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ ($Q_{DHW,nd}$)

Для цілей сертифікації енергоефективності згідно з нормативними вимогами питомі енергопотребы ГВП для навчальних закладів на $1\text{м}^2=10\text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$.

$$Q_{DHW,nd}=4521,5\cdot 10=45215\text{ кВт}\cdot\text{год}$$

9. РОЗРАХУНОК ЕНЕРГОПОТРЕБИ БУДІВЛІ

$$EP=(Q_{H,nd}+Q_{C,nd}+Q_{DHWnd})/V_f=(878418,5+30985,5+45215)/12937,7=73,8\text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^3.$$

10. ЗАГАЛЬНЕ ЕНЕРГОСПОЖИВННЯ ПРИ ОПАЛЕНІ

Джерелом теплопостачання є централізоване теплопостачання. Опалювальні прилади - радіатори.

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

$$Q_{H,use}=Q_{H,gen,out,t}+Q_{H,gen,Is,i},$$

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

$Q_{H,gen,Is,i}$ - загальні тепловтрати підсистем виробництва/генерування та акумулювання теплоти упродовж і-го місяця, кВт·год.

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

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

$$Q_{H,dis,in,i}=Q_{H,dis,is,nrvd,i}+Q_{H,dis,out,i}$$

де $Q_{H,dis,is,nrvd,i}$ - неутілізовані тепловтрати підсистеми розподілення упродовж і-го місяця, кВт·год;

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

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

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

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

$Q_{H,em,in,i}$ - енергія входу, необхідна для підсистеми тепловіддачі впродовж і-го місяця кВт·год, розраховується за формулою:

$$Q_{H,em,in,i} = Q_{H,em,out} + Q_{H,em,Is,i}$$

де $Q_{H,em,out}$ - енергія виходу підсистеми тепловіддачі за і-й місяць, кВт·год;

$Q_{H,em,Is,i}$ - загальні тепловтрати підсистем тепловіддачі/виділення впродовж і-го місяця, які вважаються 100 % придатними для утилізації, кВт·год.

$$Q_{H,em,Is} = (f_{hydr} \cdot f_{im} \cdot f_{rad}) / (\eta_{em} - 1) \cdot Q_{H,em,out},$$

де $Q_{H,em,Is}$ – загальні тепловтрати підсистеми тепловіддачі/виділення за конкретний місяць, Вт- год;

$Q_{H,em,out}$ -енергія виходу від підсистеми тепловіддачі/виділення за конкретний місяць, Вт год, є енергопотребою для опалення за конкретний місяць Q_{Hnd} ;

f_{hydr} - коефіцієнт, що враховує гідравлічне налагодження системи;

f_{im} - коефіцієнт, що враховує застосування періодичного теплового режиму приміщення; $f_{im} = 1$ - для постійного теплового режиму;

$f_{im} = 0,98$ - для періодичного теплового режиму з регулюванням без інтегрованого зворотного зв'язку;

$f_{im} = 0,97$ – для періодичного теплового режиму з регулюванням, що має інтегрований зворотний зв'язок (з оптимізованим пуском);

f_{rad} - коефіцієнт, що враховує променеву складову теплового потоку (тільки для променевих систем опалення);

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

$$\eta_{em} = \frac{1}{4 - (\eta_{str} + \eta_{ctr} + \eta_{emb})}$$

де η_{str} - складова загального рівня ефективності, яка враховує вертикальний профіль температури повітря приміщення;

η_{ctr} - складова загального рівня ефективності, яка враховує регулювання температури приміщення;

η_{emb} - складова загального рівня ефективності, яка враховує питомі втрати зовнішніх огорожень.

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

$$\eta_{str} = (0,88 + 0,83) / 2 = 0,86.$$

$$\eta_{ctr} = 0,93 \quad \eta_{emb} = 1$$

$$\eta_{em} = \frac{1}{4 - (0,86 + 0,93 + 1)} = 0,83.$$

Загальні тепловтрати підсистеми тепловіддачі/виділення визначаються для кожного місяця за формулою, при цьому: $f_{hydr} = 1,03$; $f_{im} = 1$, $f_{rad} = 1$.

$$Q_{H,em,ls} = ((f_{hydr} \cdot f_{im} \cdot f_{rad}) / \eta_{em}) - 1 \cdot Q_{H,em,out} = ((1,03 \cdot 1 \cdot 1) / 0,83) - 1 \cdot Q_{H,em,out} = 0,24 \cdot Q_{H,em,out}$$

Енергія виходу до підсистеми розраховується за формулою $Q_{H,em,in} = Q_{H,em,out} + (1 - 0,8 \cdot \eta_{H,qn,i}) \cdot Q_{H,em,ls,i}$ для кожного місяця та наведені в таблиці 26.

Таблиця 24. Загальні тепловтрати для зони будівлі

Місяць року	$Q_{H,nd} = Q_{H,em,out,i}, \text{кВт} \cdot \text{год}$	$\eta_{H,qn,i}$	$Q_{H,em,ls,i}, \text{кВт} \cdot \text{год}$	$Q_{H,em,in,i}, \text{кВт} \cdot \text{год}$
січень	195360,4	1	46886,5	204737,7
лютий	160140,4	1	38433,7	167827,1
березень	133234	0,99	31976,2	139885
квітень	--	-	--	--
травень	--	-	--	--
червень	--	-	--	--
липень	--	-	--	--
серпень	--	-	--	--
вересень	--	-	--	--
жовтень	78871,5	0,99	18929,2	82808,8
листопад	132081,5	1	31699,6	138421,4
грудень	178730,7	1	42895,4	187309,8
Σ	878418,5		210820,6	920989,8

$$Q_{H,dis,out,i} = Q_{H,em,in,i} = 920989,8 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$Q_{H,dis,in,i} = Q_{H,dis,js,nrvd,i} + Q_{H,dis,out,i} = 0 + 920989,8 = 920989,8 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$Q_{H,gen,out,i} = Q_{H,dis,in,i} = 920989,8 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

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

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

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

$$Q_{H,gen,ls,i} = 920989,8 \cdot (1 - 0,7) / 0,7 = 394709,9 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Річне енергоспоживання при опаленні:

$$Q_{H,use} = Q_{H,use} = Q_{H,gen,out,t} + Q_{H,gen,ls,i} = 920989,8 + 394709,9 = 1315699,7 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

11. ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ПРИ ОХОЛОДЖЕНІ

Енергоспоживання при охолодженні, кВт·год, розраховують за формулою:

$$Q_{C,use} = Q_{C,gen,out} + Q_{C,gen,is}$$

де $Q_{C,gen,out}$ - енергія виходу від підсистем виробництва/генерування та акумулювання, кВт·год,

$Q_{C,gen,is}$ - загальні тепловтрати підсистеми виробництва/генерування та акумулювання, кВт·год.

Загальну енергію виходу з підсистем виробництва/генерування та акумулювання, кВт·год, розраховують за формулою:

$$Q_{C,gen,out} = Q_{C,dis,in} / \eta_{C,ac}$$

де $\eta_{C,ac}$ - ефективність автоматичного управління/регулювання, приймають в залежності від класу ефективності системи управління/регулювання.

Енергію входу, яка необхідна для підсистеми розподілення, кВт·год, визначають за формулою:

$$Q_{C,dis,in} = Q_{C,dis,out,i} / 1000 + Q_{C,dis,is}$$

де $Q_{C,dis,out,i}$ - енергія виходу для підсистеми розподілення упродовж і-го місяця, Вт·год, приймають такою, що дорівнює енергопотребі для охолодження $Q_{c,nd}$;

$Q_{C,dis,is}$ - річні тепловтрати підсистемою розподілення охолодженого повітря, кВт·год.

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

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

де $Q_{c,nd}$ - річні енергопотреби для охолодження, кВт·год;

$\eta_{C,ce}$ - ступінь утилізації теплообміну при охолодженні в системі охолодження;

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

$\eta_{C,d}$ - ступінь утилізації підсистеми розподілення.

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

$$Q_{C,dis,in} = Q_{c,nd} = 30985,5 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$Q_{C,gen,out} = 30985,5 / 0,93 = 33317,7 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Загальні тепловтрати підсистеми виробництва/генерування та акумулювання,

кВт год, розраховують за формулою:

$$Q_{C,gen,is} = Q_{C,gen,out} \cdot (1 - \eta_{C,gen}) / \eta_{C,gen},$$

де $\eta_{C,gen}$ - ефективність підсистеми виробництва/генерування та акумулювання,
 $\eta_{C,gen}=2,4$

$Q_{C,gen,out}$ - енергія виходу від підсистем виробництва/генерування та акумулювання,
кВт·год.

$$Q_{C,gen,is} = 33317,7 \cdot (1 - 2,4) / 2,4 = -19435,3 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Енергоспоживання при охолодженні

$$Q_{C,use} = 33317,7 + (-19435,3) = 13882,4 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

12. РОЗРАХУНОК ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ БУДІВЛІ

$$EP_p = (Q_{H,use} + Q_{C,use}) / V_f = (1315699,7 + 13882,4) / 12937,7 = 102,8 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^3$$

Для навчальних закладів: $EP_p = 55 \Lambda_{bci} + 24 = 46,6 \text{ Вт} \cdot \text{год} / \text{м}^3$.

$$EP_{use} \leq EP_p$$

Отже умова виконується: $102,8 > 46,6$

Визначення класу енергетичної ефективності будинку:

Визначаємо за різницею в % розрахункового або фактичного значення питомих енергоспоживань:

$$[(EP_{use} - EP_p) / EP_p] \cdot 100\% = [(102,8 - 46,6) / 46,6] \cdot 100\% = 120,6\%$$

Згідно з методикою визначення енергетичної ефективності дана будівля відноситься до класу енергетичної ефективності «G».

14. ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

$$Q_{DHW,use} = [Q_{DHW,nd} + Q_{W,em,l} + \sum_m (Q_{W,dis,ls,m} + Q_{W,dis,ls,col,off,m}) / 1000] / \eta_{gen}$$

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

$$Q_{W,dis,ls} = Q_{W,dis,ls,D} + Q_{W,dis,ls,U}$$

де $Q_{W,dis,ls,D}$ – місячні тепловтрати трубопроводами системи ГВП, розміщеними в опалювальних об'ємах, визначають за формулою:

$$Q_{W,dis,ls,D} = \sum_j \Psi_{W,j} \cdot L_{W,j} \cdot (\theta_{W,dis,avg,j} - \theta_{amb,j}) \cdot t_{W,j}$$

$Q_{W,dis,ls,U}$ – місячні тепловтрати трубопроводами системи ГВП, розміщеними в неопалювальних об'ємах, в даному випадку $Q_{W,dis,ls,U} = 0$.

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

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

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

θ_{amb} - середня температура середовища навколо секції трубопроводу або температура опалюваного чи неопалюваного приміщення, °С;

t_w - період користування ГВП (год/місяць);

J - індекс, що позначає трубопроводу, розміщені в опалювальних об'ємах з однаковими граничними умовами;

Тепловтрати використаної води ГВП під час водорозбирання, $Q_{w,em,l}$, кВт·год, розраховується за формулою:

$$Q_{w,em,ls} = Q_{DHW,nd} \cdot \eta_{eq} / 100,$$

$$Q_{w,dis,ls} = (0,8 \cdot 156 \cdot (55-22) \cdot 2603) / 1000 = 10720,2 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

$$Q_{w,em,l} = 45215 \cdot 10 / 100 = 4521,5 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

$$Q_{DHW,nd} = 45215 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Річний обсяг енергоспоживання на потреби ГВП визначають згідно з формулою, при цьому ефективність підсистеми виробництва/генерування теплоти, $\eta_{gen} = 94 \%$.

$$Q_{DHW,use} = (10720,2 + 4521,5 + 45215) / 0,94 = 64315,6 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

13. ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ПРИ ОСВІТЛЕННІ

Річний обсяг енергоспоживання при освітленні $Q_{w,use}$, кВт·год, розраховують за формулою:

$$Q_{w,use} = Q_{WL} + Q_{WP},$$

$$Q_{WL} = (P_N \cdot F_C) \cdot ((t_D \cdot F_0 \cdot F_D) + (t_N \cdot F_0)) \cdot A_f / 1000,$$

$$Q_{WP} = (P_{em} \cdot A_{em} + P_{pc} \cdot A_{pc})$$

$$A_{pc} = 4521,5 \text{ м}^2.$$

Площа приміщень з аварійним освітленням: $A_{em} = 1179 \text{ м}^2$.

$$P_{N1} = 7 \text{ Вт/м}^2, t_D = 1800 \text{ год}, t_N = 200 \text{ год};$$

$$F_C = 1, F_0 = 1, F_D = 1, P_{pc} = 5, P_{em} = 1.$$

$$Q_{WL} = 7 \cdot 1 \cdot (1800 + 200) \cdot 4521,5 / 1000 = 63301 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

$$Q_{WP} = (1 + 5) \cdot 1179 = 7074 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Річний обсяг енергоспоживання при освітленні $Q_{w,use} = 63301 + 7074 = 70375 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$