ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В УНІВЕРСИТЕТСЬКИХ МІСТЕЧКАХ

Збірник задач для студентів вищих закладів освіти

Січень 2011 р.

Київ, Україна

Погляди авторів, викладені у цьому виданні, не обов'язково відображають думку Агентства США з міжнародного розвитку USAID або уряду Сполучених Штатів Америки

Підготовлено Проектом USAID "Реформа міського теплозабезпечення в Україні"

ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В УНІВЕРСИТЕТСЬКИХ МІСТЕЧКАХ

Збірник задач для студентів вищих закладів освіти

Київ - 2011

УДК XXXXXXXXXXXXXXX
ББК XXXXXXXXXXXXXXX

Рецензенти:
д-р техн. наук, проф. **В.І. Дешко**
д-р техн. наук, проф. **В.О. Поколенко**

Е65 Енергозбереження в університетських містечках [Текст]: Збірник задач для студ. вищих закл. освіти / К.Р. Сафіуліна, А.Г. Колієнко, Р.Ю. Тормосов. – К. : ТОВ «Поліграф плюс», 2011. – 196 с.

ISBN XXXXXXXXXXXXXXX

Збірник задач розроблено як методичне забезпечення програми «Енергоефективні університетські містечка», що впроваджується в рамках Проекту USAID «Реформа міського теплозабезпечення в Україні».

Видання містить задачі з основних тем курсу «Енергозбереження в університетських містечках», які викладено в однойменному посібнику. Воно спрямоване на закріплення теоретичних знань, що їх здобули студенти у процесі опрацювання посібника «Енергозбереження в університетських містечках», а також оволодіння навичками виконання розрахунків з технічних, економічних та екологічних аспектів енергозбереження.

У збірнику задач запропоновано форму опитувального листа для проведення обстежень будівель, споруд та обладнання вищих навчальних закладів (ВНЗ), приклад звіту за результатами енергетичного аудиту гуртожитків і навчальних корпусів, довідникові таблиці, дані з яких студенти зможуть використовувати під час розв'язання задач, здійснення обстежень та розробки проектів з підвищення енергоефективності ВНЗ.

Призначено для студентів вишів інженерних, економічних та екологічних напрямків підготовки. Може бути використано також працівниками адміністративно-господарських відділів бюджетних установ та фахівцями з питань проектування, енергетичного аудиту та експлуатації будівель й інженерних систем.

УДК XXXXXXXXXXXXXXX
ББК XXXXXXXXXXXXXXX

ISBN XXXXXXXXXXXXXXX

© Проект USAID «Реформа міського теплозабезпечення в Україні»

ЗМІСТ

ВСТУП 7

РОЗДІЛ 2 ЕНЕРГІЯ ТА ЕНЕРГОКОРИСТУВАННЯ: ІСТОРІЯ, СУЧАСНІСТЬ, ПРОГНОЗИ НА МАЙБУТНЄ 9

РОЗДІЛ 3 КОМУНАЛЬНА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКА ТА ПРОБЛЕМИ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ 14

РОЗДІЛ 4 ОСНОВИ ТЕПЛОФІЗИКИ БУДІВЕЛЬ 54

РОЗДІЛ 5 УМОВИ ТА ПАРАМЕТРИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ЛЮДИНИ У БУДІВЛЯХ 67

РОЗДІЛ 6 ЖИТЛОВИЙ БУДИНОК (ГУРТОЖИТОК) ЯК ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ ПОДАЧІ ТА СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГІЇ 80

РОЗДІЛ 7 РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ В НАВЧАЛЬНИХ КОРПУСАХ ВНЗ 109

РОЗДІЛ 8 ОРГАНІЗАЦІЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО АУДИТУ В ЖИТЛОВИХ БУДІВЛЯХ, НАВЧАЛЬНИХ КОРПУСАХ ТА ІНШИХ СПОРУДАХ УНІВЕРСИТЕТСЬКИХ МІСТЕЧОК 128

ДОДАТКИ 161

Додаток А Кліматичні параметри холодного періоду року для деяких населених пунктів України 161

Додаток Б Норми щільності теплового потоку через ізольовану поверхню трубопроводів двотрубних водяних теплових мереж, за умови їх розташування в непрохідних каналах 162

Норми щільності теплового потоку за умови розташування трубопроводів теплових мереж у приміщеннях та тунелях 163

Додаток В Норми щільності теплового потоку через ізольовані поверхні трубопроводів за умов двотрубного підземного безканального прокладання водяних теплових мереж 164

Величина коефіцієнта K_2, що враховує зміну норм щільності теплового потоку при застосуванні теплоізоляційного шару з пінополіуретану, полімербетону, фенольного поропласту ФЛ 165

Додаток Г Довідникові дані для визначення втрат теплоти в теплових мережах з охолодженням води в трубопроводах 166
Додаток Д Визначення втрат теплоти від неізольованих і ізольованих трубопроводів систем опалення, гарячого водопостачання і циркуляційних трубопроводів, які прокладено у приміщенні 167
Додаток Е Визначення питомих об'ємів води для наповнення трубопроводів теплових мереж 168
Питомий об'єм води для наповнення абонентських систем опалення 168
Додаток Ж Температура води, що подається в систему опалення за температурним графіком 95 / 70 ^{0}C при температурі зовнішнього повітря $t_з$, ^{0}C та температурі в приміщенні $t_в$ = +18 ^{0}C 169
Температура води, що подається в систему опалення за температурним графіком 105 / 70 ^{0}C при температурі зовнішнього повітря $t_з$, ^{0}C та температурі в приміщенні $t_в$ = +18 ^{0}C 170
Додаток З Мінімально допустимі значення опору теплопередачі огороджувальних конструкцій для житлових та громадських будинків 171
Додаток И Теплотехнічні характеристики деяких матеріалів 172
Додаток К Питомі опалювальні та вентиляційні характеристики навчальних будівель ВНЗ 175
Додаток Л Нормативні максимальні тепловитрати будівель ВНЗ станом на 2006 р. 176
Додаток М Опитувальні листи для обстеження будівель ВНЗ 177

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА 194

ВСТУП

Збірник задач «Енергозбереження в університетських містечках» входить у навчально-методичний комплект програми «Енергоефективні університетські містечка» (ЕЕС), розробленої у рамках Проекту USAID «Реформа міського теплозабезпечення в Україні».

Навчально-методичний комплект складається з робочої програми курсу «Енергозбереження в університетських містечках», посібника та збірника задач однойменної назви.

Мета розробки збірника задач – закріплення теоретичних знань, що їх здобули студенти під час опрацювання посібника «Енергозбереження в університетських містечках».

Дане видання містить задачі з основних тем курсу, які викладено у посібнику у розділах 2–8 (вивчення розділів 1 та 9 посібника передбачає лише відповіді на запитання та виконання студентами завдань для самоперевірки і не супроводжується розв'язанням задач).

Кожен розділ збірника задач містить стисло викладений теоретичний матеріал, значну кількість задач з детальними розв'язками або методичними рекомендаціями до їх виконання, а також задачі для самостійного розв'язання.

Зауважимо, що назви вищих навчальних закладів (ВНЗ), характеристики витрат енергоносіїв та інженерних систем для них, що наведено в задачах, прийняті умовно і використовуються передусім для отримання студентами навичок визначення температурних зон України та відповідних параметрів зовнішнього повітря. Водночас зазначимо, що дані, отримані в результаті розв'язання прикладів і задач, характеризують типовий сучасний стан споживання енергоресурсів і потенціал енергозбереження у ВНЗ України.

Автори сподіваються, що за допомогою навчально-методичного комплекту в цілому і збірника задач зокрема студенти зможуть оволодіти навичками проведення енергетичних обстежень навчальних корпусів та гуртожитків, виконання техніко-економічних та екологічних розрахунків під час розробки проектів з енергозбереження та раціонального використання ресурсів у ВНЗ.

Видання може бути використане студентами, аспірантами, викладачами, сфера інтересів яких стосуються проблем ефективного використання природних та енергетичних ресурсів, теплозбереження у будівлях житлового та нежитлового призначення, проведення енергоаудиту тощо з метою сприяння зменшенню шкідливих викидів у довкілля та впливу на зміну клімату.

РОЗДІЛ 2
ЕНЕРГІЯ ТА ЕНЕРГОКОРИСТУВАННЯ: ІСТОРІЯ, СУЧАСНІСТЬ. ПРОГНОЗИ НА МАЙБУТНЄ

Згідно з першим законом термодинаміки в умовах відсутності роботи розширення вся теплота $Q_{отр.}$, яка підводиться до тіла, витрачається на зміну його внутрішньої енергії ΔU:

$$Q_{отр.} = \Delta U, \text{ кДж; ккал; кВт} \cdot \text{год}, \qquad (2.1)$$

де $Q_{отр.}$ – кількість теплоти, яку одержує робоче тіло, кДж; ккал; кВт · год.

Підведена кількість теплоти $Q_п$ визначається за відомими величинами витрат В палива і його теплоти згоряння $Q_н^р$ – тобто кількості теплоти, яка виділяється у процесі повного згоряння одиниці (масової чи об'ємної) палива:

$$Q_п = Q_н^р \cdot B. \qquad (2.2)$$

Якщо теплоту згоряння виражати у кВт · год / кг або у кВт · год / м^3, а витрати палива у кг / год або у м^3 / год, то коефіцієнт корисної дії (ККД) η будь-якого процесу або пристрою для трансформації теплоти визначиться за залежністю (2.3):

$$\eta = Q_{отр.} / (Q_н^р \cdot B), \text{ част. од.; \%}. \qquad (2.3)$$

Частка втрат енергії Δq характеризується різницею $(1 - \eta) = \Delta q$, част. од.; %.

З огляду на значну різноманітність одиниць вимірювання енергії в таблиці 2.1 подано співвідношення між такими одиницями вимірювання.

Таблиця 2.1

Співвідношення між одиницями енергії і потужності

Одиниці вимірювання	кДж	ккал	кВт · год	кДж / год	ккал / год	кВт
кДж	1	0,239	$0,278 \cdot 10^{-3}$	-	-	-
ккал	4,187	1	$1,163 \cdot 10^{-3}$	-	-	-
кВт · год	3600	859,8	1	-	-	
кДж / год	-	-	-	1	0,239	$0,278 \cdot 10^{-3}$
ккал / год	-	-	-	0,278	1	$1,16 \cdot 10^{-3}$
кВт	-	-	-	3600	859,8≈860	1

Теплота, яка підводиться до робочого тіла масою М за умови відсутності зміни фазового стану, витрачається на зміну температури тіла від t_1 до t_2:

$$Q_{отр.} = C \cdot M \cdot (t_2 - t_1), \text{ кДж; ккал; кВт} \cdot \text{год}, \qquad (2.4)$$

де С – середня масова теплоємність, кДж / кг · град.

За умови зміни фазового стану тіла (випаровування, конденсація, плавлення та ін.) температура залишається сталою, але змінюється ентальпія тіла, яка характеризує його повну енергію:

$$Q_{отр.} = M \cdot г = M \cdot (i_2 - i_1), \text{ кДж; ккал; кВт} \cdot \text{год}, \quad (2.5)$$

де i_1, i_2 – ентальпії тіла до і після процесу підведення теплоти, відповідно, визначаються за довідниковими даними, кДж / кг; ккал / кг.

Для води під тиском 1 ат різниця ентальпій ($i_2 - i_1$) становить 2258 кДж / кг, або 538 ккал / кг = 0,625 кВт · год / кг.

У деяких джерелах ентальпія позначається як h.

Задачі з розв'язанням.

Задача 1. У котельні автономної системи теплопостачання гуртожитку Херсонського аграрного університету протягом опалювального періоду було спалено 150 тис. м^3 природного газу (визначено за показаннями лічильника газу) з теплотою згоряння газу 9,5 кВт · год / м^3 (за сертифікатом якості газу газорозподільної організації). Середній за період роботи ККД котельні становив 87 % (визначено згідно з даними випробувань котельні). Визначити річну кількість теплоти, яка характеризує тепловий потенціал палива, використаного у котельні. Визначити кількість теплоти, яка була вироблена у котельні (теплопродуктивність котельні) протягом опалювального періоду (отримана робочим тілом – гарячою водою системи теплопостачання для опалення). Визначити втрати теплоти в котельні за рік.

Теплова потужність – кількість теплоти, яка виділяється в одиницю часу в топковому просторі теплогенерувальних агрегатів при спалюванні палива, характеризує тепловий потенціал палива.

Теплопродуктивність (вироблена теплота) – кількість теплоти, яка буде вироблена у теплогенерувальних агрегатах або котельні і передана робочому тілу (воді або водяній парі) з урахуванням втрат теплоти на етапі її вироблення (безпосередньо у теплогенерувальних агрегатах і на власні потреби котельні).

Оцінка втрат теплоти здійснюється за величиною коефіцієнта корисної дії (ККД) теплогенерувальних агрегатів (котлів) - для визначення теплопродуктивності окремих агрегатів; або котельні в цілому, з урахуванням втрат теплоти як у теплогенерувальних агрегатах, так і на власні потреби котельні – для визначення виробленої теплоти або теплопродуктивності котельні.

Розв'язання.

1. Кількість теплоти, яка була підведена з первинним паливом упродовж опалювального періоду, становить: $Q_п = Q_н^р \cdot B = 9{,}5 \cdot 150 \cdot 10^3 = 1425 \cdot 10$ кВт · год (1225,5 Гкал).

2. Середня теплопродуктивність котельні (кількість теплоти, яка вироблена і передана гарячій воді для опалення) буде меншою за величину теплового потен-

ціалу палива на величину втрат теплоти в котельні і визначається за величиною ККД котельні ($\eta_к$) згідно із залежністю:

$$Q_к = Q_п \cdot \eta_к = 1425 \cdot 10^3 \cdot 0{,}87 = 1239{,}8 \cdot 10^3 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

3. Втрати теплоти в котельні становили за рік (1425 – 1239,8) · 10^3 = 185,2·10^3 кВт · год.

Задача 2. Теплота згоряння природного газу становить $Q_н^р$ = 35700 кДж / м^3, торфу $Q_н^р$ = 10600 кДж / кг, соломи або соняшникового лушпиння $Q_н^р$ = 15750 кДж / кг. Річна потреба у теплоті на опалення п'ятиповерхової будівлі гуртожитку університету економіки і торгівлі у м. Суми становить $Q_{оп.}$ = 1500 Гкал (1500 · 10^6 ккал). Визначити річну потребу у різних видах палива автономної котельні гуртожитку за умови ефективності її роботи $\eta_к$ = 75 % незалежно від виду палива. Середні протягом опалювального періоду втрати теплоти у теплових мережах становлять $\Delta q_т$ = 5 % кількості теплоти, яка була вироблена у котельні $Q_{отр.}$ і відпущена до теплових мереж.

Розв'язання.

1. Тривалість опалювального періоду у м. Суми 185 діб. Зведемо подані величини до однієї розмірності:

$Q_{оп.}$ = 1500 ·10^6 ккал =1500 ·10^6 · 4,2 кДж = 6300 ГДж = 1500 ·10^6 · 1,163·10^{-3} = 1744500 кВт · год = 1744,5 МВт · год;

$Q_н^р$ = 35700 кДж / м^3 = 35700 / 4,187 = 8526 ккал / м^3 = 9,91 кВт · год / м^3 (природний газ);

$Q_н^р$ = 15750 кДж / кг = 15750 / 4,187 = 3762 ккал / кг = 4,37 кВт · год / кг (торф);

$Q_н^р$ = 10600 кДж / кг =10600 / 4,187 = 2532 ккал / кг = 2,94 кВт · год / кг (солома або соняшникове лушпиння).

Таким чином, теплота згоряння 1 м^3 природного газу у 2,3 раза більша за теплоту згоряння 1 кг соняшникового лушпиння або соломи і у 3,4 раза більша за теплоту згоряння 1 кг торфу.

2. Визначимо, яку кількість теплоти було вироблено котельнею, передано теплоносієві і відпущено у теплову мережу – $Q_к$. Для цього необхідно до кількості теплоти, яку відпущено споживачам на потреби опалення $Q_{оп.}$ = 1744,5 МВт · год, долучити втрати теплоти у теплових мережах:

$$Q_к = Q_{оп.} + \Delta Q_т, \text{ МВт} \cdot \text{год}, \quad (2.6)$$

де $\Delta Q_т$ – втрати теплоти у теплових мережах, які визначені у МВт · год.

Проблема полягає в тому, що втрати теплоти у тепловій мережі згідно з умовами задачі задано у % щодо кількості виробленої теплоти, яка нам невідома.

Тому складемо рівняння (2.6) у вигляді (2.7):

$$Q_{оп.} = Q_к - \Delta q_т \cdot Q_к, \quad (2.7)$$

або

$$1744{,}5 = Q_к - 0{,}05 \cdot Q_к$$

Розв'яжемо (2.7) відносно $Q_к$:

$$Q_к = Q_{оп.} / (1- \Delta q_т),$$

де

$\Delta q_т$ – втрати теплоти у теплових мережах у част. од.

$$Q_к = Q_{оп.} / (1 - \Delta q_т) = 1744{,}5 / (1- 0{,}05) = 1836{,}3 \text{ МВт} \cdot \text{год.}$$

3. Визначимо кількість теплоти, яку необхідно підвести з первинним паливом (незалежно від його виду) до пальників котлів для подачі споживачам на потреби опалення заданої кількості теплоти $Q_{оп.}$ = 1744,5 МВт · год з урахуванням втрат у теплових мережах і втрат на етапі вироблення теплоти. Для цього виконаємо розрахунки за залежністю (2.3):

$$Q = Q_н^р \cdot B = Q_к / \eta_к = 1836{,}3 / \eta_к = 1836{,}3 / 0{,}75 = 2448{,}4 \text{ МВт} \cdot \text{год},$$

де $\eta_к$ – ККД котельні у част. од., який характеризує ефективність вироблення теплоти.

Висновок.

Для отримання споживачами річної кількості теплоти на потреби опалення $Q_{оп.}$ = 1744,5 МВт · год тепловий потенціал палива, або кількість теплоти, яку необхідно підвести до генераторів теплоти разом з паливом, повинна становити 2448,4 МВт · год. Зазначена відмінність між фактично спожитою і підведеною з паливом теплотою спричинена наявними втратами теплоти на етапах її вироблення і транспортування.

4. Визначимо витрати різного палива для отримання необхідної кількості теплоти згідно із залежністю (2.2):

– річні витрати природного газу $B_{пг} = Q / Q_н^р = 2448{,}4 \cdot 10^3 / 9{,}91 = 247063$ м^3;
– річні витрати торфу $B_т = Q / Q_н^р = 2448{,}4 \cdot 10^3 / 2{,}94 = 832789$ кг;
– річні витрати соломи $B_с = Q / Q_н^р = 2448{,}4 \cdot 10^3 / 4{,}37 = 560274$ кг.

Щільність соломи становить близько 120 кг / м^3, отже, на перевезення вказаної кількості соломи вантажівкою із спеціальним кузовом на 10 м^3 необхідно буде зробити 694 поїздки за опалювальний період (до 6 поїздок за одну добу з температурою нижче -10 ^{0}С).

Задача 3. Визначити кількість теплоти, яку необхідно витратити на нагрівання 100 кг (л) води від температури t_1 = +20 ^{0}С до температури t_2 = +60 ^{0}С. Теплоємність води прийняти 4,2 кДж / кг · град. Вказати кількість теплоти, яка буде виділятись під час охолодження 100 кг води від температури t_2 = +60 ^{0}С до температури t_1 = +20 ^{0}С. Результат подати у різних одиницях вимірювання. Втрати теплоти не враховувати.

Розв'язання.

1. Кількість теплоти, яку необхідно витратити для нагрівання води на різницю температур ($t_2 - t_1$), визначається згідно з залежністю (2.4):

$$Q = C \cdot M \cdot (t_2 - t_1) = 4{,}2 \cdot 100 \cdot (60 - 20) = 16800 \text{ кДж} = 4000 \text{ ккал} = 4{,}65 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Отже, джерело теплоти потужністю 4,65 кВт забезпечить нагрівання 100 кг води від +20 ^{0}С до +60 ^{0}С протягом однієї години. У разі охолодження на той самий перепад температур кількість теплоти буде такою самою – 4,65 кВт · год.

Задачі для самостійного розв'язання.

Задача 4. Визначити погодинні витрати води у теплових мережах з температурою у подавальному трубопроводі 95 ^{0}С і у зворотному – 70 ^{0}С, за умови, що теплоносій повинен забезпечити розрахункову потребу у теплоті на опалення навчального корпусу ВНЗ у кількості 300 кВт. Як зміниться величина витрат води, якщо збільшити температуру у подавальному трубопроводі до 115 ^{0}С. Температура у зворотному трубопроводі залишається без змін. Втратами теплоти знехтувати.

Задача 5. До 10 кг (л) води з початковою температурою +5 ^{0}С було підведено 0,5 кВт · год теплоти. Визначити, якою буде температура води після нагрівання. Втрати теплоти відсутні.

Задача 6. Визначити витрати води, яку необхідно подати в охолоджувальний контур двигуна внутрішнього згоряння потужністю 100 кВт, якщо втрати двигуном теплоти у довкілля становлять 5 % його теплової потужності. Перепад температур охолоджувальної води на виході і на вході до двигуна повинен становити 60 ^{0}С.

Задача 7. Визначити витрати природного газу із теплотою згоряння 8500 ккал / м^3 для перетворення 50 кг води з початковою температурою +10 ^{0}С у суху водяну пару під атмосферним тиском 1 атмосфера.

Задача 8. Визначити годинні витрати палива для водонагрівальної котельні потужністю 25 МВт системи централізованого теплопостачання за умови її роботи на природному газі, відходах деревини, торфі, соломі.

РОЗДІЛ 3
КОМУНАЛЬНА ЕНЕРГЕТИКА ТА ПРОБЛЕМИ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Відносна ефективність вироблення теплоти у джерелі теплоти оцінюється величиною ККД джерела теплоти ($\eta_к$), одиницею вимірювання якого є % або част. од. ККД джерела теплоти характеризує відношення кількості теплоти, яка вироблена у джерелі теплоти (наприклад, котельні) і відпущена до системи транспортування теплоносія $Q_к = Q$, до кількості теплоти, підведеної до джерела теплоти з первинним енергоносієм (паливом) – $Q_п$:

$$\eta_к = Q_к / Q_п, \text{ част. од.; \%.} \qquad (3.1)$$

Величини $Q_к$ і $Q_п$ оцінюють у кВт · год, ккал або кДж.

Відносні втрати теплоти на етапі вироблення можна визначити як різницю між підведеною з первинним енергоносієм теплотою, яку приймають за 1,0 (част. од.), або 100 %, і величиною ККД джерела теплоти:

$$\Delta q_к = 1 - \eta_к, \text{ част. од.; \%,} \qquad (3.2)$$

де

$\Delta q_к$ – сумарні непродуктивні втрати теплоти під час її вироблення, част. од.; %;

$\eta_к$ – ККД джерела теплоти у част. од.; %.

Абсолютну величину втрат теплоти $\Delta Q_к$ на етапі її вироблення можна визначити за відомим ККД $\eta_к$ і кількістю підведеної теплоти (енергетичним потенціалом палива) $Q_п$ відповідно до залежності (3.3):

$$\Delta Q_к = Q_п - Q_п \cdot \eta_к \text{ , кВт · год; ккал або кДж.} \qquad (3.3)$$

Абсолютну величину $Q_п$ у кВт · год, ккал або кДж визначають за відомими витратами палива В за певний проміжок часу (період спостережень) і питомою теплотою згоряння палива $Q_н^р$, яка вимірюється для природного газу у кВт · год / м^3, кДж / м^3 або ккал / м^3 (одиниці вимірювання $Q_н^р$ повинні бути вивіреними з одиницями вимірювання $Q_п$):

$$Q_п = B \cdot Q_н^р \text{, кВт · год; ккал або кДж,} \qquad (3.4)$$

де

$Q_н^р$ – теплота згоряння палива, у кВт · год / м^3, кДж / м^3 або ккал / м^3;

В – витрати палива за період спостережень, м^3.

Загальна величина втрат теплоти в теплових мережах визначається за сумою зазначених складових:

$$\Delta Q_т = Q_{втр.} + Q_{вит.}\text{, МВт · год; Гкал або ГДж,}$$

де

$\Delta Q_т$ – загальні втрати теплоти в теплових мережах, МВт · год, Гкал або ГДж;

$Q_{втр.}$ – втрати теплоти з охолодженням води в трубопроводах, МВт · год, Гкал або ГДж;

$Q_{вит.}$ – втрати теплоти з витоками води із трубопроводів, МВт · год, Гкал або ГДж.

Втрати теплоти в теплових мережах протягом опалювального періоду або іншого відрізка часу внаслідок охолодження води $Q_{втр.}$ визначають за відомими величинами питомих втрат теплоти на один метр довжини теплопроводу за залежністю (3.5):

$$Q_{втр.} = \Sigma(l_i \cdot q_i) \cdot п_{оп.} \cdot 10^{-6} \text{ МВт} \cdot \text{год}, \qquad (3.5)$$

де

$Q_{втр.}$ – величина втрат теплоти з довільної довжини трубопроводів;

l – довжина трубопроводів теплових мереж певного діаметру, м;

q – величина питомих втрат теплоти (щільність теплового потоку), Вт / м. Для трубопроводів різних способів прокладання нормовані величини питомих втрат теплоти q наведено у додатках Б і В;

$п_{оп.}$ – тривалість опалювального періоду або іншого звітного періоду часу, год.

Втрати теплоти $Q_{вит.}$ з витоками води із теплових мереж визначають за залежністю (3.6):

$$Q_{вит.} = M_в \cdot C_в \cdot (t_{сер.} - t_{пв}) \cdot 10^{-6}, \text{ ГДж}, \qquad (3.6)$$

де

$M_в$ – масові витоки мережної води (теплоносія) із теплової мережі протягом періоду часу $п_{оп.}$ в кг (л) визначаються згідно з показаннями лічильника води, яка подається на підживлення. Для будь-якого об'єму води у теплових мережах $V_{нап.} \approx M_{нап.}$ ($м^3$) протягом будь-якого часу роботи системи $п_{оп.}$ в год нормована величина витоку води в т або ($м^3$) визначатиметься за формулою $M_в = 0{,}00250 \cdot V_{нап.} \cdot п_{оп.}$ (густину води прийнято приблизно 1000 кг / $м^3$);

$C_в$ – масова теплоємність води, кДж / кг · град, $C_в$ = 4,2 кДж / кг · град;

$t_{сер.}$ – середня температура теплоносія у зворотному і подавальному трубопроводах протягом періоду часу $n_{оп.}$, ^{0}C;

$t_{пв}$ – середня температура підживлювальної води із водогону, в холодний період року за відсутністю даних приймається рівною +5 ^{0}C.

Дійсна величина витоку води за звітний період визначається за показаннями лічильника води згідно з залежністю (3.7):

$$M_в = M_{ліч.} - (M_{нап.} + M_{гв}^{від.}), \text{ т; } (м^3), \qquad (3.7)$$

де

$M_{ліч.}$ – загальні витрати води на підживлення за звітний період згідно з показаннями лічильника води, т;

$M_{нап.}$ – втрата води на наповнення трубопроводів мережі та абонентських систем за звітний період, т;

$M_{гв}^{від.}$ – сумарна втрата води на гаряче водопостачання споживачів для систем з безпосереднім відбором води з мережі, т.

Кількість наповнень приймають відповідно до результатів енергетичного аудиту, об'єм трубопроводів теплових мереж – за даними табл. 1 (додаток Г), залежно від діаметра трубопроводів та їх протяжності, а об'єм внутрішніх абонентських систем – за величиною розрахункового теплового навантаження будинків за даними табл. 2 (додаток Г).

Теплову ефективність роботи теплових мереж характеризує відношення кількості теплоти, яку відпущено споживачам теплоти $Q_{сп.}$ до кількості теплоти, підведеної від джерела теплоти до теплових мереж – $Q_к$:

$$\eta_т = Q_{сп.} / Q_к \text{, част. од.; \%,} \quad (3.8)$$

де

$\eta_т$ – теплова ефективність роботи теплових мереж;

$Q_{сп.}$ – кількість теплоти, яка відпускається з теплових мереж споживачам теплоти, МВт · год, Гкал або ГДж. Визначається як різниця виробленої в котельні теплоти і втрат теплоти у теплових мережах:

$$Q_{сп.} = Q_к - \Delta Q_т \text{, МВт · год; Гкал або ГДж.}$$

Відносні втрати теплоти на етапі транспортування можна визначити як різницю між теплотою, підведеною від котельні (її приймають за 1,0 част. од. або 100 %), і величиною теплової ефективності мережі:

$$\Delta q_т = 1 - \eta_т = \Delta Q_т / Q_к \text{, част.од.; \%,} \quad (3.9)$$

де $\Delta q_т$ – сумарні непродуктивні втрати теплоти у ході її транспортування, част. од., %.

У табл. 3.1 наведено основні статті втрат теплової енергії на дійсний усереднений стан систем теплопостачання.

Таблиця 3.1

Втрати теплової енергії у системі централізованого теплопостачання в Україні

Вид (місце) втрат	Втрати теплової енергії, %		
	у % потенціалу палива	у % виробленої теплової енергії	у % теплової енергії, що спожита будинками
Втрати теплової енергії на шляху до споживача	28…32	33…37	-
Втрати у споживача	37…42	44…49	54…58
Загальні втрати у системі теплопостачання	65…74	77…88	-

Джерело: Municipal Development Institute (MDI), Kiev, Ukraine

На рис. 3.5 і 3.6 посібника «Енергозбереження в університетських містечках» (далі – посібник) подано схеми з більш детальним роз'ясненням статей втрат теплоти.

Задачі з розв'язанням.

Задача 1. Визначити теплопродуктивність котельні, обладнаної двома котлами номінальною тепловою потужністю кожен по 200 кВт. На час проведення обстежень котли працювали з однаковим навантаженням і витратами газу 18 м^3 / год за стандартних умов. ККД котла № 1 відповідно до його режимної карти становив 85 %, а котла № 2 – 79 %. Теплота згоряння природного газу за стандартних умов – 9,9 кВт · год. Втрати теплоти на власні потреби котельні $\Delta q_{вп}$ = 5 %. Визначити ступінь завантаження котельні – на яку величину дійсна потужність котельні відрізняється від встановленої.

Розв'язання.

1. Визначаємо середній ККД роботи котлів у котельні за умови рівномірного завантаження котлів:

$$\eta_{кот.} = (\eta_{кот.1} + \eta_{кот.2}) / 2 = (0{,}85 + 0{,}79) / 2 = 0{,}82 \quad (82\ \%).$$

2. Визначаємо втрати теплоти під час роботи котлів:

$$\Delta q_{кот.} = 1 - \eta_{кот.} = 1 - 0{,}82 = 0{,}18 \quad (18\ \%).$$

3. Визначаємо загальні втрати теплоти в котельні як суму втрат теплоти під час роботи котлів і втрат теплоти на власні потреби котельні:

$$\Delta q_к = \Delta q_{кот.} + \Delta q_{вп} = 0{,}18 + 0{,}05 = 0{,}23 \quad (23\%).$$

4. Розраховуємо ефективність вироблення теплоти в котельні:

$$\eta_к = 1 - \Delta q_к = 1 - 0{,}23 = 0{,}77 \quad (77\ \%).$$

5. Визначаємо теплову потужність котельні під час спалювання 18 м^3 природного газу з теплотою згоряння $Q_н^р$ = 9,9 кВт · год / м^3:

$$Q_п = B \cdot Q_н^р = 18 \cdot 9{,}9 = 178{,}2 \text{ кВт}.$$

За умови роботи з такою потужністю ступінь завантаження котельні відносно номінальних параметрів роботи становить: 178,2 / 2 · 200 = 0.45 (45 %).

6. Визначаємо теплопродуктивність котельні:

$$Q_к = Q_п \cdot \eta_к = 178{,}2 \cdot 0{,}77 = 137{,}2 \text{ кВт}.$$

Задача 2. У котельні автономної системи теплопостачання гуртожитку університету садівництва у м. Умані протягом опалювального періоду спалено 120 тис. м^3 природного газу (визначено за показаннями лічильника газу) з теплотою згоряння газу 9,9 кВт · год / м^3 (за сертифікатом якості газу газорозподільної організації). Середній за період роботи ККД котельні становив 75 % (визначено згідно з даними випробувань котельні). Визначити середню потужність роботи котлів, їх середню теплову продуктивність, зробити висновки щодо ступеня завантаженості котлів, якщо котельню обладнано двома котлами з номінальною потужністю 500 кВт кожен.

Розв'язання.

Нормована тривалість опалювального періоду у м. Умані становить $n_{оп.}$ = 178 діб = 4272 год (див. додаток А). Кількість теплоти, яку було підведено з первинним паливом протягом опалювального періоду:

$$Q_{оп.} = Q_н^р \cdot B = 9{,}9 \cdot 120 \cdot 10^3 = 1188 \cdot 10^3 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Середня за опалювальний період теплова потужність котельні становить:

$$N = Q_{оп.} / n_{оп.} = 1188 \cdot 10^3 / 4272 = 278 \text{ кВт}.$$

Середня теплопродуктивність котельні менша за величину теплової потужності на величину ККД котельні ($\eta_к$): $Q = N \cdot \eta_к = 278 \cdot 0{,}75 = 208$ кВт.

За умови рівномірного завантаження котлів теплопродуктивність одного котла становила 208 / 2 = 104 кВт, а середня теплова потужність одного котла: 278 / 2 = 139 кВт, що значно менше за номінальну паспортну величину теплової потужності у 500 кВт.

Дійсне теплове середнє навантаження на котли становить 139 / 500 = 0,278, або 27,8 % номінального. Отже, котли працюють із значним недовантаженням, що спричиняє значні втрати теплоти на власні потреби котельні і низьку ефективність процесу вироблення теплоти.

Задача 3. Теплота згоряння нафти становить $Q_н^р$ = 41900 кДж / кг, теплота згоряння торфу $Q_н^р$ =10600 кДж / кг, а соломи або соняшникового лушпиння – $Q_н^р$ = 15750 кДж / кг. Річна потреба у теплоті на опалення п'ятиповерхової будівлі гуртожитку ВНЗ у м. Суми становить $Q_{оп.}$ = 967 Гкал ($967 \cdot 10^6$ ккал). Визначити річну потребу у паливі автономної котельні за умови ефективності її роботи $\eta_к$ = 78 % незалежно від виду палива. Втратами у теплових мережах знехтувати.

Розв'язання.

Тривалість опалювального періоду у м. Суми $n_{оп.}$ = 185 діб. Приведемо задані теплові величини до однієї розмірності: $Q_{оп.} = 967 \cdot 10^6$ ккал $= 967 \cdot 10^6 \cdot 4{,}2 = 4061{,}4$ ГДж $= 967 \cdot 10^6 \cdot 1{,}163 \cdot 10^{-3} = 1124621$ кВт · год.

Визначаємо витрати палива за формулою (3.4):

$$B = Q_{оп.} / (Q_н^р \cdot \eta_к), \text{ кг.}$$

Для нафти $B = Q_{оп.} / (Q_н^р \cdot \eta_к) = 4061,4 \cdot 10^6 / 41900 \cdot 0,78 = 124270$ кг = 124,27 т.

Для торфу B = 491,2 т.

За умови щільності торфу 280 кг / м^3 об'ємні витрати його становлять 1754 м^3. Для перевезення такої кількості торфу одним вантажним автомобілем з ємністю кузова до 8 м^3 необхідно зробити протягом опалювального періоду не менш як 220 поїздок до котельні.

Для соломи B = 257,9 т. Отже, для опалення одного гуртожитку у м. Суми необхідні витрати соломи становлять 257,9 т за один опалювальний період. Для отримання такої кількості соломи необхідно здійснити підбирання і упаковування її на площі посіву пшениці не менш як 172 га (вихід соломи становить до 1,5...2,0 т з одного га посіву пшениці)!

Зазначені вище результати розрахунку необхідно враховувати під час складання планів щодо переведення роботи джерел теплоти на низькокалорійні відновлювальні джерела теплоти.

Щільність соломи у тюках становить до 150 кг / м^3. Разом з іншими видами відходів (лушпиння, пил) кількість відходів під час збирання пшениці становить близько 1,8 т на кожну тонну зерна. Для кукурудзи кількість відходів (лише стебла і листя) становить до 2,4 т на кожну тонну зерна.

Задача 4. Визначити кількість теплоти, що надходитиме до будівель Львівського національного університету за умови, що джерелом теплоти є котельня, у якій протягом опалювального періоду було спалено 760000 м^3 природного газу з теплотою згоряння 34800 кДж / м^3. Середній за опалювальний період ККД роботи котлів становив 87 %, втрати на власні потреби котельні – 3 %. Втрати теплоти у теплових мережах з охолодженням води становили 323 Гкал за опалювальний період. Масові витоки води з теплової мережі прийняти на рівні нормативних. Середній діаметр трубопроводів теплової мережі – 159 мм, протяжність трубопроводів теплової мережі – 3 км (у двотрубному обчисленні). Вид опалювальних приладів – радіатор М – 140. Перепад температур у системі опалення становить 95 / 70 ^{0}С. Середню за опалювальний період температуру води в подавальному трубопроводі теплових мереж прийняти рівною 58 ^{0}С, а у зворотному – 46 ^{0}С.

Розв'язання.

1. Визначаємо загальну ефективність вироблення теплоти в котельні. Для цього розрахуємо втрати теплоти безпосередньо в котлах $\Delta q_{кот.} = 1 - \eta_{кот.} = 1 - 0,87 = 0,13$ част. од. (13 %), а потім – загальні втрати в котельні, з урахуванням втрат на її власні потреби: $\Delta q_к = \Delta q_{кот.} + \Delta q_{вп} = 0,13 + 0,03 = 0,16$ част. од. (16%).

Тоді середній за опалювальний період ККД котельні становитиме: $\eta_{к.} = 1 - \Delta q_к = 1 - 0,16 = 0,84$ част. од. (84 %).

2. Розрахуємо кількість теплоти, яку було підведено до котельні з паливом протягом опалювального періоду – первинний потенціал палива:

$$Q_п = B \cdot Q_н^р = 760000 \cdot 34800 = 26448 \cdot 10^6 \text{ кДж} = 26448 \text{ ГДж} = 6297 \text{ Гкал} = 7322 \text{ МВт} \cdot \text{год}.$$

3. Втрати теплоти на етапі її вироблення визначимо за залежністю:

$$\Delta Q_к = Q_п - Q_п \cdot \eta_к = 26448 - 26448 \cdot 0{,}84 = 26448 - 22216 = 4232 \text{ ГДж} = 1008 \text{ Гкал} = 1172 \text{ МВт} \cdot \text{год}.$$

Величина виробленої в котельні теплоти становитиме:

$$Q_к = Q_п \cdot \eta_к = 26448 \cdot 0{,}84 = 22216 \text{ ГДж} = 5289{,}5 \text{ Гкал} = 6150 \text{ МВт} \cdot \text{год}.$$

4. Здійснимо розрахунки загальних втрат теплоти у теплових мережах. Втрати теплоти з охолодженням води у трубопроводах теплових мереж задано в умові задачі і становлять 323 Гкал за опалювальний період. Оцінимо втрати теплоти з витоками води. Нормативні витоки води становлять 0,25 % об'єму води в мережах і абонентських системах.

Об'єм води в мережах визначимо за даними табл. 1 (додаток Е) згідно з залежністю:

$$V_{нап.}^{тм} = \Sigma(V_{пит.i} \cdot L_i) = 17{,}67 \cdot 3 \cdot 2 = 106{,}02 \text{ м}^3 \text{ (т)},$$

де 17,67 м^3 / км – питома величина об'єму води для середнього зовнішнього діаметра теплових мереж 157 мм (додаток Е).

Об'єм води в абонентських системах визначають за даними табл. 2 згідно з відомою величиною розрахункового теплового навантаження на системи опалення $Q_р$ =2,74 Гкал / год і виду опалювальних пристроїв – чавунних радіаторів з міжосьовою відстанню 500 мм:

$$V_{нап.}^{оп.} = Q_р \cdot V_{пит.}^{оп} = 2{,}74 \cdot 19{,}5 = 53{,}4 \text{ м}^3 \text{ (т)}.$$

Загальний об'єм води у теплових мережах і абонентських системах:

$$V_{нап.} = V_{нап.}^{оп.} + V_{нап.}^{тм} = 106{,}02 + 53{,}4 = 159{,}42 \text{ т (м}^3\text{)}.$$

4.1. Визначаємо нормовану тривалість опалювального періоду для м. Львова згідно з довідниковими даними (додаток А):

$$n_{оп.} = 179 \cdot 24 = 4296 \text{ год}.$$

4.2. Величину витоків води із трубопроводів теплових мереж протягом опалювального періоду визначаємо відповідно до залежності:

$$M_в = 0{,}0025 \cdot V_{нап.} \cdot п_{оп.} = 0{,}0025 \cdot 159{,}42 \cdot 4296 = 1712{,}2 \text{ т} = 1712{,}2 \cdot 10^3 \text{ кг}.$$

4.3. Втрати теплоти з витоками води $Q_{вит.}$ із теплових мереж визначаємо за залежністю (3.6):

$$Q_{вит.} = M_в \cdot C_в \cdot (t_{сер.} - t_{пв}) \cdot 10^{-6} = 1712{,}2 \cdot 10^3 \cdot 4{,}2 \cdot [(58 + 46) / 2 - 5] \cdot 10^{-6} =$$
$$337{,}9 \text{ ГДж} = 80{,}5 \text{ Гкал} = 93{,}6 \text{ МВт} \cdot \text{год}.$$

4.4. Визначаємо загальні втрати теплоти в теплових мережах протягом опалювального періоду:

$$\Delta Q_т = Q_{втр.} + Q_{вит.} = 323 + 80{,}5 = 403{,}5 \text{ Гкал} = 1694{,}7 \text{ ГДж} = 469{,}2 \text{ МВт} \cdot \text{год}.$$

4.5. Відносну частку втрат теплоти в теплових мережах від виробленої кількості теплоти, отриманої із котельні, обрахуємо за залежністю:

$$\Delta q_т = \Delta Q_т / Q_к = 469{,}2 / 6150 = 0{,}076 \text{ част. од.} = 7{,}6\ \% .$$

5. Визначимо кількість теплоти, яку буде отримано із теплових мереж споживачами, як різницю між виробленою в котельні теплотою і втратами теплоти у теплових мережах:

$$Q_{сп.} = Q_к - \Delta Q_т = 6150 - 469{,}2 = 5680{,}8 \text{ МВт} \cdot \text{год} = 4884{,}8 \text{ Гкал}$$
$$\text{або } 20516 \text{ ГДж}.$$

Висновок.

Із загальної кількості теплоти 7322 МВт · год, яку було підведено з паливом до котельні упродовж опалювального періоду, до споживача буде доставлено лише 5680,8 МВт · год, що становить 77,5 % первинного потенціалу палива. Решту теплової енергії (1641,2 МВт · год) буде втрачено на етапах її вироблення (1172 МВт · год) і транспортування (469,2 МВт · год). Визначена у задачі величина втрат теплоти еквівалентна енергії близько 200000 м^3 природного газу. Загальна теплова ефективність вироблення і доставки теплової енергії до споживача становить:

$$\eta_\Sigma = \eta_к \cdot \eta_т = \eta_к \cdot (1 - \Delta q_т) = 0{,}84 \cdot (1 - 0{,}076) =$$
$$0{,}84 \cdot 0{,}924 = 0{,}77 \text{ част. од. } (77\%).$$

Задача 5. Підготувати дані для побудови графіка температур мережної води в подавальному і зворотному трубопроводах двотрубної теплової мережі при температурі в приміщенні $t_в = 18\ ^0C$ для котельні технічного університету у м. Тернополі. Теплообмінники гарячого водопостачання встановлено

в індивідуальному тепловому пункті навчального корпусу університету. Температурний графік у мережах t_1^p / t_2^p = 105 / 70 ^{0}C. Результати подати у табличній формі. Визначити середні за опалювальний період температури теплоносія у теплових мережах.

Розв'язання.

1. Визначаємо розрахункові нормовані параметри зовнішнього повітря для умов м. Тернополя (додаток А):
   – розрахункова температура зовнішнього повітря для систем опалення $t_з$ = -20 ^{0}C;
   – середня температура опалювального періоду $t_{сер.}$ = -0,7 ^{0}C;
2. Споживачами теплоти в університеті є опалення і гаряче водопостачання. Центральне якісне регулювання відпуску теплоти здійснюється за опалювальним графіком. Але у зв'язку з навантаженням на гаряче водопостачання графік температур води в подавальному трубопроводі будують таким чином, щоб забезпечити в індивідуальному тепловому пункті необхідну температуру гарячої води близько 60 ^{0}C. Для цього температура в подавальному трубопроводі не повинна зменшуватись нижче 65...70 ^{0}C. Після досягнення таких значень температур здійснюється перехід на кількісне регулювання.
3. Згідно з даними табл. 2 (додаток Д) за відомою величиною розрахункової температури зовнішнього повітря $t_з$ = -20 ^{0}C одержимо значення температури, яка повинна бути в подавальному трубопроводі за різних температур зовнішнього повітря для випадку відсутності навантаження на гаряче водопостачання. Результати занесемо до табл. 3.2.

Таблиця 3.2

Температура води в подавальному трубопроводі теплової мережі за умови відсутності навантаження на гаряче водопостачання

Розрахункова температура зовнішнього повітря, ^{0}C	Фактична температура зовнішнього повітря, $t_з$, ^{0}C								
	10	5	0	-1	-2,5	-5	-10	-15	-20
-20	41,7	53,5	64,3	66,5	69,7	75,1	85,3	95,3	105,0

Із наведеної таблиці видно, що уже за температури зовнішнього повітря близько $t'_з$ = -1…-2 ^{0}C температура води в подавальному трубопроводі наближається до t_1 = 65…70 ^{0}C, яка необхідна для приготування гарячої води в індивідуальному тепловому пункті.

Отже, починаючи із зазначених температур зовнішнього повітря необхідно підтримувати сталу величину температури води в подавальному трубопроводі, а залежність температури води від температури зовнішнього повітря в цілому матиме такий характер (табл. 3.3):

Таблиця 3.3

Температура води в подавальному трубопроводі теплової мережі з урахуванням навантаження на гаряче водопостачання

Розрахункова температура зовнішнього повітря, ^{0}C	Фактична температура зовнішнього повітря, $t_з$, ^{0}C								
	10	5	0	-1	-2,5	-5	-10	-15	-20
-20	69,7	69,7	69,7	69,7	69,7	75,1	85,3	95,3	105,0

За відсутності кількісного регулювання відпуску теплоносія на котельні за такого графіка може мати місце надлишкова подача теплоти до будівель у період з температурою зовнішнього повітря $t_з$ = -1 ^{0}C і більше. Це спричинить перевитрати теплоти. Встановлення автоматизованого індивідуального теплового пункту з функцією погодного регулювання дає можливість уникнути таких перевитрат.

За даними табл. 3.3 за температури зовнішнього повітря, що дорівнює середній за опалювальний період $t_{сер.}$ = -0,7 ^{0}C визначають середню температуру у подавальному трубопроводі. Вона становитиме близько $t_1^{сер.}$ = 69,7 ^{0}C.

4. Визначаємо температуру t_2 у зворотному трубопроводі теплової мережі відповідно до залежності:

$$t_2 = t_1 - (t_1^р - t_2^р) \cdot [(t_в - t'_з) / (t_в - t_з)],\ ^0C, \qquad (3.10)$$

де

$t_в$ – температура внутрішнього повітря у приміщенні, ^{0}C;

$t_1^р$ – розрахункова температура у подавальному трубопроводі, згідно з умовою задачі $t_1^р$ = 105 ^{0}C;

$t_2^р$ – розрахункова температура у зворотному трубопроводі, згідно з умовою задачі $t_2^р$ = 70 ^{0}C;

$t_з$ – розрахункова температура зовнішнього повітря, для м. Тернополя $t_з$ = -20 ^{0}C (додаток А);

$t'_з$ – поточне значення температури зовнішнього повітря у межах опалювального періоду, ^{0}C;

t_1 – поточне значення температури води у подавальному трубопроводі із табл. 3.2.

Розрахунок за залежністю 3.10 дає можливість отримати такі значення температури води у зворотному трубопроводі (табл. 3.4):

Таблиця 3.4

Температура води в зворотному трубопроводі теплової мережі з урахуванням навантаження на гаряче водопостачання

Розрахункова температура зовнішнього повітря, ^{0}C	Фактична температура зовнішнього повітря, $t_з$, ^{0}C								
	10	5	0	-1	-2,5	-5	-10	-15	-20
-20	50,8	50,8	50,8	50,8	50,8	53,9	59,5	64,9	70,0

За даними табл. 3.4 при температурі зовнішнього повітря, що дорівнює середній за опалювальний період $t_{сер.}$ = -0,7 ^{0}C, визначають середню температуру у зворотному трубопроводі. Вона становитиме близько $t_1^{сер.}$ = 50,8 ^{0}C. Отже, середня за опалювальний період температура води у подавальному і зворотному трубопроводі становитиме (50,8 + 69,7) / 2 = 60,2 ^{0}C для температурного графіка $t_1^р$ / $t_2^р$ = 105 / 70 ^{0}C. Графік температур у подавальному і зворотному трубопроводах теплової мережі наведено на рис. 3.1.

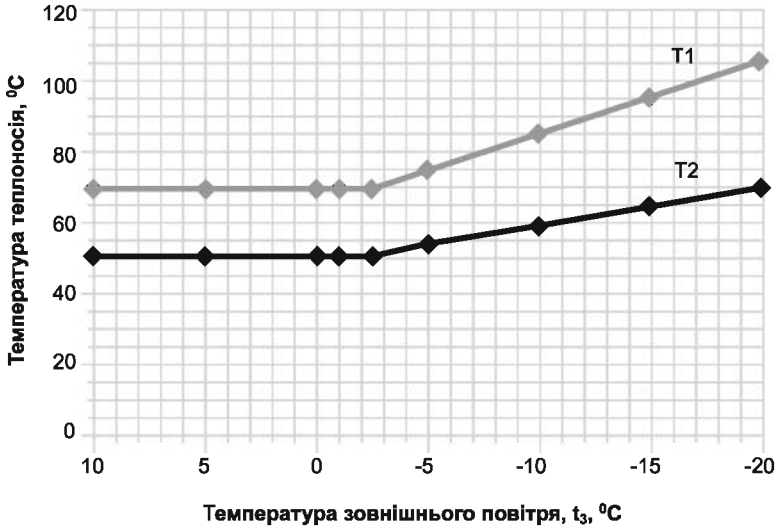


Рисунок 3.1 – Графік температур мережної води у подавальному і зворотному трубопроводах теплових мереж при центральному якісному регулюванні закритої теплової мережі за опалювальним навантаженням
(температурний графік 105 / 70 ^{0}C. Т1 – графік для подавального трубопроводу; Т2 – графік для зворотного трубопроводу)

Задачі для самостійного розв'язання.

Задача 6. Визначити кількість теплоти, яку буде вироблено котельнею Чернігівського педагогічного університету і відпущено до теплової мережі протягом опалювального періоду, якщо витрати природного газу упродовж періоду роботи котельні становили 35900 м^3 за стандартних умов. Середня за опалювальний період теплота згоряння газу становила 8900 ккал / м^3, а середня величина ККД котлів була 83 %. Втрати теплоти на власні потреби котельні прийняти 4 %. Результат розрахунків за опалювальний період надати в Гкал, ГДж і МВт · год.

Задача 7. Визначити загальну величину втрат теплоти в котельні у %, ГДж, Гкал і МВт · год за умови, що протягом опалювального періоду тривалістю 180 діб у котельні спалено 525000 м^3 природного газу з теплотою згоряння $Q_н^р$ = 37600 кДж / м^3. Середній за опалювальний період ККД котельні становив 85 %.

Задача 8. Середньогодинна за опалювальний період величина витрат газу в котельні медичного університету у м. Харкові становила 150 м^3 / год за стандартних умов. Визначити, як зміниться кількість теплоти, виробленої у котельні, і витрати газу у разі зменшення тривалості опалювального періоду на 10 % порівняно з нормованими показниками тривалості роботи систем опалення. Середній за опалювальний період ККД роботи котлів прийняти 88 %, втрати теплоти на власні потреби котельні становлять 3 %. Середня величина теплоти згоряння газу за стандартних умов – 8900 ккал / м^3.

Задача 9. Визначити річну економію природного газу і витрат коштів на опалення для теплогенераторної гуртожитку університету економіки і торгівлі у м. Донецьку, якщо при середній за опалювальний період теплопродуктивності теплогенераторної у 86 кВт ефективність на етапі вироблення теплоти було підвищено за рахунок налагодження процесу горіння. У результаті загальний ККД теплогенераторної вдалося збільшити з 78% до 83 %. Середню теплоту згоряння природного газу прийняти 9,5 кВт · год / м^3. Вартість 1 м^3 природного газу прийняти 2,8 грн.

Задача 10. Визначити втрати теплоти протягом опалювального періоду у теплових мережах канального прокладання загальною протяжністю 0,5 км (у двотрубному обчисленні). Середній діаметр теплових мереж прийняти 89 мм, розрахункова температура теплоносія в теплових мережах 105 / 70 ^{0}С, а у системі опалення – 95 / 70 ^{0}С. Теплове розрахункове навантаження на опалення споживачів становить 500 кВт, опалювальні прилади системи опалення – конвектори. Місце розташування теплових мереж – м. Дніпропетровськ.

Задача 11. Визначити втрати теплоти протягом опалювального періоду у теплових мережах безканального прокладання із попередньо ізольованих трубопроводів загальною протяжністю 0,5 км (у двотрубному обчисленні). Середній зовнішній діаметр трубопроводів теплових мереж прийняти 89 мм (без урахування товщини теплової ізоляції), розрахункова температура теплоносія в теплових мережах $t_1^р$ / $t_2^р$ = 105 / 70 ^{0}С, а у системі опалення – 95 / 70 ^{0}С. Теплове розрахункове навантаження на опалення споживачів становить 500 кВт, опалювальні прилади системи опалення – конвектори. Місце розташування теплових мереж – м. Дніпропетровськ. Порівняти результати розрахунків задач № 10 і № 11. Визначити ефективність заходу із заміни трубопроводів канального прокладання теплових мереж на попередньо ізольовані трубопроводи.

Задача 12. Підготувати дані для побудови графіка температур мережної води в подавальному і зворотному трубопроводах двотрубної теплової мережі при температурі в приміщенні $t_в$ = 18 ^{0}С для котельні ВНЗ у м. Сімферополі. Теплообмінники гарячого водопостачання встановлено в індивідуальному тепловому пункті університету. Температурний графік у мережах $t_1^р$ / $t_2^р$ = 95 / 70 ^{0}С. Результати подати у табличній формі. Визначити середні за опалювальний період температури теплоносія у теплових мережах.

Економічний аспект енергозбереження

Аналіз ефективності заходів з енергозбереження.

У рамках спрощеного економічного аналізу проекту у сфері енергозбереження необхідно визначити суму інвестицій в енергозбереження, термін окупності проекту, економію в грошовому і натуральному вираженні.

Інвестиції (I) для енергоефективного проекту можна виокремити у три групи:

– прямі інвестиції (DI);
– супутні інвестиції (CI);
– інвестування в підготовку проекту (PI).

Прямі інвестиції потрібні для реалізації інвестиційного проекту. Вони можуть бути спрямовані на:

– придбання нового більш енергоефективного устаткування, включаючи витрати на його доставку, встановлення і налагодження;
– модернізацію діючого устаткування;
– будівництво і реконструкцію (термомодернізацію) будівель і споруд;
– оптимізацію роботи технологічних пристроїв, що забезпечують виробничий процес з вироблення, розподілу або споживання теплової енергії;
– нове технологічне оснащення і модернізацію наявного устаткування, які уможливлюють підвищення його енергоефективності.

Супутніми інвестиціями є вкладення в об'єкти, пов'язані територіально і функціонально з об'єктом прямих інвестицій:

– вкладення в об'єкти, технологічно не пов'язані із забезпеченням нормальної експлуатації об'єкта інвестування (наприклад, лінії електропередачі під час реалізації проектів, пов'язаних з когенерацією);
– вкладення в здійснення заходів, що не пов'язані з енергозбереженням або енергетичною ефективністю, але привносять до результату проекту екологічний або соціальний ефект (наприклад, витрати, пов'язані з безпечною утилізацією старого устаткування або підвищення рівня комфортності проживання).

Інвестування в підготовку проекту забезпечує і супроводжуює проект. Це витрати, пов'язані з розробкою проекту (проведення аудитів, вартість проектних робіт, вартість навчання персоналу, оплата зовнішніх консультантів, забезпечення гарантій інвесторам тощо).

Загальний об'єм інвестицій (I) – це сума усіх інвестиційних витрат: прямих інвестицій, супутніх інвестицій, інвестицій у підготовку проекту:

$$I = DI + CI + PI. \qquad (3.11)$$

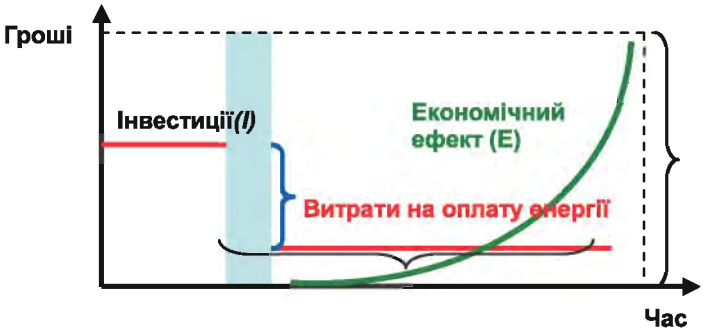
Сумарний економічний ефект (E) від реалізації інвестиційного енергоефективного проекту повинен включати складові:

– зменшення витрат на оплату теплової енергії;
– зменшення витрат на оплату електричної енергії;
– зменшення витрат на оплату енергоємних матеріальних ресурсів (наприклад, вода);

– зменшення витрат на придбання матеріалів, енергоносіїв, допоміжних матеріалів тощо;
– зменшення витрат на оплату праці (наприклад, за рахунок автоматизації процесів);
– зменшення інших витрат, у т.ч. податків (наприклад, податок на землю, комунальний податок);
– припинення нарахувань штрафних санкцій;
– додаткові доходи, отримані в результаті реалізації проекту з енергозбереження (продаж надлишкової енергії, здача в оренду приміщень, що вивільнились тощо).

Період окупності інвестиційного проекту (T_o) є одним з найбільш простих методів оцінки проекту, це період часу, протягом якого економія (Е) від проекту досягне суми інвестиційних витрат (І). Період повернення грошей можна виразити таким чином:

– математично: $T_o = I / E$;
– графічно:



Ранжирування енергоефективних заходів.

Зазвичай аналіз даних, отриманих за результатами проведених енергетичних аудитів, визначає велику кількість можливих заходів та проектів, які можуть сприяти досягненню цілей програми з енергозбереження. Деякі з них є альтернативними, оскільки одних і тих самих цілей можна досягти у різний спосіб. З іншого боку, широкий список заходів та проектів часто перевищує реальні фінансові можливості ВНЗ і передбачає виконання їх протягом тривалого часу. Ось чому, вибір пріоритетних енергозберігальних заходів на основі їх *ранжирування* дає змогу досягнути максимально можливого результату за мінімальним об'ємом використаних ресурсів за певний період часу. Таким чином виконується завдання оптимізації, завдяки якій адміністрація ВНЗ систематизує можливі дії і проекти за важливістю, часовими рамками, ступенем забезпеченості ресурсами або за іншими ознаками.

Вибір пріоритетів здійснюється на основі комплексу попередньо прийнятих критеріїв і з дотриманням певних обмежень. Для виконання ранжирування енергоефективних заходів пропонуються такі критерії:

– сума інвестицій, грн;
– економічний ефект, що досягається, грн;
– період окупності, роки;
– соціальний ефект (якісний показник);
– екологічний ефект (якісний показник).

Ранжирування може здійснюватися за допомогою такої таблиці:

Таблиця 3.5.

Оцінка привабливості заходів з енергозбереження

Проект	Сума інвестицій, грн	Економія, грн	Період окупності, роки	Соціальний ефект	Екологічний ефект
Перелік проектів	Шкала оцінки 1…10 балів	Шкала оцінки 1…15 балів	Шкала оцінки 1…10 балів	підвищення рівня комфорту, стандартів життя тощо. Шкала оцінки 0…10 балів на основі експертної оцінки або розрахованих кількісних показників	вплив на екологію (в цілому, локальний). Шкала оцінки 0…5 балів на основі експертної оцінки або розрахованих кількісних показників

На основі наявних фінансових обмежень складають програму інвестування проектів з енергозбереження та будують графік інвестування енергозберігальних заходів (рис. 3.2).

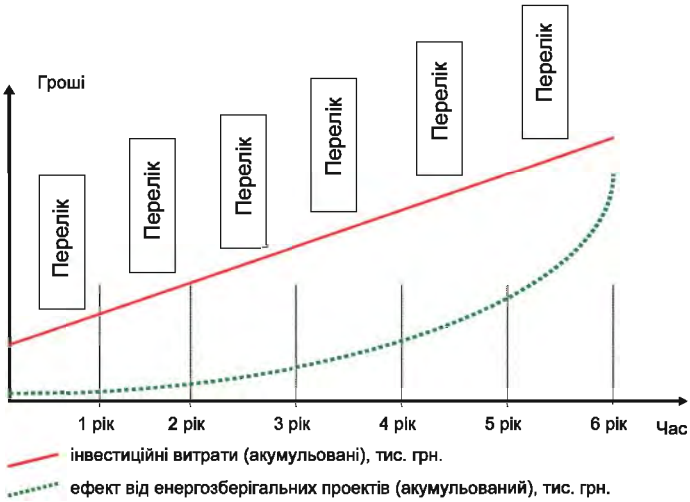


Рисунок 3.2 – Інвестиційна програма на основі здійсненого ранжирування проектів з енергозбереження

Визначення початкового стану та побудова базової лінії.

Під час розробки техніко-економічного обґрунтування енергоефективного інвестиційного проекту необхідно розрахувати економію теплової і електричної енергії, яка служить джерелом повернення вкладених коштів.

Для того, щоб правильно розрахувати ефект від реалізації енергоефективного проекту, необхідно насамперед визначити *початковий стан* і побудувати *базову лінію*, які разом становитимуть *базовий сценарій.*

Повна характеристика базового сценарію повинна містити:

1) фіксовані показники на момент здійснення енергоефективного проекту (початковий стан);

2) прогнози розвитку цих показників на термін реалізації проекту (базову лінію).

Початковий стан є набором даних, які описують ситуацію до початку реалізації проекту. Він служить вихідною точкою для оцінки результатів та наслідків реалізації проекту.

Параметри базового стану енергоспоживання для всього ВНЗ (навчального корпусу, гуртожитку) визначаються на підставі аналізу витрат на теплову енергію за попередні три роки. При визначенні цього рівня важливо виявити усі основні навантаження на енергосистему, які включалися або виключалися з неї під час даного періоду. Як правило, три роки є стандартним періодом аналізу, оскільки витрати на теплову енергію безпосередньо пов'язані з сезонними коливаннями і технологічним режимом. Базовий рівень енергоспоживання може бути визначений шляхом порівняння середньомісячного показника за три роки з середньомісячним значенням споживання за останні 12 місяців і вибором вищого з двох.

Базова лінія – прогноз розвитку ключових показників, визначає тенденції розвитку показників внаслідок відмови від реалізації проекту.

У базовому сценарії необхідно відобразити тенденції розвитку щодо збільшення або зменшення витрат на виробництво та споживання енергії. Оскільки вони ґрунтуються на низці припущень, можна визначити різні типові базові сценарії – оптимістичний, реалістичний (середній) і песимістичний. Ці типи сценаріїв відповідають різним прогнозам у змінах рівня споживання енергії (витрат на енергію) на період реалізації проекту.

Прогнозування може здійснюватись за кількісними та якісними методами. До якісних належать:

- *метод колективної експертної оцінки.* Цей метод ґрунтується на опитуванні групи експертів, часто в поєднанні зі статистичними моделями, результатом чого є групова оцінка економічних явищ;
- *метод побудови багатофакторних комп'ютерних моделей.* Деякі групи показників прогнозують експертним шляхом, інші розраховують на основі розрахункових даних та екстраполяційних моделей;
- *метод Дельфі.* Цей інтегральний груповий процес дає змогу експертам, які можуть займати різні позиції, розробляти прогнози. Метод здійснюється за кілька циклів, протягом кожного з яких проводиться опитування анонімних експертів, по завершенні чого їхні відповіді табулюються і повертаються їм назад із статистичним значенням середнього арифметичного та стандартного відхилення. Процес повторюється декілька разів, поки не буде досягнуто узгодженості, що і буде використане як прогноз.

Під час використання для прогнозування якісних методів необхідно ретельно підійти до питання добору експертів, оскільки думка експертів – думка суб'єктивна,

і чим більшими є досвід і знання експертів у потрібній сфері, тим вищими є шанси, що їх прогноз буде досить точним.

Щодо кількісних методів прогнозування, то можна обмежитись найбільш простими: методом *простої середньої змінної* та методом *побудови лінії тренду.*

Побудувавши прогноз за базовим сценарієм, необхідно розробити прогноз за результатами реалізації енергоефективного проекту, або за *енергоефективним сценарієм*, який відбиватиме результати зниження витрат на виробництво або споживання енергії. Дані про зниження споживання або зменшення витрат ресурсів на виробництво теплової енергії отримують за результатами технічного аналізу проекту.

Економія витрат на виробництво або споживання енергії визначатиметься як різниця між прогнозами за базовим і енергоефективним сценаріями. На рис. 3.3 наведено приклад побудови базової лінії і лінії енергоефективності.

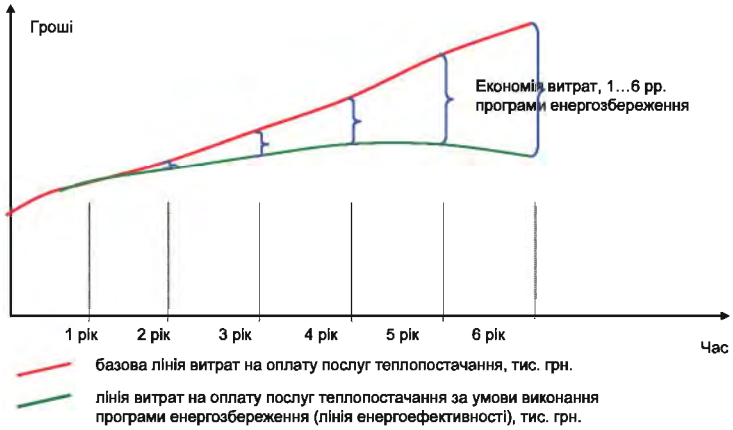


Рисунок 3.3 – Порівняння базового та енергоефективного сценаріїв витрат на оплату енергії

У деяких випадках можна визначити низьке споживання енергії, оскільки приміщення в окремих будівлях опалюються нижче санітарно-гігієнічних норм проживання. Можливі також випадки недостатнього освітлення вулиць та громадських приміщень. У такий спосіб досягають економії енергії за рахунок *зниження якості послуг.*

Нормалізований базовий сценарій відображає розраховане (обчислене) споживання енергії, яке забезпечить належний рівень санітарно-гігієнічних умов проживання (найчастіше застосовується для освітлення та опалення).

Нормалізований початковий стан також передбачає:

– нормалізований початковий стан;
– нормалізований базовий сценарій.

Наведемо приклад: на рис. 3.4. позначено базовий сценарій енергоспоживання ВНЗ. Проте взимку в аудиторіях і інших приміщеннях температура значно нижча за ту, що регламентована санітарно-гігієнічними нормами. Щоб прогріти приміщення до комфортної температури, яка передбачається за результатами реалізації

енергоефективного проекту, було б потрібно мати витрати теплової енергії за нормалізованим сценарієм. Таким чином, економія відносно нормалізованого сценарію становитиме за 2010…2012 рр. 6807 Гкал, а не 1919 Гкал, порівняно з базовим. В результаті привабливість інвестиційного проекту значно підвищується.

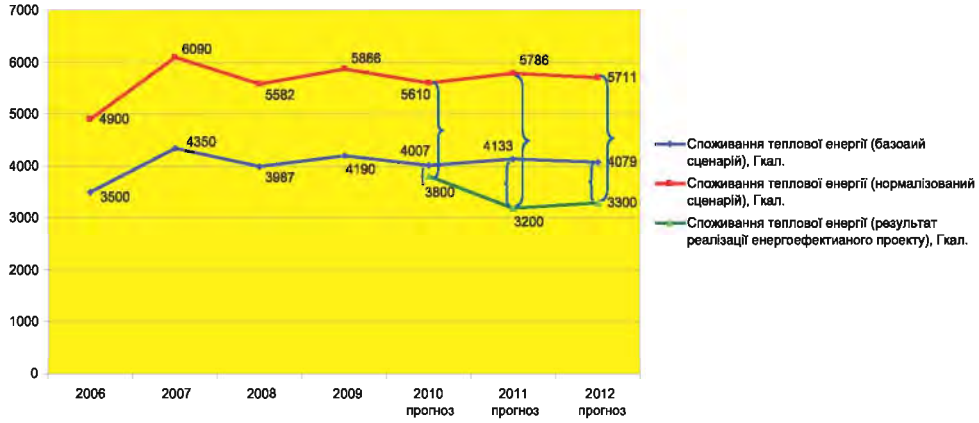


Рисунок 3.4 – Порівняння економії від реалізації енергоефективного проекту з базовим та нормалізованим сценаріями відповідно (умовний приклад)

Фінансовий аналіз проекту з енергозбереження.

Показники оцінки ефективності інвестиційних проектів в сфері енергоефективності, що ґрунтуються на концепції часової вартості грошей: дисконтований період окупності ($T_{ок}$ТС), чистий наведений ефект (NPV) та внутрішній коефіцієнт окупності (IRR) розраховуються подібно до звичайних інвестиційних проектів.

Суть усіх методів оцінки полягає у такій простій схемі: Початкові інвестиції під час реалізації певного проекту генерують грошовий потік CF_1, CF_2, .., CF_n.

Інвестиції визнають ефективними, якщо цей потік достатній для

– повернення початкової суми капітальних вкладень;
– забезпечення необхідної віддачі на вкладений капітал.

Для розрахунку перших двох показників необхідно спочатку обчислити бар'єрну ставку, що враховує ризики проекту.

Бар'єрна ставка – це відсоткова ставка. Вона визначає ту фінансову віддачу, яку компанія або приватна особа чекає від своїх інвестицій. Згідно з фінансовою теорією віддача, яку чекає фірма від своєї інвестиції, містить два компоненти – *вільну від ризику ставку* і *поправку на ризик*.

Для комерційних проектів вільна від ризику ставка може прирівнюватися до середньої відсоткової ставки за банківськими депозитами. Для енергоефективних проектів, що реалізуються комунальними підприємствами або/і місцевою владою, враховуючи їх соціальний і екологічний ефект, вільна від ризику ставка може дорівнювати рівню інфляції плюс 1…2 %. Якщо проект розробляють під конкретного інвестора, потрібно використовувати ті дисконтні ставки, які пропонує інвестор.

Наприклад, ЄБРР для проектів розвитку міської інфраструктури пропонував в якості дисконтної ставки облікову ставку НБУ.

Поправка на ризик відображає вірогідність неповернення вкладених коштів (чим нижча вірогідність, тим нижче поправка) і може розраховуватися на основі наведеної нижче таблиці.

Таблиця 3.6

Орієнтовна величина поправок на ризик неотримання передбачених проектом прибутків (економії)

Величина ризику	Характеристика та приклад проекту	Величина поправки, %
Низький	Швидкоокупні низьковитратні проекти, що виконуються без залучення позикових коштів. Наприклад, встановлення погодного регулятора в школі	3…5
Середній	Швидкоокупні, але витратні проекти, що виконуються з залученням позикових коштів. Середньострокові проекти, що виконуються без залучення позикових коштів. Наприклад, проект автоматизації режимів згоряння палива в котлах	8…10
Високий	Середньострокові витратні проекти, що виконуються з залученням позикових коштів. Довгострокові проекти. Наприклад, проект проведення глибокої термомодернізації житлового багатоквартирного будинку	12…15
Дуже високий	Довгострокові витратні проекти, що виконуються з залученням позикових коштів. Наприклад, заміна теплових мереж	18…20

Дисконтований термін окупності ($T_{ок}ТС$) – це показник, що оцінює характерний час інвестиції, а саме: що визначає, як швидко інвестиційні витрати будуть відшкодовані за рахунок прибутку (економії). Дисконтований період окупності дає можливість провести грубу оцінку ліквідності проекту і приблизно оцінити ризик. І нарешті, $T_{ок}ТС$-індекс є надійнішим, ніж внутрішній коефіцієнт окупності (IRR), показником у випадках, коли потрібно зробити порівняльний аналіз доцільності інвестицій.

Розраховується дисконтований термін окупності за формулою:

$$T_{ок}ТС = n, \text{ при цьому } \sum_{t=1}^{n} \frac{CF_t}{(1+r)^t} > I_o, \qquad (3.12)$$

де

$T_{ок}ТС$ – дисконтований термін окупності;

n – число періодів;

CF_t – грошовий потік у період t;

r – бар'єрна ставка;

I_o – величина початкових інвестицій в нульовий період.

Чистий приведений ефект (Net Present Value, NPV) – сума поточної вартості усіх спрогнозованих, з урахуванням бар'єрної ставки, грошових потоків.

Метод чистого приведеного ефекту (NPV) полягає в наступному:

1. Визначається поточна вартість витрат (I_o), тобто вирішується питання, скільки інвестицій треба зарезервувати для проекту.

2. Розраховується поточна вартість майбутніх грошових надходжень від проекту, для чого прибутки (економія) за кожен рік CF (кеш-флоу) зводяться до поточної дати.

Результати розрахунків показують, скільки коштів треба було б вкласти зараз для отримання запланованих прибутків, якби ставка прибутків дорівнювала бар'єрній ставці.

Підсумувавши поточну вартість прибутків за усі роки, отримаємо загальну поточну вартість прибутків від проекту (PV):

$$PV = \sum_{t=1}^{n} PV_t = \sum_{t=1}^{n} \frac{CF_t}{(1+r)^t}. \qquad (3.13)$$

3. Поточна вартість інвестиційних витрат (I_o) порівнюється з поточною вартістю прибутків (PV). Різниця між ними складає чисту поточну вартість прибутків (NPV):

$$NPV = PV - I_o. \qquad (3.14)$$

NPV показує чисті прибутки або чисті збитки інвестора від інвестування в проект порівняно з урахуванням бар'єрної ставки. Якщо NPV > 0, то можна вважати, що інвестиційний проект потрібно реалізовувати. При NPV < 0 прибутки (економія) від запропонованої інвестиції недостатньо високі, щоб компенсувати ризик, властивий цьому проекту, і інвестиційна пропозиція має бути відхилена.

Внутрішній коефіцієнт окупності (Internal Rate of Return – IRR) – це та норма прибутку, за якої чиста поточна вартість інвестиції дорівнює нулю, або це та ставка дисконту, за якої дисконтовані прибутки від проекту дорівнюють інвестиційним витратам. Внутрішня норма прибутковості визначає максимально прийнятну ставку дисконту, за якою можна інвестувати кошти без яких-небудь втрат для власника.

$$IRR = r, \text{ за якого } NPV = f(r) = 0.$$

Її значення знаходять з такого рівняння:

$$NPV(IRR) = \sum_{t=0}^{n} \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} - \sum_{t=0}^{n} \frac{I_t}{(1+IRR)^t} = 0, \qquad (3.15)$$

де

n – сумарне число періодів (інтервалів, кроків) t = 0, 1, 2, .., n;

CF_t – грошовий потік в період t;

I_t – сума інвестицій (витрати) в t-му періоді.

Економічний сенс цього показника полягає в тому, що він визначає очікувану норму прибутковості (рентабельність інвестицій) або максимально допустимий рівень інвестиційних витрат в оцінюваний проект.

Розробка переліку «м'яких» заходів.

Проекти в сфері енергозбереження можна поділити на так звані «м'які» та «жорсткі».

«Жорсткі» проекти спрямовані на зниження енергоспоживання або підвищення ефективності виробництва теплової та електричної енергії. Прикладом таких проектів може бути проект скорочення витрат електричної енергії мережевими насосами на підприємстві теплопостачання або проект теплової реновації будівлі.

«М'які» проекти спрямовані на створення умов для реалізації проектів у сфері енергозбереження або на підвищення ефективності їх реалізації. Такі проекти не мають значного ефекту у грошовому вираженні, але без них розробка і реалізація муніципального енергетичного плану не є можливими. Прикладами «м'яких» проектів є такі:

- поширення інформації про вплив енергозбереження на екологію, зменшення витрат на оплату комунальних послуг тощо;
- проведення енергетичних аудитів;
- розробка проектів реновації будівель навчальних корпусів та гуртожитків;
- організація та/або оптимізація роботи енергоменеджменту ВНЗ;
- здійснення інформаційної кампанії щодо ходу та результатів реалізації програми енергозбереження в ВНЗ тощо.

Для систематизації «м'яких» заходів пропонується подана нижче таблиця.

Таблиця 3.7

Систематизація «м'яких» заходів у рамках програми «Енергоефективні університетські містечка»

«М'який» захід	Мета	Цільова аудиторія	Виконавці	Ресурси	Ефект
Складіть перелік «м'яких» проектів	Визначте мету реалізації цього «м'якого» заходу (мета повинна бути конкретною, бажано такою, що обчислюється)	Визначте, на кого в першу чергу впливатиме цей «м'який» захід (виходячи з мети)	Визначте перелік ключових виконавців	Визначте перелік потрібних ресурсів (грошових та часових)	Визначте, який ефект має бути досягнуто реалізацією цього заходу

Грошові ресурси потрібно планувати на основі складання відповідних *бюджетів*. Часові – використовуючи *діаграми Ганта* і операційні можливості Microsoft Project 2007 або аналогічних програмних продуктів. Графіки Ганта є видимою (наочною) допомогою, яка корисна під час складання планів робіт. Діаграма Ганта уможливлює оптимізувати час виконання робіт, кількість задіяних виконавців і ресурсів тощо.

Задачі з методичними вказівками та розв'язанням.

Задача 13. Визначити ефективність заміни звичайної лампи розжарювання на енергозберігальну. Потужність лампи розжарювання – 100 Вт, потужність енергозберігальної лампи, еквівалентної за світловою віддачею, – 20 Вт. Середній термін

служби лампи розжарювання – 750 годин роботи, енергозберігальної – 6000 годин роботи. Вартість лампи розжарювання – 2,00 грн, енергозберігальної – 30,00 грн. Стандартний режим горіння – 3 години на добу. Тариф на електроенергію – 0,60 грн / кВт · год.

Методичні вказівки до розв'язання задачі.

1. У даному випадку інвестиції (І) визначаються сумою витрат на здійснення енергозберігального заходу, тобто витратами на придбання енергозберігальної лампи. Цю суму можна зменшити на вартість заміненої лампи розжарювання, яка може бути використана для освітлення інших приміщень.

2. Економія електроенергії в результаті реалізації енергозберігального заходу розраховується як різниця між споживанням електроенергії лампою розжарювання і енергозберігальною лампою за термін служби останньої:

$$E_{ел.} = (W_{л.р.} - W_{ез.}) \cdot T_{ез.},$$

де

$E_{ел.}$ – економія електричної енергії, кВт · год;

$W_{л.р.}$ – потужність лампи розжарювання (0,1 кВт);

$W_{ез.}$ – потужність енергозберігальної лампи (0,02 кВт);

$T_{ез.}$ – термін служби енергозберігальної лампи (6000 год).

Економію електроенергії в результаті реалізації енергозберігального заходу в грошовому вираженні розраховують як добуток економії в натуральному вираженні на тариф на електричну енергію.

Під час розрахунку ефективності енергозберігального проекту необхідно не забути витрати на заміну ламп розжарювання, що перегоріли упродовж терміну служби енергозберігальної лампи, які мали б місце, якби проект не був реалізований:

$$E_{зам.} = T_{ез.} \cdot P_{л.р.} / T_{л.р.},$$

де

$E_{зам.}$ – економія витрат на заміну ламп розжарювання, грн;

$T_{л.р.}$ – термін служби лампи розжарювання, год;

$T_{ез.}$ – термін служби енергозберігальної лампи, год;

$P_{л.р.}$ – ціна лампи розжарювання, грн.

Таким чином, економія витрат у результаті реалізації енергозберігального проекту дорівнює сумі економії витрат на електричну енергію та економії витрат на заміну ламп розжарювання.

3. Термін окупності проекту розраховується як час, за який економія від зниження витрат на виробництво або споживання енергії дорівнюватиме сумі інвестицій, необхідних для реалізації проекту:

$$T_o = I / E_p,$$

де

T_o – період повернення коштів, роки;

I – сума інвестицій за проектом, грн;

E_p – річна економія за проектом, грн / рік.

4. Економію річну розраховують як суму економії витрат на електричну енергію і економії витрат на заміну ламп розжарювання за рік (добуток часу горіння в день – 3 год на 365 днів).

5. Якщо термін окупності виходить значно менше року, то його можна визначати в місяцях (помножити на 12) або днях (помножити на 365).

6. Після здійснення всіх розрахунків необхідно зробити висновки.

Задача 14. Виконайте ранжирування наведених енергоефективних заходів за критеріями інвестиційних витрат, досягнутих результатів (економії), періоду окупності, синтетичному критерію. Розробіть на підставі проведеного ранжирування програму інвестування енергозберігальних заходів, що враховує пріоритетність проектів, з щорічним бюджетом 270 тис. грн. Зробіть висновки.

Таблиця 3.8

Перелік енергозберігальних заходів по гуртожитку

Енергоефективні заходи		Інвестиції [грн]	Чиста економія		Окупність [роки]
			[кВт · год / рік]	[грн / рік]	
1.	Впровадження системи енергетичного менеджменту та енергомоніторингу	6.600	32.508	4.791	1,4
2.	Заміна ламп розжарювання на сходових клітинах та в коридорах на компактні люмінісцентні	810	5.296	1.301	0,6
3.	Теплоізоляція трубопроводів та запірної арматури системи опалення та гарячого водопостачання	20.000	20.707	4.580	4,4
4.	Балансування системи опалення будівлі шляхом встановлення балансувальних клапанів	24.000	62.121	6.741	3,6
5.	Впровадження системи автоматичного контролю освітлення на сходових клітинах та коридорах	13.500	10.213	2.508	5,4
6.	Модернізація системи опалення будівлі зі встановленням індивідуального теплового пункту (ІТП)	80.000	63.676	11.685	6,8
7.	Утеплення зовнішніх стін	108.000	60.988	13.491	8,0
8.	Утеплення даху	321.500	123.884	27.403	11,7
9.	Заміна вітражів на сходових клітинах	210.400	49.509	10.951	19,2
10.	Заміна дерев'яних вікон на металопластикові	509.600	99.555	22.022	23,1
Всього по всіх заходах		**1 294.410**	**528.457**	**105.473**	**12,3**

Методичні вказівки до розв'язання задачі.

1. Вибір пріоритетів здійснюється на основі комплексу попередньо прийнятих критеріїв і з дотриманням певних обмежень.

2. Перший запропонований критерій – сума необхідних для реалізації заходу інвестицій. Чим дешевший запланований енергоефективний захід, тим більше різних енергозберігальних проектів можна здійснити за рахунок обмежених фінансових ресурсів. Відсортуйте запропоновані проекти за критерієм мінімізації інвестиційних витрат (1 місце проекту з мінімальними інвестиційними витратами, далі за зростанням).

3. Другий запропонований критерій – досягнуті результати. Чим вони істотніші, тим, відповідно, проект привабливіший. Відсортуйте запропоновані проекти за критерієм максимізації досягнутої економії (1 місце проекту з максимальною економією, далі за зниженням). Порівняйте дві заповнені таблиці.

4. Третій запропонований критерій – період окупності енергозберігального заходу. Чим він менший, тим швидше заощаджені гроші можна спрямувати на нові енергозберігальні проекти. Відсортуйте запропоновані проекти за критерієм мінімізації періоду окупності (1 місце проекту з мінімальним періодом окупності, далі за зростанням). Порівняйте три заповнені таблиці. Зробіть попередні висновки про пріоритети у виконанні енергозберігальних проектів.

5. Розрахуйте синтетичний критерій пріоритетності проектів. Наприклад, це можна зробити таким чином. Присвойте в усіх трьох розрахункових таблицях оціночний бал кожному проекту за наведеною шкалою: 1 місце – 10 балів, 10 місце – 1 бал.

6. Підсумуйте оціночні бали по усіх трьох таблицях для кожного енергозберігального заходу. Здійсніть ранжирування проектів (1 місце проекту з максимальною сумою балів, далі за зниженням). Одержана черговість визначає пріоритетність енергозберігальних заходів за усіма трьома критеріями та є оптимальною.

7. Зробіть висновки.

8. Розробіть програму інвестування цих проектів на основі наявних фінансових обмежень. Складіть графік інвестування енергозберігальних заходів.

Задача 15. Існує така інформація про енергоефективний проект (див. табл. 3.9):

Таблиця 3.9

Інформація про енергоефективний проект

Сумарні інвестиції за проектом I_o, тис. грн	11680
Горизонт планування, роки	10
Ставка дисконтування (бар'єрна), %	15
Загальна економія витрат за перший рік, тис. грн Загальна економія витрат за другий рік, тис. грн Загальна економія витрат за кожен наступний рік, тис. грн	1249 3747 4996

Розрахуйте показники оцінки ефективності інвестиційних проектів у сфері енергоефективності, що ґрунтується на концепції часової вартості грошей:

– дисконтований період окупності ($T_{ок}$ТС);
– чистий приведений ефект (NPV);
– внутрішній коефіцієнт окупності (IRR).

Розв'язання.

1. Розрахуємо дисконтований період окупності. Розрахунок наведено в табл. 3.10.

Таблиця 3.10

Розрахунок дисконтованого терміну окупності інвестиційного проекту

Рік		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
t-коефіцієнт	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Грошові потоки CFt, тис. грн	-11680	1249	3747	4996	4996	4996	4996	4996	4996	4996	4996
$(1 + r)^t$		1,23	1,51	1,86	2,29	2,82	3,46	4,26	5,24	6,44	7,93
Дисконтований CFt, тис. грн	-11680	1015	2477	2685	2183	1775	1443	1173	954	775	630
Дисконтований CFt (акум.), тис. грн	-11680	-10665	-8188	-5503	-3320	-1546	-103	1070	2024	2799	3429

У 2017 р. дисконтований CF_t (акум.) сягає позитивного значення, отже дисконтований термін окупності інвестиційного проекту лежить в інтервалі між 6 та 7 роками. Якщо припустити, що економія від реалізації проекту відбувається рівномірно упродовж усього року, то дисконтований термін окупності інвестиційного проекту можна обчислити точно – 6,1 р.

Результати розрахунку відображено на рис. 3.5 та 3.6.

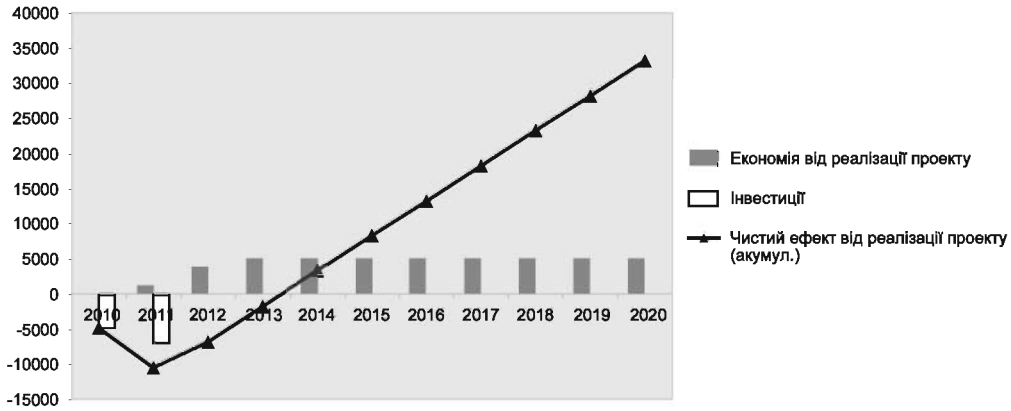


Рисунок 3.5 – Оцінка окупності проекту без урахування часової вартості грошей

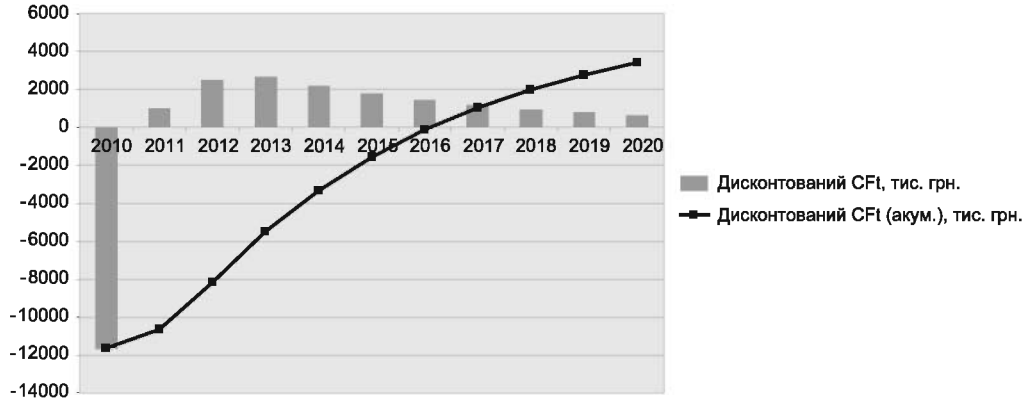


Рисунок 3.6 – Розрахунок дисконтованого терміну окупності інвестиційного проекту

2. Розрахуємо чистий приведений ефект. Розрахунок подано в табл. 3.11, яка є продовженням табл. 3.10.

Таблиця 3.11

Розрахунок чистого приведеного ефекту інвестиційного проекту на 2011-2020 рр.

Рік		2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Дисконтований CFt, тис. грн	-11680	1015	2477	2685	2183	1775	1443	1173	954	775	630
Загальна поточна вартість економії від проекту (PV)		1015	3492	6177	8360	10134	11577	12750	13704	14479	15109
Чиста поточна вартість (NPV)		-10665	-8188	-5503	-3320	-1546	-103	1070	2024	2799	3429

Розрахунок виявив, що за період 2011…2020 рр. NPV повинен скласти 3429 тис. грн. Отже, NPV > 0 та можна вважати, що інвестиційний проект потрібно реалізовувати.

Результати розрахунку відображено на рис. 3.7.

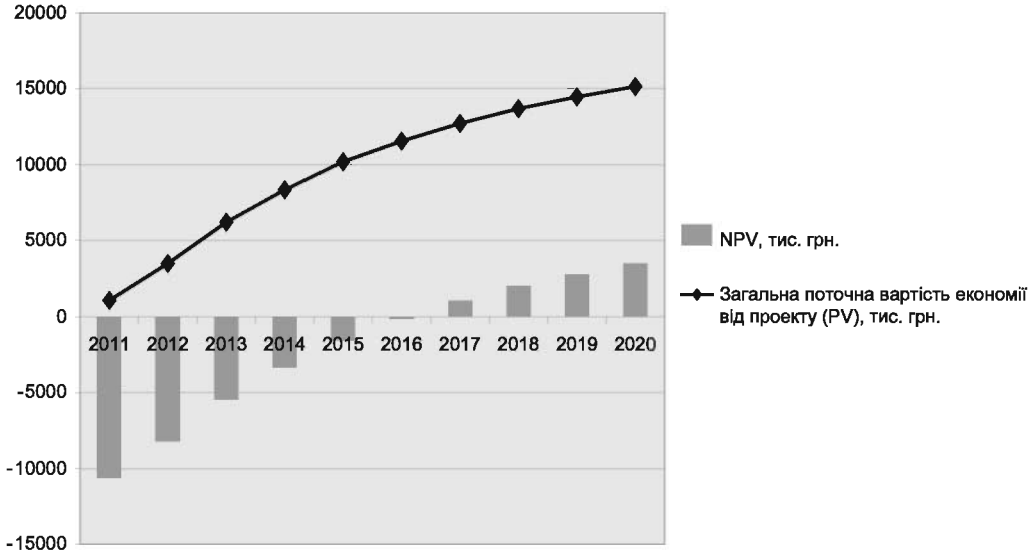


Рисунок 3.7 – Розрахунок чистої поточної вартості інвестиційного проекту на 2011…2020 рр.

3. Розрахуємо внутрішній коефіцієнт окупності (IRR). Внутрішній коефіцієнт окупності вручну розраховується досить складно, простіше скористатися програмним продуктом MS Excel, який пропонує спеціальну формулу для розрахунку, яка так і називається – IRR (у російській версії – ВСД).

Для нашого проекту показник IRR було розраховано у розмірі 30 %. Це досить високий показник IRR, для звичайних інвестиційних проектів він повинен перевищувати 15 % (розмір бар'єрної ставки). Такий результат свідчить про високу інвестиційну привабливість даного проекту.

Задачі для самостійного розв'язання.

Задача 16. На підставі проведених енергетичних аудитів за узгодженням з викладачем визначте перелік енергозберігальних заходів стосовно навчальних корпусів, гуртожитків, студентського містечка в цілому. Розрахуйте необхідну суму інвестицій на виконання енергозберігальних проектів, програму енергозбереження в цілому. Розрахуйте економію теплової і електричної енергії в результаті реалізації проектів, економію витрат у грошовому еквіваленті. Розрахуйте термін окупності для кожного проекту. Зробіть висновки про доцільність виконання запропонованих енергоефективних заходів.

Задача 17. Структуруйте проекти із задачі 16 за табл. 3.5. Проаналізуйте заповнену таблицю. Проведіть ранжирування пріоритетності проектів на підставі запропонованого синтетичного критерію.

Задача 18. Розрахуйте інвестиційну програму щодо енергозбереження, виходячи з реальних можливостей ВНЗ, побудуйте графік інвестування енергозберігальних заходів згідно з рис. 3.2.

Задача 19. Визначте можливих позичальників для фінансування інвестиційної програми, розробленої в задачі 18. Для середньострокових проектів, що передбачають залучення позикових коштів, розрахуйте показники оцінки ефективності інвестиційних проектів у сфері енергоефективності, що ґрунтуються на концепції часової вартості грошей:

– дисконтований період окупності ($T_{ок}$ТС);
– чистий приведений ефект (NPV);
– внутрішній коефіцієнт окупності (IRR).

Виконайте ранжирування проектів щодо інвестиційної привабливості.

Задача 20. Розробіть для вашого ВНЗ перелік «м'яких» заходів у сфері енергозбереження і структуруйте їх у таблицю 3.7. Складіть відповідні бюджети до описаних у таблиці потрібних грошових ресурсів. Сплануйте використання часових ресурсів, використовуючи діаграми Ганта і операційні можливості Microsoft Project 2007 або аналогічних програмних продуктів.

Потенціал енергозбереження в комунальній теплоенергетиці

Задачі з розв'язанням.

Задача 21. Виконати оцінку середньостатистичних втрат теплоти від котельні до споживачів наявної системи централізованого теплопостачання навчального корпусу льотної академії у м. Кіровограді. Визначити орієнтовну потужність джерела теплоти, якщо розрахункова потреба у теплоті для систем опалення навчального корпусу становить $Q_{оп.}$ = 950 кВт. Втратами у споживача знехтувати. Оцінити потенціал енергозбереження при впровадженні енергозберігальних заходів. В основу розрахунку покласти середній наявний в Україні рівень енергоефективності. Температуру повітря у приміщеннях прийняти $t_в$ = 18 ^{0}С.

Розв'язання.

1. Визначимо за даними табл. 3.1 усереднену величину загальних втрат теплоти на шляху від джерела теплоти до споживача у % потенціалу палива. Вона становить Δq_Σ = 28…32 %, приймаємо 30 %.

2. Запишемо величину розрахункової потреби у теплоті на опалення, яку необхідно забезпечити на вході до будівлі, через загальні втрати теплоти на шляху до споживача Δq_Σ і теплову потужність джерела теплоти:

$$Q_{оп.} = Q_{сп.} = Q_п - Q_п \cdot \Delta q_\Sigma, \qquad (3.16)$$

де

$Q_{сп.}$ – розрахункова потреба у теплоті на опалення в умовах відсутності втрат теплоти у споживача, кВт;

$Q_п$ – тепловий потенціал палива, або теплова потужність джерела теплоти, кВт;

Δq_Σ – узагальнені втрати теплоти від джерела теплоти до споживача, част. од.

Із (3.16) можна отримати залежність для визначення необхідної теплової потужності за прийнятих втрат теплоти:

$$Q_п = Q_{сп.} / (1 - \Delta q_\Sigma) = 950 / (1 - 0{,}3) = 1357 \text{ кВт.}$$

3. Середній потенціал енергозбереження П оцінюється згідно з рис. 3.5 і 3.6 посібника до П = 12 % енергетичного потенціалу палива.

4. Для визначення річної економії теплоти і палива у разі реалізації вказаного потенціалу енергозбереження визначимо середню за опалювальний період потребу будівлі у теплоті для опалення. Для цього необхідно визначитись відповідно до таблиці (додаток А) з характеристиками клімату для м. Кіровограда:

– розрахункова температура зовнішнього повітря для систем опалення $t_з = -22\ ^0C$;
– середня температура опалювального періоду $t_{сер.} = -0{,}7\ ^0C$;
– тривалість опалювального періоду $n_{оп.} = 175$ діб.

Середня за опалювальний період потреба у теплоті для опалення визначається відповідно до залежності (3.17):

$$Q_{оп.}^{сер.} = Q_{оп.} \cdot [(t_в - t_{сер.}) / (t_в - t_з)], \text{ кВт,} \qquad (3.17)$$

де

$Q_{оп.}$ – розрахункові годинні витрати теплоти на опалення, кВт;

$t_{сер.}$, $t_з$ – дійсна середня за опалювальний період температура зовнішнього повітря, ^0C і розрахункова для систем опалення температура зовнішнього повітря, ^0C, відповідно.

$$Q_{оп.}^{сер.} = 950 \cdot [(18 + 0{,}7) / (18 + 22)] = 444 \text{ кВт.}$$

Визначення річних витрат теплоти на потреби опалення виконаємо за залежністю (3.18) за відомими величинами середньогодинних за опалювальний період витрат теплоти на опалення $Q_{оп.}^{сер.}$ та тривалості опалювального періоду $n_{оп.}$:

$$Q_{рік} = Q_{оп.}^{сер.} \cdot n_{оп.}, \text{ ккал; кДж; кВт} \cdot \text{год,} \qquad (3.18)$$

де

$Q_{оп.}^{сер.}$ – середні за опалювальний період витрати теплоти на опалення ккал / год, кДж / год, кВт;

$n_{оп.}$ – тривалість опалювального періоду, год.

$Q_{рік} = 444 \cdot 175 \cdot 24 = 1864800$ кВт · год = 1864,8 МВт · год = 1603,7 Гкал.

Річну кількість теплоти, яку необхідно підвести до джерела теплоти у вигляді теплового потенціалу палива визначають з урахуванням наявних втрат теплоти на шляху до споживача: $Q_п^{рік}$ = 1864,8 / (1 − 0,3) = 2664,0 МВт · год.

Річну економію теплоти у разі реалізації потенціалу енергозбереження визначимо за залежністю: ΔQ = П · $Q_п^{рік}$ = 0,12 · 2664,0 = 319,7 МВт · год. Зазначена кількість теплоти еквівалентна енергії згоряння 31970 м^3 природного газу із теплотою згоряння 10 кВт · год / м^3.

Задача 22. Оцінити середній потенціал енергозбереження, який може бути реалізованим на етапі споживання теплової енергії, у тому числі за рахунок поліпшення теплозахисних характеристик огороджень гуртожитку медичного університету 1980 року забудови у м. Вінниці. Загальна річна кількість теплоти, яка відпускається із теплових мереж до будівлі, на сьогодні становить 1080 Гкал.

Розв'язання.

1. Усереднені втрати теплової енергії у споживачів згідно з табл. 3.4 посібника становлять близько 56 % теплової енергії, відпущеної до будинку.

Таким чином, середня річна величина непродуктивних втрат теплоти становитиме близько ΔQ = 0,56 · 1080 = 604,8 Гкал, або 703,2 МВт · год.

За даними табл. 3.4, рис. 3.5 та рис. 3.6 посібника визначаємо середні по Україні величини втрат теплоти за вказаних в умові задачі обставин роботи системи. Втрати теплоти становитимуть:

- близько 86,4 Гкал – втрати з неізольованих трубопроводів, які прокладаються в неопалювальних приміщеннях гуртожитку;
- близько 118,8 Гкал – втрати теплоти, спричинені відсутністю приладового регулювання відпуску теплоти і температури внутрішнього повітря, відсутністю балансувальних клапанів на інженерних системах, відсутністю використання теплоакумуляційних властивостей будинку та ін.;
- решта втрат – 498 Гкал – мають місце внаслідок низьких теплозахисних характеристик огороджувальних конструкцій будівлі і відсутності регулювання відпуску теплоти у теплових вузлах вводу.

Задача *23*. Виконати середню оцінку потенціалу енергозбереження на етапах виробництва теплоти, її транспортування і споживання для будівлі спортивної зали національної морської академії у м. Одесі. Будівля 1979 року забудови одержує теплоту від районної котельні на потреби опалення, вентиляції і гарячого водопостачання. Індивідуальний тепловий пункт відсутній, регулювальні пристрої біля опалювальних приладів і балансувальні клапани відсутні. Теплові мережі канального прокладання частково підтоплені ґрунтовими водами. Котельня працює з 1990 року, середній коефіцієнт ефективності вироблення теплоти в котельні становить 81 %. За умови виконання робіт з підвищення теплозахисних характеристик огороджень будівля спортивної зали повинна споживати за рік Q_0 = 1705 Гкал теплоти.

Розв'язання.

1. За даними табл. 3.4 і рис. 3.5 та 3.6 посібника визначаємо середні по Україні величини втрат теплоти за вказаних в умові задачі обставин роботи системи. Втрати теплоти становитимуть:

– на етапі споживання теплоти – $\Sigma\Delta q_{сп.}$ = 19 % (0,19 част. од) кількості теплоти, яку було відпущено споживачам $Q_{сп.}$ (з урахуванням того, що заходи із підвищення теплозахисних характеристик огороджень заплановано до впровадження і величину потреби теплоти задано з урахуванням чинних нормативів з теплової ізоляції будівель);
– на етапі транспортування теплоти – $\Delta q_т$ = 15…17 % (0,15…0,17 част. од.) кількості теплоти, виробленої у котельні і відпущеної до теплових мереж;
– на етапі вироблення теплоти – $\Sigma\Delta q_к$ = 16…19 % (0,16…0,19 част. од.).

2. Визначимо кількість теплоти, яку необхідно підвести протягом року до будівлі спортивної зали $Q_{сп.}$ із теплової мережі з урахуванням втрат теплоти на етапі споживання:

$$Q_{сп.} = Q_о / (1- \Sigma\Delta q_{сп.}) = 1705 / (1- 0,19) = 2104,9 \text{ Гкал.}$$

Отже, втрати теплоти на етапі споживання становитимуть: $\Delta Q_{сп.} = Q_{сп.} - Q_о$ = 2104,9 – 1705,0 = 399,9 Гкал.

3. Визначимо кількість теплоти, яку необхідно виробити в котельні і відпустити до теплових мереж для забезпечення спортивної зали тепловою енергією у потрібній кількості з урахуванням втрат теплоти на етапі транспортування:

$$Q_к = Q_{сп.} / (1- \Delta q_т) = 2104,9 / (1- 0,16) = 2505,8 \text{ Гкал.}$$

Отже, втрати теплоти на етапі транспортування теплоти становитимуть: $\Delta Q_т = Q_к - Q_{сп.}$ = 2505,8 – 2104,9 = 400,9 Гкал.

4. Визначимо енергетичний потенціал палива або кількість теплоти, яку необхідно підвести до пальників котлів у вигляді теплоти згоряння палива для забезпечення спортивної зали тепловою енергією у потрібній кількості з урахуванням втрат теплоти на етапі її вироблення:

$$Q_п = Q_к / (1 - \Sigma\Delta q_к) = 2505,8 / (1- 0,175) = 3037,3 \text{ Гкал.}$$

Отже, втрати теплоти на етапі вироблення теплоти становитимуть: $\Delta Q_к = Q_п - Q_к$ = 3037,3 – 2505,8 = 531,5 Гкал.

Таким чином, загальні втрати теплоти становитимуть: 399,9 + 400,9 + 531,5 =1332,3 Гкал, виходячи із середнього рівня ефективності роботи системи теплопостачання.

Така оцінка потенціалу енергозбереження є приблизною. Точну величину потенціалу енергозбереження можна визначити лише на основі дослідження об'єкта споживання теплоти і проведення на ньому енергетичного аудиту.

Задачі для самостійного розв'язання.

Задача 24. Оцінити середній потенціал енергозбереження, який може бути реалізованим на етапі споживання теплової енергії у будівлі педагогічного університету у м. Житомирі. Загальна річна кількість теплоти, яка відпускається із теплових мереж до будівлі, на сьогодні становить 870 Гкал.

Задача 25. Виконати середню оцінку потенціалу енергозбереження на етапах виробництва теплоти і її транспортування для будівлі навчального корпусу Львівського університету транспорту. Будівля одержує теплоту від власної котельні. Теплові мережі канального підземного прокладання загальною довжиною 1,0 км. Середній коефіцієнт ефективності вироблення теплоти в котельні становить 79 %. Річне споживання теплоти будівлею становить 560 Гкал.

Екологічний аспект енергозбереження

Визначення величини витрат палива, яке необхідне для отримання певної кількості теплоти на потреби життєдіяльності людини або виробничі процеси, здійснюється за залежністю:

$$B = \frac{Q_K}{Q_H^P \cdot \eta_K}, \quad нм^3;\ кг, \qquad (3.19)$$

де

B – витрати енергоносія (палива) – для природного газу в м^3, під тиском в 1 ат (101.3 кПа) і при температурі 0 ^{0}C;

Q_H^P – довідникова величина теплоти згоряння палива за умов відсутності конденсації водяної пари у складі продуктів згоряння палива у ккал / нм^3 (кг), кДж / нм^3 (кг) або кВт · год / нм^3 (кг);

$Q_к$ – кількість теплоти, яку необхідно виробити у джерелі теплоти для забезпечення потреб життєдіяльності людини або здійснення виробничих процесів у ккал, кДж або кВт · год;

$\eta_к$ – коефіцієнт корисної дії процесу вироблення теплоти у теплогенерувальному пристрої, част. од.

Визначення викидів шкідливих інгредієнтів у атмосферу можна здійснити за залежністю:

$$M_i = B \cdot C_i, \quad г;\ кг;\ т, \qquad (3.20)$$

де

B – витрати палива на генерування теплоти у паливоспалювальному обладнанні;

C_i – питома величина викиду шкідливого інгредієнта в атмосферу на одиницю спаленого палива (див. табл. 3.12).

Таблиця 3.12

Питомі показники викидів в атмосферу шкідливих інгредієнтів у складі продуктів згоряння палива

Вид палива	Теплота згоряння палива	CO_2	CO_2	CH_4	N_2O	NO_x	CO	Органічні сполуки	SO_2	Тверді частинки
	кВт · год / кг	г/ кВт· год	г / кг	г / кг	г / кг	г / кг	г / кг	г / кг	г / кг	г / кг
Природний газ (на нм^3)	9,9	202,0	1880	0,17	0,003	1,68	1,68	0,17	незн..	0,12
СПБТ (зріджений пропан-бутан та ін.)	13,14	227,0	2984	0,05	0,09	2,37	0,47	0,05	незн.	0,13
Гас	12,43	258,7	3216	0,45	0,03	4,48	0,90	0,22	1,0	0,29
Легке нафтове пальне (ШФЛУ і т.д., Б<0,3 %)	12,50	264,0	3301	0,45	0,03	4,50	0,90	0,23	6,0	0,28
Важке нафтове паливо (мазут та ін., Б < 1 %)	11,16	278,5	3109	0,40	0,02	4,02	0,80	0,20	20,0	0,71
Вугілля (Б < 1,5 %)	6,25	353,8	2211	0,23	0,03	2,25	45	0,11	16,2	5,45
Деревне паливо (20 % вологості)	4,17	359,0	1496	4,50	0,06	1,5	75,0	9,00	2,16	0.22

Дійсні витрати $V_д$ повітря на згоряння палива визначаються за залежністю (3.21):

$$V_д = \alpha \cdot V_т^с, \text{ нм}^3 / \text{нм}^3; \text{ нм}^3 / \text{кг}, \qquad (3.21)$$

де

α – коефіцієнт надлишку повітря, α = 1,2…1,25;

$V_т^с$ – теоретичні витрати повітря на згоряння палива, визначаються за залежністю (3.22):

$$V_т^с = 3600 \cdot Q_н^р / 3770, \text{ нм}^3 / \text{нм}^3; \text{ нм}^3 / \text{кг}, \qquad (3.22)$$

де

$Q_н^р$ – довідникова величина теплоти згоряння палива кВт · год / кг (м^3), приймається за даними табл. 3.12.

Питомий об'єм $V_{пз}$ продуктів згоряння палива у розрахунку на одиницю витрат палива в нм^3 / нм^3 палива або нм^3 / кг палива можна визначити за такою орієнтовною залежністю:

$$V_{пз} = 1{,}032 \cdot Q_н^р + 0{,}25, \text{ нм}^3 / \text{нм}^3; \text{ нм}^3 / \text{кг}. \qquad (3.23)$$

Річні витрати повітря на згоряння палива визначаються за залежністю (3.24):

$$V_д^{рік} = V_д \cdot B_{рік}^{кот.} \cdot 10^{-6}, \text{ млн нм}^3 / \text{рік}, \quad (3.24)$$

де

$B_{рік}^{кот.}$ – річні витрати палива для роботи котельні, нм^3 / рік, кг / рік.

Величина річних витрат палива визначається за сумою витрат палива для вироблення теплоти на потреби опалення $B_{рік}^{оп.}$ і витрат на нагрівання гарячої води $B_{рік}^{гв}$ згідно з залежністю (3.25):

$$B_{рік}^{кот.} = B_{рік}^{оп.} + B_{рік}^{гв}, \text{ нм}^3 / \text{рік; кг / рік}. \quad (3.25)$$

Річні витрати палива на опалення визначаються за величиною середньогодинних за опалювальний період витрат газу на опалення $B_{оп.}^{сер.}$ і тривалістю опалювального періоду $n_{оп.}$ згідно з формулою (3.26):

$$B_{рік}^{оп.} = B_{оп.}^{сер} \cdot n_{оп.}, \quad (3.26)$$

де

$B_{оп.}^{сер.}$ – середньогодинні за опалювальний період витрати газу на вироблення теплоти для опалення (витрати газу, які приведені до середньої температури опалювального періоду) визначаються згідно з залежністю (3.27):

$$B_{оп.}^{сер.} = B_{оп.} \cdot [(t_в - t_{сер.}) / (t_в - t_з)], \quad (3.27)$$

де

$B_{оп.}$ – розрахункові витрати газу на вироблення теплоти для опалення, визначаються за величиною розрахункових витрат теплоти на потреби опалення відповідно до проектних даних або результатів енергетичного аудиту, м^3 за год.

Річні витрати палива на гаряче водопостачання визначаються з огляду на відому кількість годин роботи системи гарячого водопостачання $n_{гв}$ та величину середньогодинних витрат газу на приготування гарячої води $B_{гв}^{сер.}$ згідно з залежністю:

$$B_{рік}^{гв} = B_{гв}^{сер.} \cdot n_{гв}, \quad (3.28)$$

де $B_{гв}^{сер.}$ – середньогодинні витрати газу на приготування гарячої води, визначаються за величиною середньогодинних витрат теплоти на гаряче водопостачання.

Визначення концентрації забруднювальних речовин у продуктах згоряння, які надходять в атмосферу, можна здійснити відповідно до залежності (3.29):

$$k_i = M_i \cdot 10^3 / V_{пз} \cdot B = C_i \cdot 10^3 / V_{пз}, \text{ мг / м}^3, \quad (3.29)$$

де

$V_{пз}$ – питомий об'єм продуктів згоряння палива з розрахунку на одиницю витрат палива в нм^3 / нм^3 або нм^3 / кг;

k_i – концентрація забруднювальних речовин у продуктах згоряння, мг / м^3;

C_i – питома величина викиду шкідливого інгредієнта в атмосферу на одиницю спаленого палива, г / кг, г / м^3 палива (див. табл. 3.12);

В – витрати палива на генерування теплоти у паливоспалювальному обладнанні.

Величина секундних викидів, або потужність джерела викиду визначається за залежністю (3.30):

$$M_i^{сек} = C_i \cdot B_c \text{, г / с, (3.30)}$$

де

B_c – секундні витрати палива на генерування теплоти у паливоспалювальному обладнанні.

Задачі з розв'язанням.

Задача 26. Результатом впровадження енергозберігальних заходів у навчальних корпусах політехнічного університету в м. Івано-Франківську стало зменшення вироблення теплоти в газифікованій котельні на потреби опалення на 35 % і на гаряче водопостачання на 20 % порівняно з існуючим рівнем. До впровадження заходів розрахункова теплопродуктивність котлів на потреби опалення становила 5 Гкал / год, а на гаряче водопостачання – 2 Гкал / год. Визначити необхідні для розроблення проекту ГДВ екологічний ефект від упровадження енергозберігальних заходів і екологічні параметри викидів. Теплота згоряння природного газу – 9,9 кВт · год / м^3. ККД роботи джерела теплоти прийняти 80 %.Температура у приміщенні +19 ^{0}С. Тривалість роботи системи гарячого водопостачання $n_{гв}$ = 4320 год за рік.

Розв'язання.

1. Визначаємо параметри зовнішнього повітря для м. Івано-Франківська згідно з додатком А:

– розрахункова температура зовнішнього повітря для систем опалення $t_з$ = -22 ^{0}С;
– середня нормована температура опалювального періоду $t_{сер.}$ = 0 ^{0}С;
– нормована тривалість опалювального періоду $n_{оп.}$ = 178 діб.

2. Зменшення теплопродуктивності котлів після впровадження заходів з енергозбереження:

– на потреби опалення в розрахунковому режимі роботи $\Delta Q_к^{оп.} = 0{,}35 \cdot Q_к^{оп.} = 0{,}35 \cdot 5 = 1{,}75$ Гкал / год = 2041,6 кВт;
– на потреби гарячого водопостачання $\Delta Q_к^{гв} = 0{,}20 \cdot Q_к^{гв} = 0{,}35 \cdot 2 = 0{,}7$ Гкал / год = 816,6 кВт.

3. Зменшення годинних витрат природного газу на котельні становить:

– на потреби опалення в розрахунковому режимі роботи $\Delta B^{оп.} = \Delta Q_к^{оп.} / Q_н^р \cdot \eta_к = 2041{,}6 / 9{,}9 \cdot 0{,}8 = 257{,}8$ м^3 / год;

– на потреби гарячого водопостачання (середньогодинний режим роботи) $\Delta B_{гв}^{сер.} = \Delta Q_к^{гв} / Q_н^р \cdot \eta_к = 816,6 / 9,9 \cdot 0,8 = 103,1$ м^3 / год;
– загальне зменшення годинних витрат природного газу на опалення і гаряче водопостачання $\Delta B = \Delta B^{оп.} + \Delta B^{гв} = 257,8 + 103,1 = 360,9$ м^3 / год.

4. Визначаємо зменшення середньогодинних витрат газу на потреби опалення (зменшення витрат газу, які матимуть місце при середній температурі опалювального періоду). Перерахунок розрахункових годинних витрат газу у середньогодинні виконують згідно з залежністю:

$\Delta B_{оп.}^{сер.} = \Delta B^{оп.} \cdot [(t_в - t_{сер.}) / (t_в - t_з)] = 257,8 \cdot [(19 - 0) / (19 + 22)] = 257,8 \cdot 0,463 = 119,5$ м^3 / год.

5. Визначаємо річну економію палива як результат впровадження енергозберігальних заходів:

– на потреби опалення (згідно з залежністю 3.26):

$\Delta B_{рік}^{оп.} = \Delta B_{оп.}^{сер.} \cdot n_{оп.} = 119,5 \cdot 178 \cdot 24 = 510504$ м^3 / рік;

– на потреби гарячого водопостачання (згідно з залежністю 3.28):

$\Delta B_{рік}^{гв} = \Delta B_{гв}^{сер.} \cdot n_{гв} = 103,1 \cdot 4320 = 445392$ м^3 / рік;

– загальна річна економія палива на потреби опалення і гарячого водопостачання: $\Delta B_{рік} = \Delta B_{рік}^{оп.} + \Delta B_{рік}^{гв} = 510504 + 445392 = 955896$ м^3 / рік, що становить 39 % річних витрат палива в котельні без упровадження енергозберігальних заходів.

Висновок.

Впровадження енергозберігальних заходів у навчальних корпусах одного ВНЗ сприяє річній економії палива в обсязі майже 1 млн м^3.

6. Визначимо, яким буде скорочення викидів забруднювальних речовин у складі продуктів згоряння. Для цього скористаємось залежністю (3.20):

$\Delta M_i = \Delta B_{рік} \cdot C_i$ і даними таблиці 3.12. Визначимо зменшення викидів таких інгредієнтів:

– оксидів азоту $\Delta M_{NOx} = 955896 \cdot 1,68 \cdot 10^{-6} = 1,6$ т / рік;
– монооксиду вуглецю $\Delta M_{co} = 955896 \cdot 1,68 \cdot 10^{-6} = 1,6$ т / рік;
– діоксиду вуглецю $\Delta M_{co2} = 955896 \cdot 1880 \cdot 10^{-6} = 1797$ т / рік;
– органічних сполук $\Delta M_{орг.} = 955896 \cdot 0,17 \cdot 10^{-6} = 0,16$ т / рік;
– дисперсної фази $\Delta M_{тч} = 955896 \cdot 0,12 \cdot 10^{-6} = 0,11$ т / рік;

Усього 1800,47 т / рік.

7. Визначимо об'єм збереженого повітря і кисню у результаті скорочення витрат палива. Для цього підрахуємо на першому етапі теоретичні питомі витрати повітря для спалювання 1 м^3 природного газу із теплотою згоряння 9,9 кВт · год / м^3 згідно з (3.22):

$$V_т^с = 3600 \cdot Q_н^р / 3770 = 3600 \cdot 9,9 / 3770 = 9,45 \text{ нм}^3 / \text{нм}^3;$$

потім дійсні питомі витрати повітря за умови підтримання коефіцієнта надлишку повітря на рівні $\alpha = 1,2$ згідно з (3.21): $V_д = \alpha \cdot V_т^с = 1,2 \cdot 9,45 = 11,3$ нм^3 / нм^3 і питомий об'єм продуктів згоряння згідно з (3.23):

$$V_{пз} = 1,032 \cdot Q_н^р + 0,25 = 1,032 \cdot 9,9 + 0,25 = 10,5 \text{ нм}^3 / \text{нм}^3.$$

Об'єм повітря, котрий буде збережений протягом року, визначиться за формулою (3.24):

$$V_д^{рік} = V_д \cdot \Delta B_{рік} \cdot 10^{-6} = 9{,}45 \cdot 955896 \cdot 10^{-6} = 9{,}03 \text{ млн нм}^3 / \text{рік}.$$

Об'єм кисню, використанню якого запобігають у результаті енергозбереження, визначається як 21 % об'єму повітря: 0,21 · 9,03 = 1,89 млн нм^3/ рік.

Висновок.

Економія 39 % палива на котельні теплопродуктивністю 7 Гкал / год дає можливість зберегти в атмосфері за рік до 2,26 млн нм^3 / рік кисню і запобігти викидам в атмосферу 1800 т / рік забруднювальних речовин

8. Визначимо концентрацію забруднювальних речовин у продуктах згоряння котельні (на виході із джерела забруднення – димової труби). Для цього скористаємось залежністю виду (3.29):

$$K_i = C_i \cdot 10^3 / V_{пз}, \text{ мг / м}^3,$$

де

$V_{пз}$ – питомий об'єм продуктів згоряння, $V_{пз}$ = 10,5 нм^3 / нм^3;

C_i – питома величина викиду шкідливого інгредієнта в атмосферу на одиницю спаленого палива (див. табл. 3.12).

Результати розрахунків наведено у таблиці 3.13.

9. Обрахуємо секундні максимальні викиди в атмосферу забруднювальних речовин згідно з залежністю (3.30):

$$M_i^{\,c} = C_i \cdot B_c, \text{ г / с},$$

де B_c – секундні витрати палива на генерування теплоти у паливоспалювальному обладнанні.

Секундні витрати палива на котельні становлять 0,36 м^3 / с. Вони визначаються за відомими величинами теплопродуктивності котлів на потреби опалення $Q_к^{оп.}$ = 5 Гкал / год і на потреби гарячого водопостачання $Q_к^{гв}$ = 2 Гкал / год, а також відомою величиною теплоти згоряння природного газу $Q_н^р$ = 9,9 кВт · год / м^3 = 8514 ккал / м^3 (величину теплоти згоряння в залежність (3.31) підставляти у ккал / м^3). Величина максимальних секундних витрат природного газу визначиться за залежністю (3.31):

$$B_c = (Q_к^{оп.} + Q_к^{гв}) \cdot 10^6 / (3600 \cdot \eta_к \cdot Q_н^р) = (5 + 2) \cdot 10^6 / 3600 \cdot 0{,}8 \cdot 8514 = 0{,}285 \text{ м}^3 / \text{с}. \quad (3.31)$$

Результати розрахунків секундних викидів наведено у таблиці 3.13.

Таблиця 3.13

Визначення екологічних параметрів викидів забруднювальних речовин у атмосферу

Найменування параметрів викидів	Вид забруднювальної речовини				
	NO_x	CO	CO_2	Органічні сполуки	Дисперсна фаза
Валові викиди, т / рік	1,6	1,6	1797	0,16	0,11
Концентрація інгредієнтів у продуктах згоряння, мг / м³	160	160	179048	16,2	11,4
Максимальні секундні викиди, г / с	0,478	0,478	535,8	0,048	0,0342

Задача 27. Визначити екологічні параметри шкідливих викидів у атмосферу. Джерело викидів – димова труба опалювальної котельні Кременчуцького льотного коледжу НАУ з середніми за опалювальний період годинними витратами природного газу $B_{оп.}^{сер.}$ = 130 м³ / год. Визначити величину зменшення валових викидів у атмосферу, якщо у результаті впровадження енергозберігальних заходів середні витрати газу в котельні зменшились на 35 %.

Розв'язання.

1. Визначаємо параметри зовнішнього повітря для м. Кременчука (Полтавської обл.) згідно з додатком А:

– розрахункова температура зовнішнього повітря для систем опалення $t_з$ = -23 ^{0}C;
– середня нормована температура опалювального періоду $t_{сер.}$ = -1,5 ^{0}C;
– нормована тривалість опалювального періоду $n_{оп.}$ = 177 діб = 4248 год.

2. Визначаємо теоретичні питомі витрати повітря на горіння:

$V_т^c = 3600 \cdot Q_н^р / 3770 = 3600 \cdot 9,9 / 3770 = 9,45$ нм³ / нм³;

– дійсні питомі втрати повітря за умови підтримання коефіцієнта надлишку повітря на рівні α = 1,2 згідно з (3.21):

$V_д = \alpha \cdot V_т^c = 1,2 \cdot 9,45 = 11,3$ нм³ / нм³.

3. Питомий об'єм продуктів згоряння згідно з (3.23):

$V_{пз} = 1,032 \cdot Q_н^р + 0,25 = 1,032 \cdot 9,9 + 0,25 = 10,5$ нм³ / нм³.

4. Річні витрати палива:

– до впровадження заходів з енергозбереження:

$B_{рік}^{оп.} = B_{оп.}^{сер.} \cdot n_{оп.} = 130 \cdot 4248 = 552240$ м³ / рік;

– після впровадження заходів з енергозбереження:

$B'_{рік}^{оп.} = 0,65 \cdot B_{оп.}^{сер.} \cdot n_{оп.} = 0,65 \cdot 130 \cdot 4248 = 358956$ м³ / рік.

5. Концентрації забруднювальних речовин у викидах визначаються згідно з залежністю:

$$K_i = C_i \cdot 10^3 / V_{пз}, \text{ мг / м}^3,$$

де

$V_{пз}$ – питомий об'єм продуктів згоряння, $V_{пз}$ = 10,5 нм³ / нм³;

C_i – питома величина викиду шкідливого інгредієнта в атмосферу на одиницю спаленого палива (див. табл. 3.12).

Результати розрахунків наведено у таблиці 3.14.

6. Обрахуємо секундні максимальні викиди забруднювальних речовин у атмосферу згідно з залежністю (3.30):

$$M_i^c = C_i \cdot B_c \text{, г / с,}$$

де

B_c – секундні максимальні витрати палива на генерування теплоти у паливоспалювальному обладнанні. Секундні максимальні витрати палива на котельні до впровадження заходів визначаються з урахуванням відмінності середньої за опалювальний період температури зовнішнього повітря від розрахункової температури зовнішнього повітря згідно з залежністю, аналогічній (3.27):

$$B_{оп.} = B_{оп.}^{сер.} \cdot [(t_в - t_з) / (t_в - t_{сер.})] = (120 / 3600) \cdot [(20 + 23) / (20 + 1,5)] = 0,066 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

Величина секундних максимальних витрат газу після впровадження заходів з енергозбереження визначається за аналогічною залежністю з урахуванням досягнутої економії природного газу у 35 %:

$$B'_{оп.} = 0,65 \cdot B_{оп.}^{сер.} \cdot [(t_в - t_з) / (t_в - t_{сер.})] = 0,65 \cdot (120 / 3600) \cdot [(20 + 23) / (20 + 1,5)] = 0,043 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

7. Величина валових викидів в атмосферу визначиться за залежністю (3.20):

$$M_i = B_{рік} \cdot C_i \cdot 10^{-6}.$$

Результати розрахунків наведено в таблиці 3.14.

Таблиця 3.14

Результати розрахунків екологічних характеристик викидів у атмосферу

Найменування параметрів викидів	Вид забруднювальної речовини				
	NO_x	CO	CO_2	Органічні сполуки	Дисперсна фаза
Концентрація інгредієнтів у продуктах згоряння, мг / м³	160	160	179048	16,2	11,4
Максимальні секундні викиди, г / с: – до енергозберігальних заходів; – після впровадження заходів	0,11 0,072	0,11 0,072	124,1 80,8	0,011 0,005	0,008 0,005
Валові викиди, т / рік: – до енергозберігальних заходів; – після впровадження заходів;	0,927 0,603	0,927 0,603	1038,2 674,8	0,094 0,061	0,066 0,043
Зменшення викидів у т / рік	0,324	0,324	363,4	0,033	0,023

Висновок.

У результаті впровадження енергозберігальних заходів загальні валові викиди в атмосферу забруднювальних речовин від котельні зменшаться на 364 т (на 35 %).

Задачі для самостійного розв'язання.

Задача 28. Визначити, як зміняться екологічні характеристики шкідливих викидів в атмосферу із димової труби котельні з тепловою потужністю 500 кВт у м. Херсоні за умови переведення роботи котельні з природного газу на вугілля. Теплоту згоряння газу і вугілля прийняти відповідно до вимог табл. 3.12.

Задача 29. Визначити зміну річних валових викидів CO_2 від котельні, яка виробляє за рік 1300 Гкал теплової енергії і працює на природному газі за умови зміни коефіцієнту корисної дії котельні з 78 % до 84 % за рахунок автоматизації її роботи.

Задача 30. Витрати деревини в котельні до термомодернізації опалювальних будинків становили 170 т. У результаті впровадження заходів з енергозбереження в будинках за рахунок підвищення теплозахисних характеристик їх зовнішніх огороджень витрати палива в котельні зменшились до 97 т. Визначити екологічний ефект заходів з енергозбереження.

РОЗДІЛ 4
ОСНОВИ ТЕПЛОФІЗИКИ БУДІВЕЛЬ

Способи передачі теплоти

Передача теплоти є складним процесом. У природі існує три способи переносу теплоти:

– теплопровідність;
– конвекція;
– променевий теплообмін.

Для багатошарової плаского стінки, яка складається із декількох однорідних шарів, що щільно прилягають один до одного, визначення кількості теплоти, яка розповсюджується теплопровідністю, виконується за залежністю (4.1):

$$Q_т = \frac{t_{ст.1} - t_{ст.4}}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} \cdot F \text{ , ккал / год; кВт,} \qquad (4.1)$$

де

$t_{ст.1}$ – температура на внутрішній поверхні стіни, ^{0}С (див. рис 4.1);
$t_{ст.4}$ – температура на зовнішній поверхні стіни, ^{0}С (див. рис 4.1);
F – площа поверхні стіни, м^2;
δ_1, δ_2, δ_3 – товщина окремих шарів стіни, м;
λ_1, λ_2, λ_3 – коефіцієнти теплопровідності окремих однорідних шарів стіни.

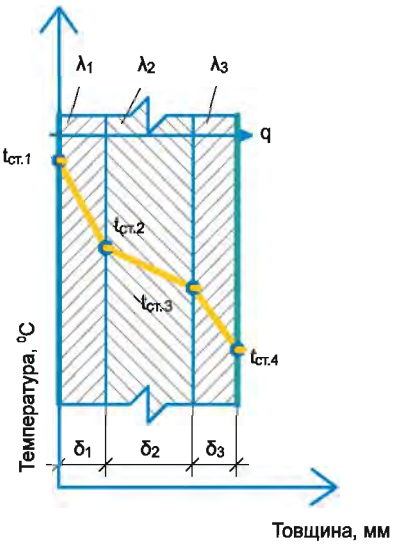


Рисунок 4.1 – Графік зміни температур по товщині багатошарової плаского стіни

Кількість теплоти, яка передається конвекцією, визначається за формулою (4.2):

$$Q_к = \alpha \cdot F \cdot (t_1 - t_{ст.}),\ Вт;\ ккал\ /\ год, \qquad (4.2)$$

де

F – площа поверхні стіни, $м^2$;

t_1 – температура газу або рідини, яка омиває поверхню стіни (наприклад, температура зовнішнього повітря), ^0C;

$t_{ст.}$ – температура на поверхні стіни, (зовнішньої або внутрішньої), ^0C.

Коефіцієнт теплообміну α на зовнішній поверхні для вертикальних поверхонь визначають за залежністю (4.3):

$$\alpha = 5{,}8 + 11{,}6 \cdot \sqrt{W},\ Вт\ /\ м^2 \cdot град, \qquad (4.3)$$

де

W – швидкість вітру згідно з метеорологічними даними, м / с.

Для горизонтальних зовнішніх поверхонь коефіцієнт теплообміну конвекцією визначається за залежністю (4.4):

$$\alpha = 8{,}7 + 2{,}6 \cdot W\ ,\ Вт\ /\ м^{2\cdot}\ град. \qquad (4.4)$$

Ефективність процесу передачі теплоти характеризує коефіцієнт теплопередачі К. Він оцінює кількість теплоти (ккал або кВт), яка проходить через одиницю поверхні огородження (1 $м^2$), в одиницю часу (1 год або 1 с) за перепаду температур внутрішнього і зовнішнього повітря в 1 ^0C.

Вказана величина визначається за залежністю (4.6):

$$K = 1\ /\ R_o = 1\ /\ [1\ /\ \alpha_1 + \Sigma(\delta_i\ /\ \lambda_i) + 1\ /\ \alpha_2],\ Вт\ /\ м^2 \cdot град;\ ккал\ /\ м^2 \cdot град \cdot год. \qquad (4.6)$$

Величину, обернену коефіцієнту теплопередачі К, називають термічним опором теплопередачі R_o:

$$R_o = 1\ /\ K = 1\ /\ \alpha_1 + \Sigma(\delta_i\ /\ \lambda_i) + 1\ /\ \alpha_2,\ м^2 \cdot град\ /\ Вт;\ м^2 \cdot град \cdot год\ /\ ккал. \qquad (4.7)$$

У процесі переходу теплоти з приміщення у довкілля тепловий потік послідовно долає опір теплообміну на внутрішній поверхні огородження, який визначається як $R_в = 1\ /\ \alpha_1$, термічний опір теплопровідності матеріалу по товщині огородження $R_\Sigma = \Sigma(\delta_i\ /\ \lambda_i)$ та термічний опір переходу теплоти конвекцією на зовнішній стіні огородження $R_з = 1\ /\ \alpha_2$.

Згідно з вимогами ДБН В.2.6-31:2006 «Теплова ізоляція будівель» величину α_1 для усіх будівель ВНЗ можна приймати рівною 8,7 Вт / $м^2$ · град. Значення α_2 для зовнішніх огороджень, які розділяють зовнішнє повітря з опалювальним об'ємом приміщення, приймають α_2 = 23 Вт / $м^2$ · град. Для перекриття горищ і холодних підвалів, які сполучені із зовнішнім повітрям, α_2 = 17 Вт / $м^2$ · град. Для перекриття

горища і над неопалювальними підвалами, які мають світлові прорізи у стінах, α_2 = 12 Вт / м^2 · град. Для перекриття над неопалювальними підвалами без світлових прорізів у стінах, які розташовані вище рівня землі, α_2 = 6 Вт / м^2 · град.

Загальна кількість теплоти, яка буде втрачатись огородженням будь-якої поверхні за будь-якого перепаду температур внутрішнього $t_в$ і зовнішнього $t_з$ повітря, визначається за залежністю (4.9):

$$Q = K \cdot F \cdot (t_в - t_з), \text{ Вт; ккал / год.} \qquad (4.9)$$

Тепловтрати будинком визначаються за сумою величин втрат теплоти окремими огороджувальними конструкціями з урахуванням деяких додаткових коефіцієнтів, які збільшують результат розрахунків.

Кількість градусо-діб (ГД) опалювального періоду визначають відповідно до залежності (4.10):

$$ГД = п_{оп.} \cdot (t_в - t_{сер.}), \text{ градусо-діб,} \qquad (4.10)$$

де

$п_{оп.}$ – тривалість опалювального періоду для району забудови – нормована $п_{оп.н.}$ (за даними додатку А), або дійсна $п_{оп.д.}$ (за даними обстежень відповідно до довідки місцевого осередку Гідрометеобюро, як період того чи іншого року з середньою добовою температурою зовнішнього повітря меншою або рівною +8 ^{0}С);

$t_в$ – нормована, або дійсна, усереднена в цілому по будівлі і за період спостережень температура внутрішнього повітря у будівлі, ^{0}С;

$t_{сер.}$ – середня температура зовнішнього повітря протягом опалювального періоду тривалістю $п_{оп.}$ для району забудови – нормована $t_{сер.}{}^н$ (додаток А), або дійсна $t_{сер.}{}^{д.}$ (за даними обстежень відповідно до довідки місцевого осередку Гідрометеобюро).

Величину необхідного опору теплопередачі додаткового утеплення огороджувальних конструкцій $R_{дод.}$ для досягнення їх нормованих теплозахисних характеристик визначають за різницею нормованої мінімальної $R_{мін.}$ та дійсної на час проведення обстежень будинку R_o величин опору теплопередачі огороджень:

$$R_{дод.} = R_{мін.} - R_o, \text{ м}^2 \cdot \text{град / Вт.} \qquad (4.11)$$

Величину дійсного термічного опору визначають за результатами енергетичного аудиту згідно з залежністю (4.7).

Товщину додаткового утеплювача, який необхідно нанести на огороджувальну конструкцію для досягнення сучасних вимог теплової ізоляції будівель ($\delta_{дод.}$), визначають за залежністю (4.12).

$$\delta_{дод.} = R_{дод.} \cdot \lambda_{ут.}, \qquad (4.12)$$

де

$\delta_{дод.}$ – товщина утеплювача у конструкції огородження для досягнення необхідних теплозахисних характеристик огородження, м;

$\lambda_{ут.}$ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу утеплювача у Вт / м · град визначається залежно від прийнятого виду утеплювача (додаток И).

У якості утеплювача можна використати різноманітні теплоізоляційні матеріали: пінополіуретанове покриття з коефіцієнтом теплопровідності до $\lambda_{ут.}$ = 0,05 Вт / м · град або жорсткі мінеральні плити з коефіцієнтом теплопровідності $\lambda_{ут.}$ = 0,1…0,15 Вт / м · град, які необхідно захищати додатковим шаром гідроізоляції.

Задачі з розв'язанням.

Задача 1. Визначити втрату теплоти цегляною стінкою із порожнистої керамічної цегли щільністю 1300 кг / м^3 завдовжки 5 м, заввишки 3 м і завтовшки δ = 250 мм та щільність теплового потоку для неї, якщо на поверхнях стіни підтримувались температури $t_{ст.1}$ = 17 ^{0}C і $t_{ст.2}$ = -20 ^{0}C. Визначити величину термічного опору теплопровідності стіни R.

Розв'язання.

1. Визначаємо за даними додатка И величину коефіцієнта теплопровідності червоної цегли λ = 0,58 Вт / м · град в умовах експлуатації «Б».

2. Згідно з рівнянням (4.2), наведеним у посібнику, визначаємо кількість теплоти, яка проходить крізь шар цегли стіни площею поверхні F:

$Q_т = F \cdot \lambda \cdot (t_{ст.1} - t_{ст.2}) / \delta = 5 \cdot 3 \cdot 0{,}58 \cdot (17 + 20) / 0{,}25 = 321{,}9 / 0{,}25 =$ 2200 Вт = 2,2 кВт.

Щільність теплового потоку – це кількість теплоти, яка віднесена до 1 м^2 поверхні стіни, визначається за залежністю:

$$q = Q_т / F = 2200 / 15 = 146{,}7 \text{ Вт / м}^2. \quad (4.13)$$

3.Термічний опір теплопровідності стінки із керамічної цегли завтовшки 0,25 м визначається згідно із залежністю:

$$R = \delta / \lambda = 0{,}25 / 0{,}58 = 0{,}43 \text{ м}^2 \cdot \text{град / Вт}. \quad (4.14)$$

Задача 2. Визначити щільність теплового потоку і кількість теплоти, яка проходить крізь панель стіни завтовшки δ_1 = 0,2 м, заввишки H = 3,5 м і завдовжки L = 6 м із керамзитобетону щільністю 1600 кг / м^3. Із зовнішньої сторони панель покрито утеплювачем – мінераловатними плитами щільністю 300 кг / м^3 завтовшки δ_2 = 0,1 м і декоративно-захисним покриттям. Температура зовнішньої поверхні конструкції становить $t_{ст.3}$ = -15 ^{0}C, температура внутрішньої поверхні стіни $t_{ст.1}$ = 19 ^{0}C. Вологісні умови експлуатації матеріалу – «Б». Визначити температуру на зовнішній поверхні панелі $t_{ст.2}$ (під утеплювачем). Щільність теплового потоку розрахувати для панелі до і після утеплення. Термічним опором захисного покриття знехтувати.

Розв'язання.

1. Визначаємо за даними додатка И величини коефіцієнтів теплопровідності матеріалів окремих шарів конструкції огородження:

– для керамзитобетону щільністю 1600 кг / м^3 λ_1 = 0,79 Вт / м · град;

– для мінераловатних плит щільністю 300 кг / м^3 λ_2 = 0,09 Вт / м · град.

2. Визначаємо щільність теплового потоку для огороджувальної конструкції до і після утеплення:

– без шару утеплення $q_1 = (t_{ст.1} - t_{ст.3}) / (\delta_1 / \lambda_1) = (19 + 15) / (0,2 / 0,79) =$ $34 / 0,253 = 134,38$ Вт / м^2;

– з утепленням $q_2 = (t_{ст.1} - t_{ст.3}) / [(\delta_1 / \lambda_1) + (\delta_2 / \lambda_2)] = (19 + 15) / [(0,2 / 0,79) +$ $(0,1 / 0,09)] = 34 / 1,363 = 24,94$ Вт / м^2. (4.15)

3. Кількість теплоти, яка проходить теплопровідністю крізь огородження:

– без шару утеплення $Q_{т1} = F \cdot q_1 = 134,38 \cdot 3,5 \cdot 6,0 = 2821,9$ Вт;

– з утепленням $Q_{т2} = F \cdot q_2 = 24,94 \cdot 3,5 \cdot 6,0 = 523,7$ Вт.

Висновок.

У результаті нанесення шару теплової ізоляції кількість теплоти, яка проходить крізь стіну теплопровідністю, зменшились з 2821,9 Вт до 523,7 Вт – у 5,4 раза.

4. Температуру на внутрішній поверхні керамзитобетонної панелі (під ізоляцією) визначаємо за залежністю, яку можна отримати із залежності (4.15) за умови, що величина щільності теплового потоку через окремі шари огородження залишається сталою, q_2 = const.

$$t_{ст.2} = t_{ст.1} - q_2 \cdot (\delta_1 / \lambda_1) = 19 - 24,94 \cdot (0,2 / 0,79) = 19 - 6,3 = 12,7\ ^0C.$$

Задача 3. Визначити необхідну товщину стіни із керамічної порожнистої цегли для забезпечення необхідного термічного опору теплопровідності стіни на рівні 2,0 м^2 · град / Вт. Задачу розв'язати для цегли із різними значеннями вологості цегли і її коефіцієнтів теплопровідності. Значення коефіцієнтів теплопровідності прийняти згідно з даними таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Характеристика цегли залежно від її вологості

1	Вологість цегли	% мас.	0,1	0,7	1,4	4,0	9,0
2	Коефіцієнт теплопровідності λ	Вт / м · град	0,53	0,72	0,81	1,1	1,37

Примітка. Дані отримано за результатами експериментальних досліджень.

Розв'язання.

1. Величину необхідної товщини одержуємо із залежності для визначення опору теплопровідності одношарової стіни (4.14): $\delta = R \cdot \lambda$.

Для стіни з коефіцієнтом теплопровідності 0,53 Вт / м · град при вологості 0,1 % мас. необхідна товщина цегли визначається так: $\delta = R \cdot \lambda = 2,0 \cdot 0,53 = 1,06$ м. Для інших варіантів вологості цегли результати розрахунку наведено у табл. 4.2.

Таблиця 4.2

Результати розрахунку необхідної товщини стіни із керамічної цегли (необхідний термічний опір теплопровідності R = 2,0 м^2 · град / Вт)

1	Вологість цегли	% мас.	0,1	0,7	1,4	4,0	9,0
2	Коефіцієнт теплопровідності, λ	Вт / м · град	0,53	0,72	0,81	1,1	1,37
3	Необхідна товщина стінки, δ	м	1,06	1,44	1,62	2,2	2,74

Висновки.

1. Підвищення коефіцієнта теплопровідності спричиняє необхідність збільшувати потрібну для досягнення заданої величини термічного опору теплопровідності товщину стіни.

2. Забезпечення сучасних вимог до теплозахисних характеристик огороджень неможливе без використання в огороджувальних конструкціях ефективних теплоізоляційних матеріалів.

Задача 4. Визначити кількість теплоти, яка передається конвекцією із зовнішньої поверхні стіни площею поверхні F = 20 м^2 у атмосферне повітря, якщо температура на зовнішній поверхні стіни становила $t_{ст.}$ = -3 ^{0}C, температура зовнішнього повітря t_1 = -21 ^{0}C, а середня швидкість зовнішнього повітря за опалювальний період W = 4,8 м / с.

Розв'язання.

Кількість теплоти, яка передається конвекцією, визначається за формулою (4.2):

$$Q_к = \alpha \cdot F\ (t_{ст.} - t_1),\ \text{ккал /год; кВт,}$$

де

F – площа поверхні стіни, 20 м^2;

t_1 – температура повітря, яке омиває зовнішню поверхню стіни, t_1 = -21 ^{0}C;

$t_{ст.}$ – температура на зовнішній поверхні стінки, $t_{ст.}$ = -3 ^{0}C.

Коефіцієнт теплообміну на зовнішній поверхні α для вертикальних поверхонь визначаємо за залежністю (4.3):

$$\alpha = 5{,}8 + 11{,}6 \cdot \sqrt{W} = 5{,}8 + 11{,}6 \cdot W^{0,5} = 5{,}8 + 11{,}6 \cdot 4{,}8^{0,5} = 31{,}2\ \text{Вт / м}^2\cdot\ \text{град.}$$

$$Q_к = 31{,}2 \cdot 20 \cdot (-3 + 21) = 31{,}2 \cdot 20 \cdot 18 = 11232\ \text{Вт} = 11{,}32\ \text{кВт.}$$

Задача 5. Коефіцієнт тепловіддачі від поверхні горизонтальних трубопроводів системи опалення гуртожитку зовнішнім діаметром $d_з$ = 76 мм, який прокладено у неопалювальному підвалі, становить α = 6,5 Вт / м^2 · град. Визначити втрати теплоти неізольованими трубопроводами системи опалення у підвалі, якщо середня температура на поверхні подавального і зворотного трубопроводів $t_{ст.}$ = +52 ^{0}C. Загальна довжина трубопроводів, які прокладено у неопалювальному підвалі,

L = 290 м. Температуру повітря у підвалі прийняти t_1 = +6 ^{0}C. Визначити втрати теплоти після теплової ізоляції трубопроводів за умови, що середня температура на поверхні ізоляції трубопроводів зменшиться до $t_{ст.}^{із.}$ = 31 ^{0}C. Зовнішній діаметр ізоляції трубопроводів $d_{із.}$ = 100 мм.

Розв'язання.

1. Визначимо площу поверхні неізольованих трубопроводів у підвалі:

$$F = 3{,}14 \cdot d \cdot L = 3{,}14 \cdot 0{,}076 \cdot 290 = 69{,}20 \text{ м}^2 .$$

2. Визначимо кількість теплоти, яка передається конвекцією з поверхні неізольованих трубопроводів у повітря неопалювального підвалу (втрати теплоти з охолодженням води у трубопроводах):

$$Q_к = \alpha \cdot F_{із.} (t_{ст.} - t_1) = 6{,}5 \cdot 69{,}20 \cdot (52 - 6) = 20690 \text{ Вт} = 20{,}69 \text{ кВт}.$$

3. Розрахуємо втрати теплоти після нанесення теплової ізоляції на трубопроводи. Площа поверхні трубопроводів збільшиться за рахунок товщини теплової ізоляції: $F_{із.} = 3{,}14 \cdot d_{із.} \cdot L = 3{,}14 \cdot 0{,}096 \cdot 290 = 87{,}41$ м^2.

Кількість теплоти, яка передається конвекцією з поверхні ізольованих трубопроводів у повітря неопалювального підвалу (втрати теплоти з охолодженням води у трубопроводах):

$$Q_к = \alpha \cdot F (t_{ст.}^{із.} - t_1) = 6{,}5 \cdot 87{,}41 \cdot (31 - 6) = 14204 \text{ Вт} = 14{,}20 \text{ кВт}.$$

Висновок.

У результаті нанесення теплової ізоляції на трубопроводи системи опалення у неопалювальному підвалі посекундні втрати теплоти з охолодженням води зменшуються на 20,69 – 14,20 = 6,49 кВт. За умови тривалості опалювального періоду 180 діб це забезпечить річну економію теплоти у 6,49 · 180 · 24 = 28036 кВт · год, або 24,11 Гкал, що еквівалентно економії близько 4400 м^3 природного газу за опалювальний період.

Задача 6. Визначити величину коефіцієнта теплопередачі та термічного опору теплопередачі для горищного перекриття навчального корпусу Хмельницького економічного університету. За результатами проведення енергетичного аудиту було досліджено конструкцію перекриття, яка складається із таких шарів:

– залізобетонна багатопорожниста панель перекриття з термічним опором теплопровідності $R_1 = \delta_1 / \lambda_1 = 0{,}17$ м^2 · град / Вт;
– насипний керамзит середньою товщиною δ_2 = 7 см.

Визначити відповідність вказаної конструкції нормативам теплозахисних характеристик огороджень і сучасним вимогам енергозбереження. У разі необхідності визначити товщину додаткової теплової ізоляції. Визначити річну економію теплоти, яку можна отримати за рахунок підвищення термічного опору конструкції. Площу перекриття прийняти F = 1920 м^2. Визначити економічну ефективність заходу.

Розв'язання.

1. Визначаємо нормовані параметри зовнішнього повітря у холодний період року для м. Хмельницького згідно з даними додатка А або СНиП 2.01.01 – 82 «Строительная климатология и геофизика».

Розрахункова нормована температура зовнішнього повітря для систем опалення $t_з$ = -21 ^{0}С.

Нормована середня температура опалювального періоду $t_{сер.}^{н}$ = -0,5 ^{0}С.

Нормована тривалість опалювального періоду $n_{оп.н}$ = 181 доба.

2. За даними додатка И визначаємо коефіцієнт теплопровідності для керамзиту засипного щільністю 600 кг / м^3, λ_2 = 0,2 Вт / м · ^{0}С.

3. Визначимо температурну зону, до якої належить м. Хмельницький. Для цього обчислимо розрахункову нормовану кількість градусо-діб згідно з залежністю (4.10):

$$ГД = n_{оп.н.} \cdot (t_в - t_{сер.}^{н}) = 181 \cdot (20 + 0,5) = 3710 \text{ градусо-діб.}$$

Оскільки одержана кількість градусо-діб більша за 3500, то м. Хмельницький належить до 1-ї температурної зони.

4. Загальний термічний опір теплопередачі через перекриття визначимо за залежністю (4.7):

$R_o = 1 / К = (1 / \alpha_1 + \Sigma(\delta_i / \lambda_i) + 1 / \alpha_2)$, м^2 · град / Вт; м^2 · год · град / ккал,

де величина опору теплообміну на внутрішній поверхні огородження $R_в$ становить:

$$R_в = 1 / \alpha_1 = 1 / 8,7 = 0,115 \text{ м}^2 \cdot \text{град / Вт.}$$

Термічний опір переходу теплоти конвекцією на зовнішній поверхні перекриття визначається відповідно до залежності $R_з = 1 / \alpha_2 = 1 / 17$= 0,059 м^2 · град / Вт (α_2 = 17 Вт / м^2 · град, як для горищ, які сполучені із зовнішнім повітрям згідно з вимогами ДБН В.2.6-31:2006 «Теплова ізоляція будівель»).

Загальний термічний опір теплопровідності багатошарової конструкції перекриття визначається за залежністю:

$$R_\Sigma = \Sigma(\delta_i / \lambda_i) = \delta_1 / \lambda_1 + \delta_2 / \lambda_2 = 0,17 + 0,07 / 0,2 = 0,17 + 0,35 = 0,52 \text{ м}^2 \cdot \text{град / Вт.}$$

Розрахунок загального термічного опору теплопередачі:

$$R_o = (0,115 + 0,52 + 0,059) = 0,694 \text{ м}^2 \cdot \text{град / Вт.}$$

Згідно з вимогами ДБН В.2.6-31:2006 (див. додаток 3) мінімальна величина термічного опору теплопередачі для перекриття неопалювальних горищ для 1-ї температурної зони $R_{мін.}$ = 3,3 м^2 · град / Вт.

Висновок.

Умова $R_o \geq R_{мін.}$ не витримується. Фактичний термічний опір теплопередачі R_o = 0,694 м^2 · град / Вт майже у 5 разів нижчий за нормований, незважаючи на те, що у конструкції існуючого огородження є шар теплової ізоляції. Згідно з сучасними вимогами з енергозбереження існуюча теплова ізоляція (70 мм керамзиту) є далеко не достатньою для забезпечення необхідних теплозахисних характеристик перекриття.

5. Визначимо величину необхідного опору теплопередачі додаткового утеплення перекриття $R_{дод.}$ для досягнення нормованих вимог з енергозбереження. Для цього обчислимо різницю нормованої мінімальної $R_{мін.}$ та дійсної на час проведення обстежень навчального корпусу R_o величин опору теплопередачі огороджень (4.11):

$$R_{дод.} = R_{мін.} - R_o = 3{,}3 - 0{,}694 = 2{,}61 \text{ м}^2 \cdot \text{град / Вт.}$$

Товщину додаткового утеплювача, який необхідно нанести на огороджувальну конструкцію для досягнення сучасних вимог теплової ізоляції будівель $\delta_{дод.}$, визначають за залежністю (4.12):

$$\delta_{дод.} = R_{дод.} \cdot \lambda_{ут,} ,$$

де

$\delta_{дод.}$ – товщина утеплювача у конструкції огородження для досягнення необхідних теплозахисних характеристик огородження, м;

$\lambda_{ут.}$ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу утеплювача у Вт / м · град, визначається за даними додатка И залежно від прийнятого виду утеплювача. У якості такого утеплювача приймемо мати мінераловатні прошивні з коефіцієнтом теплопровідності $\lambda_{ут.}$ = 0,064 Вт / м · град.

$$\delta_{дод.} = R_{дод.} \cdot \lambda_{ут.,} = 2{,}61 \cdot 0{,}064 = 0{,}167 \text{ м.}$$

Таким чином, для досягнення необхідних, враховуючи актуальність проблеми енергозбереження теплозахисних характеристик огороджень, на перекриття потрібно нанести додатковий шар утеплювача у вигляді мінеральної вати завтовшки не менш як 20 см.

Згідно з п. 2.3 ДБН В.2.6-31:2006 у разі термомодернізації існуючих будинків величину $R_{мін.}$ дозволяється приймати з коефіцієнтом 0,8 і дещо послабити вимоги до теплозахисних характеристик огородження. Відповідно, можливим є варіант нанесення мінеральної вати завтовшки 15 см. Але при цьому, природно, кількість теплоти, яка проходитиме через перекриття, дещо збільшиться.

З огляду на незначну різницю у результатах розрахунку приймаємо товщину мінеральної вати 20 см і перевіряємо величину термічного опору теплопередачі з урахуванням додаткового шару теплової ізоляції:

$$R'_o = (1 / \alpha_1 + \delta_1 / \lambda_1 + \delta_2 / \lambda_2 + \delta_{дод.} / \lambda_{ут.} + 1 / \alpha_2) = (0{,}115 + 0{,}17 + 0{,}07 / 0{,}2 + 0{,}20 / 0{,}064 + 0{,}059) = 0{,}115 + 3{,}17 + 0{,}059 = 3{,}34 \text{ м}^2 \cdot \text{град / Вт}.$$

Умову $R'_o \geq R_{мін.}$ або 3,34 м^2 · град / Вт ≥ 3,3 м^2 · град / Вт витримано. Нормовані теплозахисні характеристики перекриття після додаткового утеплення витримано.

6. Визначаємо коефіцієнт теплопередачі перекриття до і після здійснення заходів з термомодернізації:

– до підвищення термічного опору теплопередачі перекриття:

$$K = 1 / R_o = 1 / 0{,}694 = 1{,}44 \text{ Вт / м}^2 \cdot \text{град};$$

– після нанесення додаткового шару теплової ізоляції:

$$K' = 1 / R'_o = 1 / 3{,}34 = 0{,}299 \text{ Вт / м}^2 \cdot \text{град}.$$

7. Визначаємо розрахункову кількість теплоти (за умови нормованих температур внутрішнього повітря і розрахункової температури зовнішнього повітря холодного періоду року згідно з СНиП 2.01.01-82 «Строительная климатология и геофизика»), яка проходитиме через перекриття із приміщення на горище до і після термомодернізації згідно із залежністю (4.9).

З огляду на те, що зовнішнє повітря на горищі не має безпосереднього виходу до зовнішнього повітря, величину розрахункової зимової температури зовнішнього повітря приймаємо з коефіцієнтом 0,9 (вимоги СНиП 2-3-79* «Строительная теплотехника»). Аналогічний коефіцієнт вводиться для перекриття над неопалювальними підвалами зі світловими прорізами – 0,75, а також перекриття над неопалювальними підвалами без світлових прорізів, але розташованими вище рівня землі – 0,6.

Розрахунок для перекриття до впровадження заходів із підвищення термічного опору:

$$Q = K \cdot F \cdot 0{,}9 \cdot (t_в - t_з) = 1{,}44 \cdot 1920 \cdot 0{,}9 \cdot (20 + 21) = 102021 \text{ Вт} = 102{,}02 \text{ кВт}.$$

Розрахунок втрат теплоти після впровадження заходів із підвищення теплозахисних характеристик:

$$Q' = K' \cdot F \cdot 0{,}9 \cdot (t_в - t_з) = 0{,}299 \cdot 1920 \cdot 0{,}9 \cdot (20 + 21) = 21183 \text{ Вт} = 21{,}183 \text{ кВт}.$$

8. Визначимо річні втрати теплоти через перекриття навчального корпусу для кліматичних умов м. Хмельницького до і після заходів з підвищення теплозахисних характеристик огородження.

Для цього на першому етапі необхідно визначити кількість теплоти, яка проходитиме через конструкцію перекриття за умови середньої за опалювальний період

температури зовнішнього повітря. Для цього повторимо розрахунки за залежністю (4.9) за умови $t_з = t_{сер.}^{н} = -0,5\ ^0C$:

– до утеплення перекриття:

$$Q = K \cdot F \cdot 0,9 \cdot (t_в - t_{сер.}^{н}) = 1,44 \cdot 1920 \cdot 0,9 \cdot (20 + 0,5) = 51010\ Вт = 51,01\ кВт;$$

– після утеплення:

$$Q' = K' \cdot F \cdot 0,9 \cdot (t_в - t_{сер.}^{н}) = 0,299 \cdot 1920 \cdot 0,9 \cdot (20 + 0,5) = 10592\ Вт = 10,59\ кВт.$$

Річні втрати теплоти перекриттям визначаються з урахуванням річної нормованої тривалості опалювального періоду $п_{оп.н} = 181$ доба = 4344 год.

Отже, річні втрати теплоти горищним перекриттям будуть такими:

– до реалізації заходів з утеплення:

$Q_{рік.} = Q \cdot п_{оп.н.} = 51,01 \cdot 4344 = 221587$ кВт · год = 221,6 МВт · год, що еквівалентно річним витратам газу на котельні близько 35 тис. м^3;

– після реалізації заходів з утеплення:

$Q_{рік} = Q \cdot п_{оп.н.} = 10,59 \cdot 4344 = 46003$ кВт · год = 46,0 МВт · год, що еквівалентно річним витратам газу на котельні близько 7,1 тис. м^3.

9. Економічний ефект впровадження заходів із збільшення теплозахисних характеристик перекриття визначається економією коштів, які сплачуються споживачем за теплову енергію (чинний тариф на теплову енергію для навчальних корпусів становить близько 600 грн за 1 МВт · год теплоти), або зменшенням витрат на закупівлю природного газу теплопостачальною організацією (вересневий 2010 р. тариф становить близько 1400 грн за 1000 м^3 природного газу).

Визначимо економічний ефект для споживача теплової енергії – Хмельницького економічного університету:

$$E_Q = (Q_{рік} - Q'_{рік}) \cdot T_Q = (221,6 - 46,0) \cdot 600 = 105360\ грн\ за\ рік.$$

Зниження платежів за природний газ для теплопостачальної організації становить:

$$E_B = (B_{рік} - B'_{рік}) \cdot T_B = (35 - 7,1) \cdot 1400 = 39060\ грн\ за\ рік.$$

Таким чином, зниження платежів за теплову енергію для університету за рахунок утеплення перекриття горища становитиме близько 105 тис. грн за опалювальний період.

Зниження ж річних платежів за природний газ для теплопостачальної організації становить лише 39 тис. грн за опалювальний період.

Зазначене спричинене неадекватністю тарифів на теплову енергію і на природний газ.

10. Визначимо рентабельність впровадження заходів із підвищення теплозахисних характеристик перекриття.

Загальна площа перекриття, на яку необхідно вкладати утеплювач у вигляді мінеральної вати, становить 1920 м^2. Загальний об'єм мінеральної вати за умови її товщини 0,2 м становить 1920 · 0,2 = 384 м^3.

Вартість 1 м^3 мінеральної вати коливається від 300 до 3000 грн за 1 м^3 залежно від щільності матеріалу. Таким чином, найменша вартість робіт з підвищення термічного опору перекриття, разом із вартістю матеріалу, становитиме близько I = 192 тис. грн (за умови використання мінеральної вати, яка унеможливлює вільне пересування людей по горищу. Для цього необхідне прокладання спеціальних доріжок із дошок).

Таким чином, термін окупності впровадження заходів із підвищення термічного опору перекриття горища для університету становить: T_o = I / E_Q = 192 / 105,36 = 1,8 років, що є прийнятним варіантом, оскільки вже на третій рік впровадження дасть чистий економічний ефект приблизно у 105 тис. грн. А з огляду на темпи зростання вартості теплової енергії і природного газу термін окупності заходу може суттєво зменшитись.

Задачі для самостійного розв'язання.

Задача 7. Визначити показник теплової інерції багатошарової зовнішньої стінки навчального корпусу Запорізької інженерної академії. Стінка складається із шару керамічної порожнистої цегли щільністю 1400 кг / м^3 завтовшки 0,37 м, шару утеплювача – мінерального матеріалу БЕТОЛЬ із коефіцієнтом теплопровідності 0,05 Вт / м · град і коефіцієнтом теплозасвоєння S = 2,0 , Вт / м^2 · ^{0}С, завтовшки 100 мм.

Визначити величину коефіцієнта теплопередачі і термічного опору теплопередачі такої стіни, її відповідність нормованим величинам мінімального опору теплопередачі згідно з вимогами ДБН В.2.6-31:200. Зробити висновок про необхідність додаткового утеплення стіни і якщо це необхідно – визначити потрібну товщину мінерального утеплювача. Визначити річні втрати теплоти стіною до і після нанесення додаткової теплової ізоляції, а також економічну ефективність заходів з енергозбереження.

Розмір стіни прийняти 750 м^2, стіну зорієнтовано на північ. Вартість теплоізоляційних мінеральних панелей БЕТОЛЬ – 980 грн / м^3. Вартість робіт з монтажу теплоізоляційних панелей – 80 грн на 1 м^2 поверхні стіни. Термічним опором вирівнювальної штукатурки і декоративного покриття знехтувати.

Задача 8. Визначити опір теплопередачі вертикальної цегляної зовнішньої стіни завтовшки 0,5 м. Матеріал – цегла порожниста на цементно-піщаному розчині щільністю 1800 кг / м^3. На внутрішню сторону стіни нанесено вапняно-піщану штукатурку щільністю 1600 кг / м^3 завтовшки 0,020 м. Умови експлуатації – Б. Визначити відповідність зазначеної конструкції нормативам теплозахисних характеристик огороджень і сучасним вимогам енергозбереження. У разі необхідності визначити товщину додаткової теплової ізоляції.

Задача 9. Визначити кількість теплоти, яка передається конвекцією від внутрішнього повітря з температурою t_1 = +18 ^{0}C до внутрішньої поверхні стіни площею F = 15 м^2 з температурою $t_{ст.}$ = +15 ^{0}C.

Задача 10. Коефіцієнт тепловіддачі від поверхні горизонтальних трубопроводів системи опалення гуртожитку зовнішнім діаметром $d_з$ = 100 мм, які прокладено у неопалювальному підвалі, становить α = 8,0 Вт / м^2 · град.

Визначити втрати теплоти неізольованими трубопроводами системи опалення у підвалі, якщо середня температура на поверхні подавального і зворотного трубопроводів становить $t_{ст.}$ = +46 ^{0}C. Загальна довжина трубопроводів, які прокладено у неопалювальному підвалі L = 210 м. Температуру повітря у підвалі прийняти t_1 = +3 ^{0}C. Визначити втрати теплоти після теплової ізоляції трубопроводів за умови, що середня температура на поверхні ізоляції трубопроводів зменшиться до $t_{ст.}^{із.}$ = 35 ^{0}C. Зовнішній діаметр ізоляції трубопроводів $d_{із.}$ = 150 мм.

Задача 11. Визначити річні втрати теплоти неізольованими трубопроводами теплових мереж зовнішнім діаметром 216 мм загальною протяжністю 30 м, зовнішнього надземного прокладання на території студентського містечка у м. Кіровограді. Середню за опалювальний період швидкість вітру прийняти 3 м / с. Середню температуру у подавальному і зворотному трубопроводах теплових мереж прийняти +47 ^{0}C.

Визначити втрати теплоти після теплової ізоляції трубопроводів за умови, що середня температура на поверхні ізоляції трубопроводів зменшиться до $t_{ст.}^{із.}$ = 33 ^{0}C. Зовнішній діаметр ізоляції трубопроводів $d_{із.}$ = 320 мм.

Задача 12. Здійснити побудову графіка залежності кількості градусо-діб від температури зовнішнього повітря для умов м. Кривого Рогу. Температуру внутрішнього повітря прийняти +18 ^{0}C. Повторюваність температур зовнішнього повітря прийняти згідно з даними довідника («Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей» под редакцией Манюка В.И., Стройиздат,1988).

Таблиця 4.3

Повторюваність температур зовнішнього повітря для м. Кривого Рогу

Температура зовнішнього повітря, ^{0}C	-25...-30	-20...-25	-15...-20	-10...-15	-5...-10	0...-5	+5...0	+5...+8	усього
Повторюваність температур зовнішнього повітря, год	9	38	129	239	465	1172	1540	680	4272

РОЗДІЛ 5
УМОВИ ТА ПАРАМЕТРИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ЛЮДИНИ У БУДІВЛЯХ

У таблиці 5.1 наведено значення нормованих температур для житлових приміщень та навчальних аудиторій ВНЗ.

Таблиця 5.1

Нормовані параметри мікроклімату в житлових будинках згідно з вимогами ДБН В.2.2 -2005 «Житлові будинки»

Приміщення	Нормована температура внутрішнього повітря, ^{0}C	Вимоги до повітрообміну	
		Приплив	Витяжка
Загальна кімната, спальня	+20	однократний через вікна	-
Кухня	+18	-	Не менш як 90 м^3 / год
Ванна	+25	-	25 м^3 / год
Вбиральня	+20	-	50 м^3 / год
Суміщений туалет	+25	-	50 м^3 / год

Розрахункова[1] кількість теплоти, яку необхідно витратити на нагрівання інфільтраційного повітря, визначається за формулою (5.1):

$$Q = c \cdot M \cdot (t_в - t_з), \text{ ккал / год; кВт,} \qquad (5.1)$$

де

c – масова ізобарна теплоємність повітря у діапазоні температур від -20 ^{0}C до +20 ^{0}C; за довідником c = 0,278 ккал / кг · град (1,164 кДж / кг · град);

M – масові витрати повітря (величина повітрообміну), кг / с, кг / год;

$t_в$ – температура внутрішнього повітря у будівлі у холодний період року (усереднена), ^{0}C;

$t_з$ – розрахункова температура зовнішнього повітря у холодний період року для систем опалення згідно з даними СНиП 2.01.01-82 «Строительная климатология и геофизика», ^{0}C.

Масові годинні витрати повітря M визначимо за відомою величиною об'ємних витрат V і густиною повітря $\rho_п$ = 1,29 кг / м^3 (густину повітря наведено для нормальних умов: температури повітря 0 ^{0}C під тиском 0,1 МПа):

$$M = V \cdot \rho_п, \qquad (5.2)$$

де

[1] *Розрахункова – визначена для розрахункової нормованої температури зовнішнього повітря $t_з$.*

V – об'ємні годинні витрати повітря, визначаються за відомою нормованою величиною повітрообміну в житлових приміщеннях, $м^3$ / год:

$$V = V_в \cdot z,$$

де

z – нормована кратність повітрообміну;

$V_в$ – вентильований об'єм приміщень будівлі.

Задачі з розв'язанням.

Задача 1. Визначити середню за опалювальний період температуру внутрішнього повітря у будівлі навчального корпусу Рівненського університету водного господарства та природокористування загальною площею 3600 $м^2$, якщо згідно з результатами вимірювань параметрів внутрішнього повітря на 1200 $м^2$ площі підтримувалась середня температура повітря +18,5 ^{0}C, на 800 $м^2$ – середня температура +16 ^{0}C, а на решті площі – 19,3 ^{0}C. Визначити, на яку величину змінюється розрахункова годинна і річна величина витрат теплоти на опалення будівлі навчального корпусу за умови зміни температури внутрішнього повітря на 1 ^{0}C. Об'єм будівлі за зовнішніми обмірами – 10800 $м^3$. Будівля 1980 року забудови.

Розв'язання.

1. Визначаємо нормовані параметри клімату для м. Рівне згідно з довідниковими даними (додаток А):

– розрахункова температура зовнішнього повітря холодного періоду року $t_з$ = -21 ^{0}C;

– середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період $t_{сер.}^{н}$ = -0,5 ^{0}C;

– тривалість опалювального періоду $n_{оп.н.}$ = 181 доба = 4344 год.

2. Середньозважену фактичну температуру внутрішнього повітря у будівлі протягом звітного періоду за результатами вимірювань (за шкалою Кельвіна) визначаємо згідно з залежністю (5.3):

$$T_в^{сер.} = (F_1 \cdot T_1 + F_2 \cdot T_2 + F_3 \cdot T_3) / (F_1 + F_2 + F_3), \text{ К}, \qquad (5.3)$$

де

$F_1, F_2, \ldots F_n$ – опалювальні площі з постійною середньою температурою внутрішнього повітря, $м^2$;

$T_1, T_2, \ldots T_n$ – середня температура внутрішнього повітря на відповідній опалювальній площі будівлі, К;

$T_i = t_i + 273$, де t_i – температура внутрішнього повітря на відповідній площі, ^{0}C.

Величину середньозваженої фактичної температури внутрішнього повітря у будівлі за шкалою Цельсія визначаємо згідно з залежністю: $t_в^{сер.} = T_в^{сер.} - 273$, ^{0}C.

Для умов задачі визначаємо величину середньої температури у будівлі за шкалою Кельвіна:

$$T_{в}^{сер.} = \frac{1200 \cdot (273 + 18,5) + 600 \cdot (273 + 16) + 18 \cdot (273 + 19,3)}{3600} = 291,3 \text{ K}.$$

Значення середньої температури в будівлі за шкалою Цельсія:

$$t_{в}^{сер.} = 291,3 - 273 = 18,3\ ^0\text{C}.$$

3. За даними таблиці (6.3) визначаємо питомий розрахунковий показник теплового потоку на опалення 1м^3 будівлі при перепаді температур в 1 ^{0}С:

$$q_o = 0,33 \text{ Вт / м}^3 \cdot {}^0\text{C}.$$

4. Визначаємо розрахункову величину витрат теплоти на потреби опалення навчального корпусу за залежністю (6.14):

$$Q_o = K_t \cdot q_o \cdot V_з \cdot (t_в - t_з) = 1,16 \cdot 0,33 \cdot 10800 \cdot (18,3 + 21) =$$
$$162475 \text{ ккал / год} = 189000 \text{ Вт} = 189 \text{ кВт}.$$

5. Обраховуємо середню за опалювальний період величину витрат теплової енергії на опалення:

$$Q_o^{сер.} = Q_o \cdot \frac{t_В - t_{сер.}}{t_В - t_р} = 189 \cdot \frac{18,3 + 0,5}{18,3 + 21} = 93,1 \text{ кВт}.$$

6. Визначаємо річні витрати теплоти на опалення навчального корпусу:

$$Q_{рік} = Q_o^{сер.} \cdot n_{оп.н} = 93,1 \cdot 4344 = 404426 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 404,4 \text{ МВт} \cdot \text{год}.$$

7. Визначаємо вплив зміни температури внутрішнього повітря на зміну річних витрат теплоти на потреби опалення.

Так, за умови збільшення середньої температури внутрішнього повітря на 1 ^{0}С і доведення її до величини $t'_в = t_в + 1 = 18,3 + 1 = 19,3\ ^0$С річні витрати теплоти на опалення становитимуть:

$$Q'_{рік} = Q_{рік} \cdot \frac{t'_В - t_{сер.}}{t_В - t_{сер.}} = 404,4 \cdot \frac{19,3 + 0,5}{18,3 + 0,5} = 425,9 \text{ МВт} \cdot \text{год}.$$

Висновок.

Зміна температури внутрішнього повітря у будівлі навчального корпусу на 1 ^{0}С спричиняє зміну річних витрат теплоти на опалення на 5,3 %:

$$\frac{Q'_{рік} - Q_{рік}}{Q_{рік}} \cdot 100 = \frac{425,9 - 404,4}{404,4} \cdot 100 = 5,3\ \%$$

Задача 2. Визначити розрахункові втрати теплоти з інфільтрацією у холодний період року для гуртожитку медичної академії у м. Сімферополі, внутрішнім вентильованим об'ємом $V_в$ = 15000 м^3. Температуру внутрішнього повітря прийняти $t_в$ = +20 ^{0}C.

Розв'язання.

1. Визначаємо нормовані кліматичні параметри для зазначеного регіону:
– розрахункова температура зовнішнього повітря холодного періоду року $t_з$ = -18 ^{0}C;
– середня нормована температура зовнішнього повітря за опалювальний період $t_{сер.}{}^{н}$ = +2,6 ^{0}C;
– нормована тривалість опалювального періоду $n_{оп.н.}$ = 153 доби = 3672 год.

2. Визначаємо об'єм повітря, яке повинно бути видалене із приміщень відповідно до чинних санітарно-гігієнічних норм і замінене на холодне припливне повітря, що інфільтрується через нещільності у будівельних конструкціях. Згідно з вимогами ДБН В.2.2-15-2005 «Житлові будинки. Основні положення» системою природної вентиляції гуртожитку має бути забезпечено не менш як однократний повітрообмін у приміщеннях. Годинні витрати припливного повітря визначатимуться за залежністю (5.4):

$$V = V_в \cdot z = 15000 \cdot 1 = 15000\ нм^3 / год, \qquad (5.4)$$

де z – кратність повітрообміну, z = 1;

3. Визначаємо масові годинні витрати повітря за залежністю:

$$M = V \cdot \rho_{пов.} = 15000 \cdot 1,29 = 19350\ кг / год, \qquad (5.5)$$

де $\rho_{пов.}$ – густина повітря за нормальних умов, кг / нм^3.

4. Розрахункові витрати теплоти на нагрівання інфільтраційного повітря визначаються за залежністю (5.1):

$$Q = c \cdot M \cdot (t_в - t_з) = 1,164 \cdot 19350 \cdot (20 + 18) = 855889\ кДж / год = 237,7\ кДж / с = 237\ кВт,$$

де c – масова ізобарна теплоємність повітря, кДж / кг.

Річні витрати теплоти на інфільтрацію (на нагрівання зовнішнього припливного повітря) визначаються за залежністю:

$$Q_{рік} = Q \cdot \frac{t_в - t_{сер.}}{t_в - t_з} \cdot n_{оп.п.} = \left[237{,}7 \cdot \frac{20 - 2{,}6}{20 + 18} \right] \cdot 3672 = 399514 \text{ кВт} \cdot \text{год} =$$

$$399{,}514 \text{ МВт} \cdot \text{год} = 343{,}6 \text{ Гкал.}$$

Ця величина еквівалентна теплоті, що утворюється під час спалювання близько 62080 нм^3 природного газу.

Висновок.

Річні втрати теплоти через інфільтрацію для гуртожитку ВНЗ становлять близько 399 МВт · год або 344 Гкал, що еквівалентно річним витратами природного газу на котельні близько 62 тис. нм^3.

Задача 3. Визначити зменшення розрахункових витрат теплоти на нагрівання інфільтраційного повітря після заміни 40 вікон у дерев'яних рамах з одинарним засклення на вікна з подвійним засклення у спарених рамах. Місце будівництва – м. Дніпропетровськ. Довжина притулу одного вікна становить 8 м. Температуру внутрішнього повітря прийняти $t_в$ = +18 ^{0}С. Швидкість вітру прийняти 3 м / с.

Розв'язання.

1. Визначаємо кліматичні нормовані параметри для зазначеного регіону:
– розрахункова температура зовнішнього повітря холодного періоду року $t_з$ = -24 ^{0}С;
– середня нормована температура зовнішнього повітря за опалювальний період $t_{сер.}{}^{н}$ = -0,6 ^{0}С;
– нормована тривалість опалювального періоду $n_{оп.н.}$ = 172 доби = 4128 год.
2. Визначаємо кількість повітря, що інфільтрується через вікна:

$$M = n_{вік.} \cdot m \cdot l_{пр.}, \qquad (5.6)$$

де

$n_{вік.}$ – кількість вікон;

m – кількість повітря, яке інфільтрується через нещільності вікон, у кг / год на 1 м притулу (див. довідникові дані);

$l_{пр.}$ – довжина притулу одного вікна, м.

Для одинарного засклення: M = 40 · 11,2 · 8 = 3584 кг / год;

для подвійного засклення: M' = 40 · 5,6 · 8 = 1792 кг / год.

3. Визначаємо розрахункові витрати теплоти на нагрівання інфільтраційного повітря за формулою (5.1):
– для одинарного засклення:

$$Q = c \cdot M \cdot (t_в - t_з) = 1{,}164 \cdot 3584 \cdot (18 + 24) = 175214 \text{ кДж / год} = 48{,}7 \text{ кВт;}$$

– для подвійного засклення:

$$Q' = c \cdot M' \cdot (t_в - t_з) = 1{,}164 \cdot 3584 \cdot (18 + 24) = 87607 \text{ кДж / год} = 24{,}3 \text{ кВт}.$$

4. Зменшення розрахункових витрат теплоти на нагрівання інфільтраційного повітря після заміни вікон:

$$Q - Q' = 48{,}7 - 24{,}3 = 24{,}3 \text{ кВт}.$$

Висновок.

Заміна вікон з одинарним заскленням у дерев'яних рамах на вікна з подвійним заскленням зменшує розрахункові витрати теплоти на нагрівання інфільтраційного повітря на 24,3 кВт.

Задача 4. Визначити величину енергозберігального ефекту від заміни вікон у будівлі навчального корпусу Черкаського національного університету. Вентильований об'єм приміщень будівлі прийняти 6000 м^3. Загальна кількість замінених вікон становить 199 шт., їх загальна площа поверхні – 300 м^2. Прийняти, що замінені вікна з подвійними розділеними притулами мали термічний опір R = 0,4 м^2 · град / Вт і середній розмір нещільностей становив не більш як 0,001 м по усій довжині притулів. Припливна система вентиляції у навчальному корпусі відсутня. Вентиляція природна за рахунок інфільтрації.

Розв'язання.

1. Визначаємо розрахункові параметри зовнішнього повітря холодного періоду року для умов м. Черкаси (додаток А):

– розрахункова температура зовнішнього повітря для систем опалення $t_з$ = -21 ^{0}C;
– середня нормована температура опалювального періоду $t_{сер.}{}^{н}$ = -0,8 ^{0}C;
– нормована тривалість опалювального періоду $n_{оп.н.}$ = 177 діб = 4248 год.

2. Визначаємо нормовані середні параметри внутрішнього повітря в аудиторіях ВНЗ за даними ДБН В.2.2-3-97 «Будинки та споруди навчальних закладів». Температура внутрішнього повітря $t_в$ = +18 ^{0}C.

3. Визначаємо трансмісійні розрахункові витрати теплоти через вікна за відомими величинами термічних опорів теплопередачі для вікон. Нормовану величину термічного опору теплопередачі для вікон після їх заміни визначаємо згідно із даними таблиці (додаток К) посібника «Енергозбереження в університетських містечках». Місто Черкаси належить до 1-ї температурної зони України. Величина термічного опору для вікон у 1-й температурній зоні з 2006 року не повинна бути меншою за величину R = 0,5 м^2 · град / Вт.

За відомою величиною термічного опору теплопередачі визначаємо коефіцієнт теплопередачі вікон до і після здійснення заходів з їх заміни:

– до підвищення термічного опору теплопередачі вікон:

$$K = 1 / R_o = 1 / 0{,}42 = 2{,}38 \text{ Вт / м}^2 \cdot \text{град};$$

– після заміни вікон:

$$K' = 1 / R'_o = 1 / 0,5 = 2,0 \text{ Вт / м}^2 \cdot \text{град.}$$

Трансмісійні розрахункові втрати теплоти через світлопрозорі прорізи до впровадження заходів із підвищення термічного опору визначаються згідно з залежністю (4.9):

$$Q = K \cdot F \cdot (t_в - t_з) = 2,38 \cdot 300 \cdot (18 + 21) = 27846 \text{ Вт} = 27,846 \text{ кВт.}$$

Розрахунок втрат теплоти після впровадження заходів із підвищення теплозахисних характеристик відбувається у такий спосіб:

$$Q' = K' \cdot F \cdot (t_в - t_з) = 2,0 \cdot 300 \cdot (18 + 21) = 23400 \text{ Вт} = 23,400 \text{ кВт.}$$

4. Визначимо річні трансмісійні втрати теплоти через вікна навчального корпусу для кліматичних умов м. Черкаси до і після заходів із заміни вікон. Для цього на першому етапі необхідно визначити кількість теплоти, яка буде проходити через вікна за умови нормованої середньої за опалювальний період температури зовнішнього повітря. Для цього повторимо розрахунки за залежністю (4.9) за умови $t_з = t_{сер.}^{н} = -0,5\ ^0C$:

– для наявних вікон:

$$Q = K \cdot F \cdot (t_в - t_{сер.}^{н}) = 2,38 \cdot 300 \cdot (18 + 0,5) = 13209 \text{ Вт} = 13,209 \text{ кВт;}$$

– для вікон після реконструкції:

$$Q' = K' \cdot F \cdot (t_в - t_{сер.}^{н}) = 2,0 \cdot 300 \cdot (18 + 0,5) = 11100 \text{ Вт} = 11,1 \text{ кВт.}$$

Річні втрати теплоти через вікна визначаються з урахуванням річної нормованої тривалості опалювального періоду $n_{оп.н} = 177$ діб = 4248 год.

Отже, річні втрати теплоти через вікна навчального корпусу ВНЗ будуть такими:

– до реалізації заходів із заміни вікон:

$$Q_{рік} = Q \cdot n_{оп.н} = 13,209 \cdot 4248 = 56112 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 56,112 \text{ МВт} \cdot \text{год,}$$

що еквівалентно річним витратам газу на котельні близько 8,72 тис. м^3;

– після реалізації заходів із заміни вікон:

$$Q'_{рік} = Q' \cdot n_{оп.н} = 11,1 \cdot 4248 = 47152 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 47,152 \text{ МВт} \cdot \text{год,}$$

що еквівалентно річним витратам газу на котельні близько 7,33 тис. м^3 (втрати теплоти від котельні до споживача прийнято рівними 35 % теплоти, яка підведена з паливом).

Висновок.

Заміна вікон з досягненням мінімальної величини термічного опору теплопередачі згідно з вимогами ДБН В.2.6-31-2006 дає можливість зменшити річні трансмісійні втрати теплоти через вікна з 56,1 до 47,1 МВт · год, що становить 9 МВт · год (16 % втрат теплоти через вікна на теперішній стан).

5. Крім зменшення трансмісійних втрат теплоти будуть зменшуватись і втрати теплоти з інфільтрацією. Для оцінки вказаної складової втрат теплоти визначимо кількість зовнішнього повітря, яке повинно інфільтруватись через світлопрозорі огородження. Як мінімально можливу приймемо величину об'ємних витрат інфільтрованого повітря рівну однократному повітрообміну у будівлі згідно з вимогами ДБН В.2.2-3-97 «Будинки та споруди навчальних закладів». Тоді об'ємні годинні витрати повітря визначаються за залежністю: $V = V_в \cdot z$, де z – нормована кратність повітрообміну, z = 1. Величина об'єму вентильованих приміщень навчального корпусу приймається згідно з умовами задачі $V_в$ = 6000 м^3. Об'ємні годинні витрати повітря:

$$V = V_в \cdot z = 6000 \text{ м}^3 / \text{год} = 6000 / 3600 = 1{,}66 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

Масові витрати повітря визначаються згідно із залежністю (5.2) з урахуванням густини повітря $p_п$ = 1,29 кг / м^3:

$$M = V \cdot p_п = 1{,}66 \cdot 1{,}29 = 2{,}14 \text{ кг / с}.$$

Такі мінімальні масові витрати повітря необхідно мати у приміщенні навчального корпусу для забезпечення нормованих параметрів внутрішнього повітря у розрізі вентиляційних вимог.

6. Визначимо кількість повітря, яке надходить через світлопрозорі прорізи на теперішній стан. Для цього скористаємося таблицею 5.4 посібника, яка дає можливість визначити усереднену кількість повітря, яке надходить через вікна залежно від температури зовнішнього повітря. Для подвійних неущільнених вікон з одинарною площею 2,21 м^2 розрахункова кількість повітря, яке надходить через нещільності при розрахунковій температурі зовнішнього повітря холодного періоду року, становитиме близько 29,6 · 2,21 = 65,42 кг / год = 0,018 кг / с для одного вікна. Для 199 вікон будівлі витрати інфільтрованого повітря становитимуть 0,018 · 199 = 2,45 кг / с, що на 14 % перевищує нормований повітрообмін і спричиняє підвищені втрати теплоти.

7. Визначимо втрати теплоти з інфільтрацією через вікна на теперішній стан і після їх заміни. Витрати теплоти на нагрівання інфільтраційного повітря визначаємо для середньої протягом опалювального періоду температури зовнішнього повітря $t_{сер.}^{н}$ згідно із залежністю (5.1):

– для наявних вікон:

$$Q = c \cdot M \cdot (t_в - t_{сер.}^{н}) = 1{,}164 \cdot 2{,}39 \cdot (18 + 0{,}8) = 52{,}3 \text{ кВт};$$

– для вікон після їх заміни з урахуванням забезпечення нормованої інфільтрації:

$$Q' = c \cdot M' \cdot (t_в - t_{сер.}^н) = 1{,}164 \cdot 2{,}14 \cdot (18 + 0{,}8) =$$
$$87607 \text{ кДж / год} = 46{,}8 \text{ кВт.}$$

Зменшення середньорічних витрат теплоти становить Q - Q' = 52,3 – 46,8 = 5,5 кВт.

Визначимо річну економію теплоти, спричинену зменшенням витрат теплової енергії на нагрівання інфільтраційного повітря:

$$\Delta Q_{рік.} = (Q - Q') \cdot n_{оп.н} = 5{,}5 \cdot 4248 = 23364 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 23{,}364 \text{ МВт} \cdot \text{год.}$$

Висновок.

Річна економія теплоти за рахунок скорочення інфільтраційних втрат теплоти становить 23,364 МВт · год, що у 3 рази більше порівняно з економією трансмісійних втрат теплоти через вікна.

Загальна річна економія теплоти внаслідок упровадження заходу із заміни 135 вікон навчального корпусу ВНЗ у м. Черкаси становить 28,8 + 9,0 = 37,8 МВт · год.

Орієнтовна величина загальних річних витрат теплоти на потреби опалення для такої будівлі забудови до 2006 року становить близько 680 МВт · год. Отже, частка економії теплоти за рахунок зменшення втрат на світлопрозорих огородженнях становить близько 5,5 % загальних витрат теплоти на потреби опалення за умови забезпечення вентиляційних нормативів внутрішнього повітря.

Задачі для самостійного розв'язання.

Задача 5. Визначити розрахункові втрати теплоти з інфільтрацією через вхідні двері, виходячи із розмірів дверей 2,4 м (висота), 1,5 м (ширина) для будинку, збудованого у м. Херсоні до 1980 р. Порівняти одержану величину з розрахунковими втратами теплоти інфільтрацією для будинку 2009 р. забудови. Нормативні величини повітропроникності для такого будинку прийняти згідно з даними таблиці 5.3 посібника. Порівняти результати розрахунків, зробити висновки.

Задача 6. Визначити енергозберігальний річний ефект ущільнення за допомогою пористої резини вікон в дерев'яних рамах з подвійними розділеними притулами і з термічним опором R = 0,42 м^2 · град / Вт. Для розрахунку прийняти, що ущільнення буде виконане для 150 вікон розміром 1,7 · 1,3 (м^2) у будівлі гуртожитку Київської академії водного транспорту.

Система освітлення будівлі. Умови комфортного освітлення у приміщенні

Освітлення у приміщеннях характеризується низкою кількісних показників.

До основних належать: світловий потік, сила світла, яскравість та освітленість.

Світловий потік Ф — це фізична величина, яка чисельно дорівнює кількості оцінюваної за зоровим відчуттям світлової енергії W, що падає на поверхню за одиницю часу t:

$$\Phi = W / t. \quad (5.7)$$

Світловий потік створюється джерелом світла. Одиницею світлового потоку є люмен (лм) — світловий потік від еталонного точкового джерела силою світла в одну канделу (міжнародну свічку), розташованого у вершині тілесного кута в 1 стерадіан (ср).

Джерело світла вважається точковим, якщо його розмірами можна знехтувати порівняно з відстанню, на якій оцінюється його дія.

Сила світла I — це фізична величина, що визначається відношенням світлового потоку Ф до тілесного кута ω, в межах якого світловий потік рівномірно розподіляється:

$$I = \Phi / \omega. \quad (5.8)$$

Оскільки повний тілесний кут дорівнює 4π ср, то силу світла точкового джерела визначають за залежністю

$$I = \Phi / 4\pi. \quad (5.9)$$

За одиницю сили світла прийнята кандела (кд) — сила світла точкового джерела, що випромінює світловий потік в 1 лм, який рівномірно розподіляється всередині тілесного кута в 1 стерадіан.

Яскравість B — визначається як відношення сили світла I, що випромінюється елементом поверхні в даному напрямку, до площі S цього елементу поверхні:

$$B = I / S \cdot \cos \alpha, \quad (5.10)$$

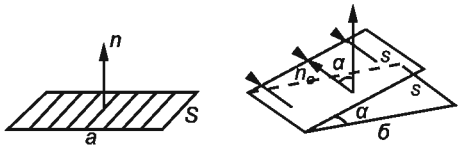
де α — кут між нормаллю до елемента поверхні S і напрямком, для якого визначається яскравість.

Одиницею яскравості є кд / м^2 або ніт (нт). 1 нт — яскравість плаского поверхні, яка випромінює в перпендикулярному напрямі з кожного квадратного метра світло силою в 1 канделу.

Освітленість E — фізична величина, яка чисельно дорівнює світловому потоку Ф, що падає на одиницю освітленої поверхні S:

$$E = \Phi / S. \quad (5.11)$$

За одиницю освітленості прийнято люкс (лк) — рівень освітленості поверхні площею 1 м^2, на яку падає рівномірно розподіляючись світловий потік в 1 люмен.



Освітленість поверхні залежить від сили світла джерела, від відстані між джерелом світла і освітлюваною поверхнею та від положення цієї поверхні щодо падаючих променів світла. Звичайне положення поверхні S у просторі задається. положенням вектора нормалі n до неї (рис. а). Якщо положення поверхні в просторі змінюється, то відповідно змінюється в просторі орієнтація вектора нормалі. Якщо поверхня сферична, то напрям вектора нормалі в будь-якій точці співпадає з напрямом радіус-вектора, проведеного в дану точку.

Перший закон освітленості полягає у такому: освітленість в кожній точці поверхні, на яку перпендикулярно їй падає світло, прямо пропорційна силі світла джерела і обернено пропорційна квадрату відстані від джерела світла до освітлюваної поверхні:

$$E = I / r^2. \qquad (5.12)$$

Припустимо, що поверхня *S* довільним чином орієнтована в просторі. Нехай вектор нормалі до неї n і падаючі світлові промені утворюють кут α (рис. б).

Розглянемо проекцію майданчика площею S на площину, перпендикулярну напряму розповсюдження світлових променів. Площа цієї проекції визначиться по формулі $S_0 = S \cdot \cos\alpha$, де α кут між n і n_0; n_0 – вектор нормалі до S_0. Як випливає з рис. б, кут між нормалями до площин дорівнює куту між площинами (кути з взаємно перпендикулярними сторонами). На майданчик S падає світловий потік $\Phi = S \cdot E$, де E – освітленість майданчика S, а на майданчик S_0 – світловий потік $\Phi = E_0 \cdot S_0$ або $\Phi = E_0 \cdot S \cdot \cos\alpha$, де E_0 – освітленість майданчика S_0. Оскільки на майданчик S і на його проекцію S_0 падає один і той же світловий потік Ф, маємо $E \cdot S = E_0 \cdot S_0 \cdot \cos\alpha$. Звідси випливає, що $E = E_0 \cdot \cos\alpha$.

Таким чином, другий закон освітленості формулюється у такий спосіб: освітленість поверхні, що створюється паралельними променями, пропорційна косинусу кута падіння променів, тобто:

$$E = E_0 \cdot \cos\alpha. \qquad (5.13)$$

Значення E_0 можна визначити за формулою (5.12), оскільки майданчик S_0 розташований перпендикулярно світловим променям, що падають. Підставивши (5.12) в (5.13), отримаємо формулу, що об'єднує перший і другий закони освітленості:

$$E = I \cdot \cos\alpha / r^2. \qquad (5.14)$$

Освітленість – величина скалярна, тому у випадку, коли світло на поверхню падає від декількох джерел, освітленість в кожній точці поверхні дорівнює арифметичній сумі освітленостей, що створюються в цій точці кожним з джерел окремо.

Задачі з розв'язанням.

Задача 1. Лампочка потужністю P = 75 Вт, створює на відстані r = 3 м за нормального падіння променів освітленість E = 8 лк. Визначте питому потужність p лампочки (у ватах на канделу) і світлову віддачу з лампочки (у люменах на ват).

Розв'язання.

Освітленість поверхні залежить від сили світла джерела, відстані між джерелом світла і освітлюваною поверхнею та від положення цієї поверхні щодо падаючих променів світла:

$$E = I \cdot \cos\alpha / r^2 . \text{ Оскільки } \alpha = 0, \text{ то } \cos\alpha = 1.$$

Відповідно, формула для розрахунку освітленості приймає вигляд:

$$E = I / r^2 .$$

Звідси визначаємо силу світла:

$$I = E \cdot r^2 .$$

Тоді питома потужність p лампочки:

$$p = P / I = P/ E \cdot r^2 = 75 / 8 \cdot 3^2 = 1{,}04 \text{ Вт/ кд.}$$

Світловий потік Ф визначається за залежністю:

$$\Phi = 4\pi \cdot I = 4\pi \cdot E \cdot r^2 .$$

Тоді світлова віддача $\eta = \Phi / P = 4\pi \cdot E \cdot r^2 / P = 4 \cdot 3{,}14 \cdot 8 \cdot 3^2 / 75 =$ 12,1 лм /Вт.

Задача 2. Світильник з молочного скла має форму кулі. Він підвішений на висоті h =1 м над центром круглого столу діаметром d = 2 м. Сила світла I = 50 кд. Визначити світловий потік Ф лампи, освітленість в центрі E_1 та на краю столу E_2 .

Розв'язання.

Світловий потік, що випромінюється джерелом світла силою I визначається таким чином:

$$\Phi = 4\pi \cdot I = 4 \cdot 3{,}14 \cdot 50 = 628 \text{ лм.}$$

Освітленість E_1 в центрі столу визначається за формулою;

$$E_1 = I / h^2.$$

Освітленість E_2 на краю столу:

$$E_2 = I \cdot \cos \alpha / r^2 ,$$

де
$r = [h^2 + (d / 2)^2]^{1/2}$;
$\cos \alpha = h / r$.
Тому $E_2 = I \cdot h / [h^2 + (d / 2)^2]^{3/2} = 50 \cdot 1/ [1^2 + (2 / 1)^2]^{3/2} = 1{,}77$ лк.

Задачі для самостійного розв'язання.

Задача 3. Після вивчення теми «Освітленість» студенти вирішили збільшити освітленість свого робочого місця:

– Микола замінив лампочку у своїй настільній лампі на лампочку більшої потужності;
– Тетяна поставила ще одну настільну лампу;
– Олесь підняв люстру, що висіла над його столом, вище;
– Михайло розташував настільну лампу таким чином, що світло почало падати практично перпендикулярно до столу.

Хто зі студентів зробив правильно? Обґрунтуйте відповідь.

Задача 4. Світло від електричної лампочки в 200 кд падає під кутом 45 ^{0} на робоче місце, його освітленість 141 лк. Знайти:

1) на якій відстані від робочого місця знаходиться лампочка;
2) на якій висоті від робочого місця вона висить.

Задача 5. Освітленість книги при читанні повинна бути 100 лк. Визначте необхідну силу світла електричної лампочки, якщо вона висить на висоті 50 см над робочим місцем.

Задача 6. Однорідна куля і куб однакової маси з одного і того ж матеріалу випромінюють з постійною яскравістю по всій поверхні. Яке тіло має більшу середню силу світла?

РОЗДІЛ 6
ЖИТЛОВИЙ БУДИНОК (ГУРТОЖИТОК) ЯК ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ ПОДАЧІ ТА СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГІЇ

Тепловий баланс годинних витрат теплоти для будинку записують так:

$$Q_{оп.} = (Q_{транс.} + Q_{інф.}) - [Q_{гв}^{тр.} + (Q_{вент.}^{тр.} + Q_{вент.}) + Q_{осв.} + Q_{сон.} + Q_{ел.обл.} + Q_{техн.} + Q_{люд.} + Q_{вн.огор.} + Q_{інші}], \text{ ккал / год; кДж / год; кВт,} \quad (6.1)$$

де

$Q_{оп.}$ – надходження теплоти від системи опалення (розрахункове теплове навантаження на систему опалення);

$Q_{гв}^{тр.}$ – надходження теплоти від неізольованих трубопроводів системи гарячого водопостачання, які прокладено у приміщеннях будівлі (з урахуванням циркуляційних трубопроводів);

$Q_{вент.}^{тр.}$ – надходження теплоти від неізольованих повітропроводів та обладнання системи вентиляції і кондиціювання повітря;

$Q_{вент.}$ – надходження теплоти з повітрям систем припливної вентиляції або кондиціювання;

$Q_{осв.}$ – надходження теплоти від систем штучного освітлення приміщень будівлі;

$Q_{сон.}$ – надходження теплоти від сонячної радіації через світлопрозорі прорізи і огородження будівлі;

$Q_{ел.обл.}$ – надходження теплоти від електрообладнання при переході механічної і електричної енергії у теплову;

$Q_{техн.}$ – теплонадходження від нагрітого технологічного обладнання і матеріалів;

$Q_{люд.}$ – теплонадходження від людей;

$Q_{вн.огор.}$ – теплонадходження через огороджувальні конструкції суміжних приміщень (через внутрішні огородження);

$Q_{інші}$ – інші теплонадходження, залежно від призначення будівлі;

$Q_{транс.}$ – втрати теплоти через огороджувальні конструкції приміщень (трансмісійні втрати теплоти);

$Q_{інф.}$ – втрати теплоти на нагрівання зовнішнього повітря, яке інфільтрується у приміщення будівлі через двері, вікна та інші нещільності в огородженнях будівлі.

Визначення складових теплового балансу здійснюється розрахунковим методом у ході проведення обстеження приміщень будинку. Для цього необхідно здійснити збір усіх потрібних для виконання таких розрахунків даних.

Величину теплонадходжень від системи освітлення визначають згідно з залежністю (6.2):

$$Q_{осв.} = к \cdot N_{ел.}, \text{ Вт; кВт,} \quad (6.2)$$

де

$N_{ел.}$ – визначена потужність освітлювального обладнання у приміщенні, Вт, кВт;

к – загальний коефіцієнт, який враховує фактичне використання потужності

($к_1$ = 0,7…0,9), завантаження ($к_2$ = 0,5…0,8), одночасність роботи декількох приладів ($к_3$ = 0,5…1,0), частку переходу електричної енергії у теплову ($к_4$ = 0,15…0,95). Для ламп розжарювання $к_4$ = 0,95, для люмінесцентних ламп $к_4$ = 0,2…0,5.

Тепловиділення від нагрітих поверхонь $Q_{техн.}$ трубопроводів та іншого обладнання можна розраховувати за залежністю (6.3):

$$Q_{техн.} = \sum[S \cdot \alpha \cdot (t_{сер.} - t_в)], \text{ Вт; кВт,} \qquad (6.3)$$

де

S – площа поверхні з температурою, більшою за температуру внутрішнього повітря, м^2;

α – сумарний коефіцієнт конвективно-променевого теплообміну від нагрітої поверхні до внутрішнього повітря, Вт / м^2 · град або ккал / м^2 · град · год; визначається за залежностями (4.3) та (4.4). Питома тепловіддача (Вт / м^2) поверхні, нагрітої до 30 ^{0}С, становить 33 / 29; до 50 ^{0}С – 230 / 200; до 100 ^{0}С – 790 / 730 (в чисельнику для горизонтальної поверхні, у знаменнику – для вертикальної);

$t_{сер.}$ – середня температура нагрітої поверхні, визначається методом безпосередніх вимірювань у ході обстежень, ^{0}С;

$t_в$ – температура внутрішнього повітря, ^{0}С.

За невідомої величини температури на поверхні нагрітого обладнання $t_{сер.}$ величину теплонадходжень від трубопроводів з гарячим теплоносієм можна визначити згідно з залежністю (6.4), для обрахунків за якою достатньо мати інформацію про матеріал і характеристики теплової ізоляції на поверхні трубопроводів, середню температуру теплоносія, який рухається у трубопроводі; довжину трубопроводу L у м, і величину q_l – питомі втрати теплоти одним метром трубопроводу. Для трубопроводів з гарячою водою величину тепловіддачі одного метра неізольованих трубопроводів q_l у Вт на м наведено у довідниковому виданні (Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства. Ч.1. Отопление. Под редакцией И.Г. Староверова, с. 264). Величину тепловіддачі ізольованих трубопроводів наведено на с. 268 цього довідника. Деякі дані для визначення величини q_l для температур теплоносія, відмінних від наведених у довіднику, можна знайти у збірнику задач (додаток Д).

Визначення величини тепловиділення від нагрітих трубопроводів здійснюється згідно з залежністю:

$$Q_{техн.} = \Sigma L \cdot q_l, \text{ Вт.} \quad (6.4)$$

Розрахунки здійснюють окремо для трубопроводів різних діаметрів, після цього остаточний результат визначають за сумою втрат теплоти по окремих діаметрах.

Для визначення величини питомих втрат теплоти q_l одним метром довжини ізольованого або неізольованого трубопроводу необхідно вказану у таблиці додатка Д величину лінійного коефіцієнта теплопередачі помножити на різницю між середньою температурою теплоносія у трубопроводі $t_{сер.}$ і середньою температурою зовнішнього повітря приміщення $t_з$, у якому прокладено трубопровід:

$$q_l = K_l \cdot (t_{сер.} - t_з),\ Вт / м. \qquad (6.5)$$

Тепловідділення від електричного обладнання $Q_{ел.обл.}$ визначається за залежністю (6.6):

$$Q_{ел.обл.} = N \cdot \mu_1 \cdot \mu_2 \cdot \mu_3 \cdot \mu_4,\ Вт;\ кВт, \qquad (6.6)$$

де

N – встановлена потужність електродвигунів, кВт;

μ_1 – коефіцієнт використання встановленої потужності електродвигунів для насосних та інших агрегатів μ_1 = 0,7...0,9;

μ_2 – коефіцієнт завантаження, μ_2 = 0,5...0,8;

μ_3 – коефіцієнт одночасності роботи електродвигунів, μ_3 = 0,5...1,0 (приймається за результатами обстеження);

μ_4 – коефіцієнт переходу теплоти у приміщення (для електродвигунів насосів, вентиляторів, ліфтів μ_4 = 0,1...0,2).

Визначення теплонадходження від сонячної радіації для перекриття будівлі можна здійснювати за такою орієнтовною залежністю:

$$Q_{сон.1} = 1{,}16 \cdot S_{пер.} \cdot q_{пер.} \cdot K_{пер.},\ Вт, \qquad (6.7)$$

де

$S_{пер.}$ – поверхня перекриття в м^2;

$q_{пер.}$ – питомий тепловий потік сонячної радіації через перекриття (для приміщень верхнього поверху) у ккал / м^2 · год, залежно від географічної широти.

Для плаского безгорищного перекриття для широти 35 ° $q_{пер.}$ = 20 ккал / м^2 · год, для широти 45 ° – 18 ккал / м^2 · год; для широти 55 ° – 12 ккал / м^2 · год. Для покриття з горищем для усіх широт – 5 ккал / м^2 · год;

$K_{пер.}$ – коефіцієнт теплопередачі перекриття, приймається за результатами обстеження огороджувальних конструкцій будівлі.

Визначення надходження теплоти від сонячної радіації можна зробити за формулою:

$$Q_{сон.2} = 1{,}16 \cdot S_{ост.} \cdot q_{ост.} \cdot K_{ост.},\ ккал / год;\ кВт,$$

де

$S_{ост.}$ – площа поверхні засклених огороджень, в м^2;

$q_{ост.}$ – питомий тепловий потік сонячної радіації через заскління, в ккал / м^2 · год, залежно від географічної широти, приймається за даними табл. 6.1 (Рысин С.А. Вентиляционные установки машиностроительных заводов. Справочник. – М., 1961);

$K_{ост.}$ – коефіцієнт, який залежить від характеристики заскління: для подвійного заскління в одній рамі $K_{ост.}$ = 1,15; для одинарного заскління – 1,45; за звичайного забруднення скла коефіцієнт дорівнює 0,8; для сильного забруднення – 0,7; для заскління з матовим склом $K_{ост.}$ = 0,4; при зашторюванні вікон $K_{ост.}$= 0,25.

Таблиця 6.1

Теплонадходження від сонячної радіації, $q_{ост.}$, ккал / м^2 · год

Вид засклiння	Орієнтація за сторонами горизонту і широта, град											
	Південь			Південний схід, південний захід			Схід і захід			Північний схід, північний захід		
	35	45	55	35	45	55	35	45	55	35	45	55
Подвійне засклiння у дерев'яній рамі	110	125	125	85	110	125	125	125	145	65	65	65
Подвійне засклiння у металевій рамі	140	160	160	110	140	160	160	160	180	80	80	80

Розрахунок тепловиділень від побутового обладнання.

З урахуванням реального добового коефіцієнта завантаження кухонних плит $К_з$, який повинен бути визначеним під час енергетичного обстеження будівлі, добові теплонадходження від газових або електричних плит можуть бути визначеними за залежністю (6.8):

$$Q_{пг} = \sum(N_{пг} \cdot n_{пг} \cdot К_з \cdot \eta),\ кВт \cdot год\ /\ добу, \quad (6.8)$$

де

$n_{пг}$ – кількість газових чи електричних плит певної потужності, які встановлено на кухні;

$N_{пг}$ – номінальна теплова потужність газових або електричних плит, кВт;

$К_з$ – коефіцієнт добової завантаженості, визначається за результатом ділення дійсного часу роботи газових плит на 24 год;

η – коефіцієнт корисної дії газової або електричної плити (для газової плити η = 0,4…0,45, для електричної – 0,7…0,8).

Виділення теплоти від побутових холодильників залежить від конструкції холодильника та теплоізоляційних характеристик його корпусу. За паспортними даними холодильника можна знайти такі його технічні характеристики, які допоможуть визначити теплонадходження:

$N_{хол.}$ – номінальна холодильна потужність, або холодопродуктивність – кількість виробленого холоду в номінальному режимі роботи, Вт, кВт;

$N_{ел.}$ – номінальна споживана електрична потужність, Вт, кВт;

ε – холодильний коефіцієнт – характеристика економічності холодильної машини, відношення холодопродуктивності до споживаної енергії:

$$\varepsilon = N_{хол.}\ /\ N_{ел.}.$$

За відомих вказаних величин теоретичні теплонадходження від конденсатора холодильної машини $Q_{хол.}$ в умовах номінального навантаження і ефективної теплової ізоляції стінок холодильника визначаються як сума холодильної потужності $N_{хол.}$ та споживаної електричної потужності $N_{ел.}$

$$Q_{хол.} = N_{ел.} + N_{хол.} = N_{ел.} + \varepsilon \cdot N_{ел.} = N_{ел.} \cdot (1+ \varepsilon), \text{ кВт} \cdot \text{год.} \qquad (6.9)$$

Дійсну величину теплонадходжень від побутових холодильників необхідно визначати з урахуванням фактичної тривалості роботи компресора холодильної машини (тобто дійсного часу роботи холодильника) та дійсної кількості спожитої електричної енергії. Так, якщо для холодильника з номінальною електричною потужністю 140 Вт споживана за добу кількість електроенергії становить 1 кВт · год / добу, то кількість теплоти, яка надійде до приміщення за добу, становитиме:

$$Q_{хол.} = N_{ел.} + \varepsilon \cdot N_{ел.} = N_{ел.} \cdot (1+ \varepsilon) = 1 \cdot (1 + 4{,}5) = 5{,}5 \text{ кВт} \cdot \text{год / добу.}$$

За умови річного споживання холодильником 343 кВт електроенергії (визначається за паспортними даними побутового холодильника або за результатами енергоаудиту) теплонадходження від побутового холодильника за рік становитимуть:

$$Q_{хол.} = N_{ел.} \cdot (1+ \varepsilon) = 343 \cdot (1 + 4{,}5) = 1886 \text{ кВт} \cdot \text{год за рік,}$$

що еквівалентно 1,62 Гкал, які можна отримати при спалюванні у водогрійному котлі 224 нм^3 природного газу з ефективністю роботи котла 85 %.

Побутові теплонадходження $Q_{поб.}$ в житлових квартирах, які сумарно враховують тепло від людей, побутового обладнання та освітлення, можна визначати в цілому по будинку (на всю систему опалення) за залежністю (6.10):

$$Q_{поб.} = q_{поб.} \cdot S_{під.}, \text{ Вт,} \qquad (6.10)$$

де

$q_{поб.}$ – теплонадходження на 1 м^2 площі підлоги у Вт / м^2 приймають за даними СНиП 2.04.05-91 як 10 Вт на 1 м^2 загальної площі будинку;

$S_{під.}$ – загальна площа будинку, м^2.

З урахуванням додаткових втрат теплоти загальна величина втрат через окрему огороджувальну конструкцію визначатиметься за залежністю:

$$Q_{оп.} = K \cdot F \cdot (t_в - t_з) \cdot n_s \cdot (1 + \sum\beta_i), \text{ Вт; ккал / год,} \qquad (6.11)$$

де

n_s – коефіцієнт, який враховує фактичне зменшення розрахункової різниці температур ($t_в - t_з$) для огороджень, які розділяють опалювальне та неопалювальне горище, підвал тощо) приміщення. Для перекриття над холодними підвалами, які сполучені з холодним повітрям, і для горищного перекриття n_s = 0,9; для перекриття над неопалювальними підвалами зі світловими прорізами у стінах n_s = 0,75; для перекриття над холодними підвалами без світлових прорізів у стінах, які розташовані вище рівня землі, n_s = 0,6;

β_i – поправка, яка враховує додаткові втрати теплоти через огородження.

Величина поправки β та її розподіл за факторами впливу на величину втрат теплоти є такими:

1. Поправка на орієнтацію огороджень за сторонами горизонту – приймають для усіх вертикальних і нахилених (у проекції на вертикальну вісь) огороджень залежно від орієнтації огородження за сторонами горизонту, а саме:

– на захід і південний схід $\beta_1 = 0{,}05$;

– на північ, схід, північний схід, північний захід $\beta_1 = 0{,}1$.

2. Поправка для усіх огороджень кутових приміщень $\beta_2 = 0{,}05$. У кутових приміщеннях житлових будинків і гуртожитків при розрахунках підвищують температуру внутрішнього повітря і поправку 0,05 не вводять.

3. Поправка на надходження холодного повітря через входи у будівлі, які не обладнані повітряними завісами. Поправку вводять на величину втрат теплоти лише через зовнішні двері або ворота і приймають для одинарних вхідних дверей $\beta_3 = 0{,}22$ Н; для подвійних вхідних дверей з тамбуром між ними $\beta_3 = 0{,}27$ Н, де Н – висота будівлі в м.

4. Поправка на висоту приміщень житлових будинків, гуртожитків і будівель ВНЗ. Загальні тепловтрати збільшують на 0,02 на кожен 1 м висоти, більшої за 4 м, але загалом не більш як 0,15.

Значення коефіцієнта теплопередачі для вікон і зовнішніх дверей будинків приймають у межах значень, наведених у додатку 3.

Втрати теплоти з опалювальних приміщень нижнього поверху через підлогу, яка розташована на ґрунті, визначають за зонами. Для цього поверхню стіни, яка контактує з ґрунтом, і підлогу на ґрунті ділять на ділянки завширшки 2 м паралельно зовнішнім стінам. Ділянку, найближчу до зовнішньої стіни, називають першою. Наступні дві діялянки – відповідно, другою і третьою. Решту підлоги вважають четвертою зоною. Визначення втрат теплоти виконують за залежністю (4.9) окремо по кожній зоні з наступним складанням одержаних величин по кожній зоні підлоги. Величину коефіцієнта для неутепленої підлоги першої зони приймають рівною $K_{нп.} = 1 / R_{нп.} = 1 / 2{,}1 = 0{,}48$ Вт / м^2 · град, для другої – 1 / 4,3 = 0,23 Вт / м^2 · град, для третьої – 1 / 8,6 = 0,12 Вт / м^2 · град, а для четвертої – 0,07 Вт / м^2 · град. $R_{нп.}$ – опір теплопередачі окремих зон неутепленої підлоги на ґрунті.

Для утепленої підлоги величину коефіцієнта теплопередачі кожної зони необхідно уточнити з урахуванням дійсної товщини та коефіцієнта теплопровідності шару утеплювача. Наприклад, коефіцієнт теплопередачі $K_{уп.}$ для однієї зони утепленої підлоги на ґрунті визначиться за залежністю:

$$K_{уп.} = 1 / (R_{нп.} + \sum\delta_{уш.} / \lambda_{уш.}),\ \text{Вт / м}^2 \cdot \text{град},$$

де

$\delta_{уш.}$ та $\lambda_{уш.}$ – товщина (м) та коефіцієнт теплопровідності (Вт / м · град) для утеплювальних шарів, відповідно.

Визначення величини втрат теплоти через огородження, які розділяють опалювальне та неопалювальне приміщення, у якому можуть бути прокладені трубопроводи з гарячим теплоносієм (горище, неопалювальний підвал тощо), доцільно

виконувати за величиною еквівалентного коефіцієнта теплопередачі $К_{екв.}$ через таке огородження. Величина $К_{екв.}$ враховує додатковий термічний опір повітря у неопалювальному приміщенні і умовно зараховує його до загального термічного опору огородження. За такого способу розрахунку втрат теплоти коефіцієнт $п_s$, який враховує зменшення розрахункової різниці температур у залежності (6.11), приймається $п_s = 1$. У формулу (6.11) для визначення втрат теплоти підставляють різницю між розрахунковими температурами внутрішнього і зовнішнього повітря ($t_в - t_з$).

Визначення еквівалентного коефіцієнта теплопередачі для огородження між опалювальним і неопалювальним приміщеннями здійснюється згідно з залежністю (6.12):

$$К_{екв.} = К \cdot (t_{в1} - t_{в2}) / (t_{в1} - t_з), \text{ Вт / м}^2 \cdot \text{град}, \quad (6.12)$$

де

К – дійсний коефіцієнт теплопередачі для матеріалу огородження між опалювальним і неопалювальним приміщенням, Вт / м^2 · град;

$t_{в1}$ – температура в опалювальному приміщенні, ^{0}С;

$t_{в2}$ – температура в неопалювальному приміщенні, ^{0}С.

Температуру $t_{в2}$ в неопалювальному приміщенні визначають за результатами енергетичного аудиту.

У разі невідомої величини температури $t_{в2}$ у неопалювальному приміщенні її можна визначити за розрахункових умов. За таких умов у залежність для обчислення $К_{екв.}$ підставляють нормовану величину температури внутрішнього повітря $t_{в1}$ в опалювальному приміщенні і розрахункову температуру зовнішнього повітря $t_з$ згідно з додатком А. Визначення розрахункової температури в неопалювальному приміщенні $t_{в2}$ виконують у такому разі за залежністю (6.13):

$$t_{в2} = (t_{в1} \cdot \Sigma К_в \cdot F_в + t_з \cdot \Sigma К_з \cdot F_з + t_т^{сер.} \cdot \Sigma К_т \cdot l_т) / (\Sigma К_в \cdot F_в + \Sigma К_з \cdot F_з + \Sigma К_т \cdot l_т), \ ^0\text{С}, \quad (6.13)$$

де

$\Sigma К_в \cdot F_в$ – сума добутків коефіцієнтів теплопередачі на площу поверхні всіх огороджувальних конструкцій, які розділяють опалювальне і неопалювальне приміщення, Вт / град;

$\Sigma К_з \cdot F_з$ – сума добутків коефіцієнтів теплопередачі на площу поверхні всіх огороджувальних конструкцій, які розділяють неопалювальне приміщення і зовнішнє повітря, Вт / град;

$\Sigma К_т \cdot l_т$ – сума добутків лінійних коефіцієнтів теплопередачі у Вт / м · град на довжину трубопроводів $l_т$ в м для транспортування гарячого теплоносія (систем опалення, гарячого водопостачання, теплопостачання), які прокладені в неопалювальному приміщенні, Вт / град (див. додаток Д). Суму визначають за трубопроводами різного діаметра;

$t_т^{сер.}$ – розрахункова температура теплоносія, середня для подавального і зворотного трубопроводів, ^{0}С.

Для орієнтовного визначення втрат теплоти будівлею користуються *питомим*

показником витрат теплоти q_o, віднесеним до розрахункової різниці температур та величини опалювального об'єму будівлі, визначеної за зовнішніми обмірами (або до опалювальної площі будівлі), кДж / м^3 · год · град, ккал / м^3 · год · град. Величину q_o називають також *питомою тепловою характеристикою будівлі*, її наводять у довідниковій літературі залежно від характеристик будівлі, періоду її забудови та призначення (див. табл. 6.2).

Для такого визначення величини тепловтрат скористаємось залежностями (6.14 і 6.15):

$$Q_{оп.} = V_з \cdot q_o \cdot (t_в - t_з) \cdot K_t, \text{ ккал / год; кДж / год; кВт,} \quad (6.14)$$
$$Q_{оп.} = F_з \cdot q_o^F \cdot (t_в - t_з) \cdot K_t, \text{ ккал / год; кДж / год; кВт,} \quad (6.15)$$

де

K_t – поправковий коефіцієнт, який необхідно застосовувати у зв'язку з тим, що в довідниковій літературі величини питомих нормованих теплових характеристик будівель q_o наведено за умови перепаду температур $\Delta t = (t_в - t_з) = 18 - (-30) = 48$ ^{0}C. Тому за інших значень перепадів температури згідно з таблицею 6.2 необхідно визначати поправковий коефіцієнт K_t;

$Q_{оп.}$ – максимальна (розрахункова) потреба теплоти на опалення при розрахунковій температурі зовнішнього повітря $t_з$, кДж / год, ккал / год;

$V_з$ – опалювальний об'єм будівлі за зовнішніми обмірами, м^3;

$F_з$ – загальна площа будівлі, м^2;

$(t_в - t_з)$ – розрахунковий перепад температур для основних приміщень будівлі, ^{0}C.

Таблиця 6.2

Величина поправкового коефіцієнта на розрахунковий перепад температур, K_t

Розрахункова температура $t_з$ зовнішнього повітря, ^{0}C	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35
Поправковий коефіцієнт K_t	2,05	!,67	1,45	1,29	1,17	1,08	1,0	0,95

Фактичну (дійсну) величину теплової характеристики житлових будівель q_o, віднесену до опалювального об'єму або площі, можна визначити за залежностями (6.16 або 6.17) за відомими величинами розрахункових витрат теплоти будівлею на опалення, обчисленими за формулою (6.11), дійсним перепадом температур за розрахункових умов $(t_в - t_з)$ і опалювальним об'ємом $V_з$ або загальною площею $F_з$ будівлі:

$$q_o = Q_{оп.} / (t_в - t_з) \cdot V_з, \text{ кДж / м}^3 \cdot \text{год} \cdot \text{град; ккал / м}^3 \cdot \text{год,} \quad (6.16)$$
$$\text{або } q_o = Q_{оп.} / (t_в - t_з) \cdot F_{оп.}, \text{ кДж / м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{град; ккал / м}^2 \cdot \text{год.} \quad (6.17)$$

Одержані таким чином величини дійсних питомих опалювальних характеристик будівель необхідно порівняти з нормованими і зробити висновки щодо відповід-

ності в цілому теплозахисних характеристик будівель чинним, на період спорудження будинку, будівельним нормативам (для будинків, збудованих до 2000 року).

Вважають, що будівля відповідає вимогам нормативів, якщо виконується умова:

$$Q_{оп.} / [(t_в - t_з) \cdot V_з \cdot K_l] \le q_o, \text{ або } Q_{оп.} / [(t_в - t_з) \cdot F_з \cdot K_l] \le q_o^F.$$

У довідниках також є аналогічні питомі показники нормованих теплових характеристик, які виведено для житлових будинків відносно їх загальної площі q_o^F. За необхідності вказані величини можна визначити за нормованими даними.

Значення нормованих розрахункових величин теплових характеристик q_o житлових будівель для будинків, споруджених у період з 1930 по 2000 рр., наведено у табл. 6.3.

Таблиця 6.3

Питомі опалювальні характеристики q_o житлових будівель в кДж / м^3 · год · град; (ккал / м^3 · год · град)

Об'єм житлових будинків за зовнішніми обмірами, м^3	Період забудови будинків		
	1930 ...1970 рр.	1971 ...1980 рр.	після 1981 р.
до 200	3,1; (0,74)	3,22; (0,77)	3,31; (0,79)
від 201 до 300	2,6; (0,62)	3,05; (0,73)	3,14; (0,75)
від 301 до 400	2,51; (0,60)	2,68; (0,64)	2,97; (0,71)
від 401 до 500	2,43; (0,58)	2,51; (0,60)	2,81; (0,67)
від 501 до 1000	2,14; (0,51)	2,30; (0,55)	2,43; (0,58)
від 1001 до 2000	1,88; (0,45)	2,18; (0,52)	2,09; (0,50)
від 2001 до 5000	1,59; (0,38)	1,88; (0,45)	1,80; (0,43)
від 5001 до 10000	1,38; (0,33)	1,59; (0,38)	1,51; (0,36)
від 10001 до 15 000	1,21; (0,29)	1,51; (0,36)	1,42; (0,34)
від 15001 до 25000	1,17; (0,28)	1,42; (0,34)	1,38; (0,33)
більш як 25000	1,09; (0,26)	1,38; (0,33)	1,38; (0,33)

Примітка. Норми та вказівки з нормування витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також господарсько-побутові потреби в Україні. (КТМ 204 України 244-94).

Для будівель забудови після 2006 р. величина питомої опалювальної характеристики житлових будівель $q_{буд.}$ вказується уже в іншому документі, який визначає сучасний рівень вимог до теплозахисних характеристик огороджень. Це Державні будівельні норми України ДБН В.2.6-31:2006 «Теплова ізоляція будівель».

Розрахункові або фактичні значення питомих тепловитрат $q_{буд.}$ на опалення будинку за опалювальний період визначаються за формулами (6.18 та 6.19):

– на одиницю опалювальної площі будинку

$$q_{буд.} = Q_{рік} / F_{оп.}, \text{ кВт · год / м}^2; \qquad (6.18)$$

– на одиницю опалювального об'єму будинку

$$q_{буд.} = Q_{рік} / V_з, \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^3, \qquad (6.19)$$

де

$Q_{рік}$ – витрати теплової енергії на опалення будинку протягом опалювального періоду року в кВт · год, визначаються на підставі результатів енергетичного аудиту або розрахунково;

$F_{оп.}$ – опалювальна площа будинку, визначається як площа опалювальних поверхів будинку, що вимірюється у межах внутрішніх поверхонь зовнішніх стін. В опалювальну площу не включають площі неопалювальних технічних поверхів, підвалу, холодних веранд, неопалювальних сходових клітин;

$V_з$ – опалювальний об'єм будівлі за зовнішніми обмірами, м^3.

Відповідно до вимог нормативів питомі тепловитрати на опалення будинків повинні відповідати умові (6.20):

$$q_{буд.}^{р} \leq E_{мах}. \qquad (6.20)$$

Залежність (6.20) означає, що розрахункові або фактичні питомі тепловитрати $q_{буд.}^{р}$ (у кВт · год / м^2 або в кВт · год / м^3) на опалення будинку за опалювальний період повинні бути рівними або меншими за максимально допустиме значення питомих тепловитрат $E_{мах}$ на опалення будинку за опалювальний період. Умова (6.20) дає можливість комплексної оцінки теплозахисних характеристик будівель та ефективності процесів регулювання відпуску теплоти на сучасному рівні вимог.

Величини нормативних максимальних тепловитрат для багатоповерхових житлових будинків $E_{мах}$ наведено у табл. 6.4.

Таблиця 6.4

Нормативні максимальні тепловитрати $E_{мах}$ багатоповерхових житлових будинків (гуртожитків і готелів) станом на 2006 рік, кВт · год / м^2; (кВт · год / м^3)

Поверх будинку	Значення $E_{мах}$ для температурної зони			
	1	2	3	4
від 1 до 3, опалювальною площею більш як 1000 м^2	104	90	76	62
від 4 до 5	89; (32)	77; (28)	65; (24)	53; (19)
від 6 до 7	83; (30)	72; (26)	61; (22)	50; (18)
від 8 до 9	79; (29)	69; (25)	58; (21)	48; (17)
від 10 до 11	75; (27)	65; (23)	55; (20)	45; (16)

Перерахунок величини $q_{буд.}$ до q_o для порівняння вимог теплозахисних характеристик будівель до і після 2006 р. можна здійснити за залежностями (6.21) і (6.22):

– для нормованих параметрів зовнішнього повітря (нормованій середній температурі за опалювальний період $t_{сер.}^{н}$ та нормованій тривалості такого періоду $n_{оп.н}$):

$$q_o = 860 \cdot q_{буд.} / [n_{оп.н} \cdot (t_в^н - t_{сер.}^н)], \text{ ккал / год;} \quad (6.21)$$

– для дійсних параметрів зовнішнього повітря (дійсній, зафіксованій метеорологічними станціями спостережень середній температурі $t_{сер.}$ за опалювальний період та дійсній тривалості $n_{оп.}$ такого періоду):

$$q_o = 860 \cdot q_{буд.} / [n_{оп.} \cdot (t_в - t_{сер.})], \text{ ккал / год,} \quad (6.22)$$

де

$n_{оп.н}$ і $n_{оп.}$ – нормована і дійсна тривалість опалювального періоду, відповідно, год;

$t_в^н$ і $t_в$ – середня нормована і середня фактична температури внутрішнього повітря у будівлі, відповідно, ^{0}С;

$t_{сер.}^н$ і $t_{сер.}$ – середня нормована і середня фактична за опалювальний період температури зовнішнього повітря, відповідно, ^{0}С.

Перерахунок фактичних питомих тепловитрат (за умов дійсних температур внутрішнього і зовнішнього повітря $t_в$, $t_{сер.}$) в розрахункові умови (за нормованих параметрів внутрішнього і зовнішнього повітря $t_в$, $t_{сер.}^н$) виконують згідно з залежністю (6.23):

$$q_{буд.}^р = q_{буд.} \cdot [(t_в^н - t_{сер.}^н) / (t_в - t_{сер.})] \cdot (n_{оп.н} / n_{оп.}), \text{ кВт · год / м}^3. \quad (6.23)$$

За відомою величиною максимальних (розрахункових) витрат теплоти на потреби опалення будинку $Q_{оп.}$ (за умови розрахункової температури зовнішнього повітря $t_з$) можна визначити величину необхідних витрат теплоти на потреби опалення для будь-якої іншої зовнішньої температури опалювального періоду року $Q'_{оп.}$ Для цього використаємо залежність (6.24):

$$Q'_{оп.} = Q_{оп.} \cdot [(t_в - t'_з) / (t_в - t_з)], \quad (6.24)$$

де

$Q'_{оп.}$ – витрати теплоти на опалення за будь-якого значення температури зовнішнього повітря, відмінної від розрахункової температури $t_з$;

$t'_з$ – поточне значення температури зовнішнього повітря в діапазоні від +8 ^{0}С до $t_з$.

Залежність (6.24) використовують для побудови графіка витрат теплоти на опалення будинку або групи будинків залежно від температури зовнішнього повітря.

Приклад побудови графіка витрат теплоти наведено на рис. 6.1. Такий графік може бути покладено в основу впровадження системи енергоменеджменту під час експлуатації будівлі.

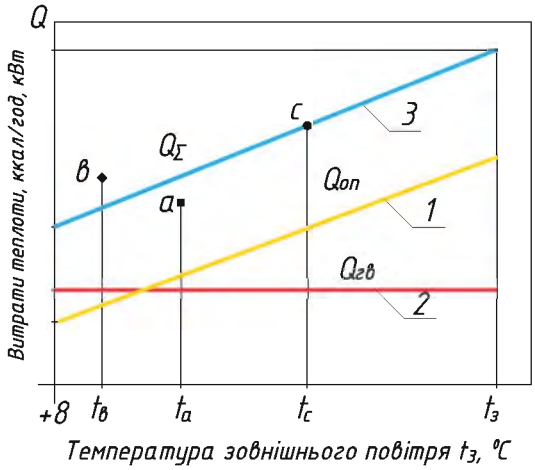


Рисунок 6.1 – Графіки витрат теплоти: 1 – на опалення; 2 – на гаряче водопостачання; 3 – сумарний

На графіку подано можливі результати поточних спостережень: а – дійсна кількість теплоти, яка відпускається, менша за необхідну нормовану (дефіцит теплоти); b – дійсна кількість теплоти, яка відпускається споживачам, більша за необхідну нормовану (перевитрати теплоти); с – відпуск теплоти споживачам відповідає нормативам в умовах наявних теплозахисних характеристик огороджень. Графіки витрат теплоти дають змогу контролювати відпуск теплоти до споживачів.

Середньогодинні витрати теплоти за опалювальний період на опалення визначаються за формулою (6.25):

$$Q_{оп.}^{сер.} = Q_{оп.} \cdot [(t_в - t_{сер.}) / (t_в - t_з)], \text{ ккал / год; кДж / год; кВт,} \qquad (6.25)$$

де

$Q_{оп.}$ – розрахункові годинні витрати теплоти на опалення, ккал / год, кДж / год, кВт;

$t_{сер.}$, $t_з$ – дійсна середня за опалювальний період температура зовнішнього повітря і розрахункова для систем опалення температура зовнішнього повітря, відповідно, ^{0}С.

За відомою величиною середніх за опалювальний період витрат теплоти $Q_{оп.}^{сер.}$ та тривалості опалювального періоду $n_{оп.}$ стає можливим визначення річних витрат теплоти на потреби опалення згідно із залежністю (6.26) :

$$Q_{рік} = Q_{оп.}^{сер.} \cdot n_{оп.}, \text{ ккал; кДж; кВт} \cdot \text{год,} \qquad (6.26)$$

де

$Q_{оп.}^{сер.}$ – середні за опалювальний період витрати теплоти на опалення ккал / год, кДж / год, кВт;

$n_{оп.}$ – тривалість опалювального періоду, год.

Середньогодинні витрати теплоти на приготування гарячої води в опалювальний період визначають за залежністю (6.27):

$$Q_{гв}^{сер.} = [(a_1 \cdot m_1 + a_2 \cdot m_2 + ...a_п \cdot m_п) \cdot 1,2 \cdot C_в \cdot 10^{-6} \cdot (55 - t_{хз})] / T_{гв}, \text{ ккал / год; кДж / год,} \quad (6.27)$$

де

– $a_1, a_2, a_п$ – норми витрат води на гаряче водопостачання при температурі 55 °С залежно від виду споживачів (див. табл. 6.5);
– $m_1, m_2, m_п$ – кількість споживачів певної категорії (див. табл. 6.4);
– $C_в$ – теплоємність води, $C_в$ = 1,0 ккал / л · град або $C_в$ = 4,2 кДж / л · град;
– 1,2 – коефіцієнт, який враховує тепловіддачу у приміщення від трубопроводів систем гарячого водопостачання (опалення ванних кімнат, сушіння білизни). За умови теплової ізоляції таких трубопроводів величину коефіцієнта можна зменшити;
– $t_{хз}$ – температура холодної водопровідної води взимку. За відсутності даних приймається +5 ^{0}С (у неопалювальний період температура води приймається рівною +10 ^{0}С);
– $T_{гв}$ – період споживання гарячої води, визначається залежно від прийнятого режиму подачі гарячої води. Приймається рівним числу годин роботи системи, год.

Таблиця 6.5

Норми витрат води

Споживач води	Од. виміру	Норма витрат води					
		Середньодобова, л / добу		За годину максимального споживання, л / год		Витрати води одним приладом, л / с	
		Всього, у тому числі, гарячої	Гарячої	Всього, у тому числі, гарячої	Гарячої	Всього, холодної і гарячої	Гарячої або холодної
Житлові будинки квартирного типу з водогоном і каналізацією, без ванн	1 особа	95; (120)	-	6,5		0,2	0,2
– з газовими підігрівачами	те саме	210; (250)	-	13,0		0,3	0,3
– з централізованим гарячим водопостачанням, ванною завдовжки 1500…1700 мм і душем	те саме	250; (300)	105; (120)	15,6	10	0,3	0,2
Гуртожитки з загальними душовими	те саме	85; (100)	50; (60)	10,4	6,3	0,2	0,14
– з душами у всіх житлових кімнатах	те саме	110; (120)	60; (70)	12,5	8,2	0,12…0,2	0,14
– із загальними кухнями і блоками душових	те саме	140; (160)	80; (90)	12,0	7,5	0,2	0,14

За відсутності даних середньогодинні витрати теплоти на приготування гарячої води у неопалювальний період року можна приймати з коефіцієнтом 0,8 від витрат

в опалювальний період, $Q_{гв}^{сер.л.} = 0,8 \cdot Q_{гв}^{сер.}$ Для курортних та південних міст літні витрати приймаються з коефіцієнтом 1,5:

$$Q_{гв}^{сер.л.} = 1,5 \cdot Q_{гв}^{сер.}.$$

Річні витрати теплоти на гаряче водопостачання $Q_{рік}^{гв}$ визначаються за залежністю (6.28) відповідно до відомих величин середньогодинних витрат теплоти на гаряче водопостачання в опалювальний період $Q_{гв}^{сер.}$ і в літній період $Q_{гв}^{сер.л.}$, а також тривалості роботи системи гарячого водопостачання – 8760 год:

$$Q_{гв}^{рік} = Q_{гв}^{сер.} \cdot n_{оп.} + Q_{гв}^{сер.л.} \cdot (8760 - n_{оп.}), \text{ ккал; кДж; кВт} \cdot \text{год}, \qquad (6.28)$$

де

$Q_{гв}^{сер.}$ і $Q_{гв}^{сер.л.}$ – середньогодинні витрати теплоти на гаряче водопостачання, відповідно, в опалювальний період і літній період року, ккал / год, кДж / год, кВт;

$n_{оп.}$ – дійсна тривалість опалювального періоду, год.

Максимальні годинні витрати теплоти на гаряче водопостачання визначаються згідно з залежністю (6.29):

$$Q_{гв}^{мах} = (2,0....2,4) \cdot Q_{гв}^{сер.}, \text{ ккал / год; кДж / год}. \qquad (6.29)$$

Згідно з показаннями лічильників газу, встановлених у споживачів, визначають обчислені витрати газу $B_{обч.}$.

Але інженерні розрахунки і платежі за використані обсяги газу здійснюють не за величиною обчислених витрат $B_{обч.}$, а за витратами сухого газу, зведеними до стандартних умов $B_{су}$ – температури газу 20 ^{0}С (293 К) і тиску 101,325 кПа.

Перерахунок обчислених годинних витрат газу $B_{обч.}$ до стандартних умов $B_{су}$ виконується за залежністю (6.30):

$$B_{су} = 60 \cdot (m_2 - m_1) \cdot \left(\frac{P_г + 101,325 - P_{вп}}{P_{бар}}\right) \cdot \left(\frac{293}{273 + t_{г.}}\right), \text{ м}^3 / \text{год}, \qquad (6.30)$$

де

$B_{обч.}$ – обчислені за лічильником витрати газу, $B_{обч.} = 60 \cdot (m_2 - m_1)$, м^3 / год;

$B_{су}$ – витрати газу, які зведено до стандартних умов, м^3 / год;

m_1 і m_2 – результати зняття початкових та кінцевих показань газового лічильника з інтервалом у одну хвилину, відповідно, м^3;

$P_г$ – тиск газу, виміряний у вузлі обліку витрат газу в момент зняття показань газового лічильника, кПа;

$P_{бар.}$ – барометричний тиск у день вимірювань, кПа;

$t_г$ – дійсна температура газу у вузлі обліку витрат газу (у газовому лічильнику) в момент зняття показань газового лічильника, ^{o}С;

$P_{вп}$ – парціальний тиск водяної пари у газі, визначається за температурою роси вологи у газі згідно з даними сертифіката якості газу, який подається споживачам газу газорозподільною організацією.

За температури точки роси +10 ^{0}С парціальний тиск водяної пари у газі становить близько $P_{вп}$ = 1,2 кПа, а за температури 0 ^{0}С $P_{вп}$ = 0,6 кПа, парціальний тиск водяної пари $P_{вп}$ = 2,3 кПа матиме місце за температури точки роси вологи у газі +20 ^{0}С.

Із залежності (6.30) видно, що на величину витрат газу за стандартних умов суттєвий вплив мають не лише показання лічильника, а й барометричний тиск і параметри газу у вузлі обліку витрат, а саме: його температура, тиск і точка роси. Тому за відсутності коректора-обчислювача у вузлах обліку витрат газу особливу увагу при визначенні витрат газу необхідно звертати на вказані вище характеристики газу.

За розрахованою за формулою (6.30) величиною годинних витрат газу $B_{су}$ в м^3 / год за стандартних умов і теплотою згоряння газу $Q_{сг}$ в ккал / м^3 або кДж / м^3, прийнятою згідно з сертифікатом якості газу (сертифікат якості газу надається газорозподільною організацією за запитом споживача газу), визначають кількість теплоти, отриманої при спалюванні палива (тепловий потенціал палива або теплова потужність агрегату), за залежністю (6.31):

$$N = B_{су} \cdot Q_{сг}, \text{ ккал / год; кДж /год; кВт. } (6.31)$$

Кількість теплоти, яку буде вироблено джерелом теплоти $Q_{вир.}$, визначають за залежністю (6.32):

$$Q_{вир.} = N \cdot \eta_к, \ (6.32)$$

де

$Q_{вир.}$ – кількість теплоти, яку вироблено і відпущено до теплових мереж у результаті спалювання палива або отримання первинної енергії іншого енергоносія;

$\eta_к$ – ККД на етапі вироблення теплоти (в середньому становить по Україні 0,81…0,84 або 81…84 % (див. рис. 3.5 посібника), але у деяких випадках може знижуватися до 65…70 %).

Кількість теплоти Q, яку буде відпущено споживачам на забезпечення потреб опалення, вентиляції та гарячого водопостачання, буде меншою за $Q_{вир.}$ на величину втрат теплоти у теплових мережах і визначиться за залежністю (6.33):

$$Q = Q_{вир.} \cdot \eta_{тм}, \ (6.33)$$

де $\eta_{тм}$ – коефіцієнт, який характеризує втрати теплоти у теплових мережах.

Величину $\eta_{тм}$ визначають за результатами теплових випробувань теплових мереж, а за відсутності таких даних – за рекомендаціями, поданими у розділі 6.5 посібника. За умови відсутності теплових мереж (у разі місцевих систем теплопостачання): $\eta_{тм}$ = 1, а $Q_{вир.}$ = Q. Одержану таким чином величину витрат теплоти Q вже можна порівнювати з розрахунковими витратами теплоти на потреби опалення, вентиляції і гарячого водопостачання будівлі, а також роботи висновки щодо відповідності зазначених величин.

Задачі з розв'язанням

Задача 1. Визначити теплонадходження у приміщення кухні гуртожитку, в якій встановлено дві газові плити ПГ- 4 з $N_{пг}$ = 12 кВт, для яких $К_з$ = 0,15 і одна газова плита ПГ-2 з $N_{пг}$ = 7 кВт, для якої $К_з$ = 0,05. ККД плит η становить 40 % (0,4).

Розв'язання.

Визначаємо величину добових теплонадходжень від газових плит згідно з залежністю (6.8):

$$Q_{пг} = (12 \cdot 2 \cdot 0{,}15 + 7 \cdot 0{,}05) \cdot 0{,}4 = (3{,}6 + 0{,}35) \cdot 0{,}4 = 1{,}58 \text{ кВт} \cdot \text{год / добу.}$$

Задача 2. Визначити, як зміняться теплонадходження від системи освітлення навчального корпусу ВНЗ у м. Алчевську в разі заміни 450 освітлювальних приладів з лампами розжарювання на люмінесцентні компактні лампи з вбудованими пускорегулювальними пристроями. Потужність та кількість ламп розжарювання становить: 100 Вт – 250 шт.; 75 Вт – 150 шт.; 60 Вт – 50 шт. Коефіцієнти у формулі 6.2 для ламп розжарювання прийняти такими: k_1 = 0,9; k_2 = 0,2; k_3 = 0,6; k_4 = 0,95. Потужність та кількість люмінесцентних ламп становить: 20 Вт – 350 шт.; 18 Вт – 70 шт.; 15 Вт – 30 шт. Значення коефіцієнтів для люмінесцентних ламп прийняти такі: k_1 = 0,9; k_2 = 0,2; k_3 = 0,6; k_4 = 0,2.

Розв'язання.

1. Теплонадходження від ламп розжарювання:

$$Q_{осв.} = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot \Sigma N_{ел.} = 0{,}9 \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}95 \cdot (100 \cdot 250 + 70 \cdot 150 + 60 \cdot 50) = 0{,}1026 \cdot 39250 = 4027 \text{ Вт.}$$

2. Теплонадходження від люмінесцентних ламп:

$$Q'_{осв.} = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot \Sigma N_{ел.} = 0{,}9 \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}2 \cdot (20 \cdot 350 + 18 \cdot 70 + 15 \cdot 30) = 0{,}0216 \cdot 8710 = 188{,}1 \text{ Вт.}$$

3. Різниця теплонадходжень від системи освітлення до та після заміни:

$$\Delta Q = Q_{осв.} - Q'_{осв.} = 4027 - 188 = 3839 \text{ Вт} = 3{,}84 \text{ кВт.}$$

Задача 3. Визначити максимальні годинні теплонадходження від сонячної радіації через верхній поверх навчального корпусу ВНЗ у м. Суми. Через покрівлю без горища з площею поверхні перекриття $S_{пер.}$ = 1560 м^2 і бічними поверхнями стін, зорієнтованими на північ та південь, площею 260 м^2 та на схід, захід – 96 м^2. Огороджувальні конструкції останнього поверху – суцільне подвійне засклiння в металопластиковому профілі. Географічна широта м. Суми – 51° півн. широти. Коефіцієнт теплопередачі перекриття $k_{пер.}$ = 0,9 ккал / год · м^2 · ^{0}С. На вікнах немає

світлозатримувальних штор чи інших пристроїв затінення. Коефіцієнт світлопропускання для засклiння прийняти $k_{ост.}$ = 0,8.

Розв'язання.

1. Визначаємо теплонадходження через перекриття. Питомий тепловий потік сонячної радіації для географічної широти м. Суми за даними табл. 6.1 становить 12 ккал / м^2 · год:

$$Q_{сон.1} = 1{,}16 \cdot S_{пер.} \cdot q_{пер.} \cdot k_{пер.} = 1{,}16 \cdot 1560 \cdot 12 \cdot 0{,}9 = 19544 \text{ ккал / год} = 22{,}8 \text{ кВт.}$$

2. Визначаємо теплонадходження через засклiння південного напрямку:

$$Q_{сон.2} = 1{,}16 \cdot S_{ост.} \cdot q_{ост.} \cdot k_{ост.},$$

де $q_{ост.}$ – питомі теплонадходження від сонячної радіації через засклiння, визначаються за табл. 6.1. Для південної орієнтації вікон $q_{ост.}$ = 160 ккал / м^2 · год.

$$Q_{сон.2} = 1{,}16 \cdot 260 \cdot 160 \cdot 0{,}8 = 38605 \text{ ккал / год} = 45 \text{ кВт.}$$

3. Питомі теплонадходження через східну та західну частину засклiння становлять:

$$Q_{сон.2} = 1{,}16 \cdot 96 \cdot 180 \cdot 0{,}8 = 16035 \text{ ккал / год} = 18{,}7 \text{ кВт.}$$

4. До розрахунку максимальних годинних теплонадходжень від сонячної радіації через огороджувальні конструкції верхнього поверху приймають теплонадходження через перекриття та найбільшу величину надходжень по одному з напрямків сторін горизонту:

$$Q_{сон.} = Q_{сон.1} + Q_{сон.2} = 19544 + 38605 = 58149 \text{ ккал / год} = 67{,}63 \text{ кВт.}$$

Задача 4. У кімнатах гуртожитку № 1 Полтавського педагогічного університету встановлено 85 холодильників, із них 55 із споживаною потужністю 1 кВт · год за добу та 30 із споживаною потужністю 1,5 кВт · год за добу. Визначити теплонадходження від побутових холодильників. Кількість діб роботи холодильників прийняти $n_{роб.}$ = 240 діб. Холодильний коефіцієнт ε = 4.

Розв'язання.

1. Визначаємо теплонадходження від встановлених побутових холодильників, знаючи добове споживання електричної енергії за формулою:

$$Q_{хол.} = \Sigma(N_{ел.} \cdot n_{хол.} \cdot (1 \cdot \eta_q + \varepsilon)),$$

де $N_{ел.}$ – споживана добова потужність холодильника, а саме його компресора, оскільки він є найбільшим споживачем електричної енергії серед усіх електроспоживальних приладів побутового холодильника, кВт · год за добу;

$n_{ел.}$ – кількість холодильників з відповідною потужністю, шт.;

η_q – коефіцієнт перетворення компресором електричної енергії в теплову.

$$Q_{хол.} = (1 \cdot 55 + 1{,}5 \cdot 30) \cdot (1 \cdot 0{,}7 + 1 \cdot 4) = 470 \text{ кВт} \cdot \text{год за добу.}$$

2. Річні теплонадходження:

$$Q_{рік.} = Q_{хол.} \cdot n_{роб.} = 470 \cdot 240 = 112800 \text{ Вт} = 112{,}8 \text{ кВт.}$$

3. Якщо за паспортними даними неможливо визначити добову споживану потужність, а наведено лише встановлену потужність ($N_{вс.}$), тоді для визначення $N_{ел.}$ використовують формулу:

$$N_{ел.} = N_{вс.} \cdot 24 \cdot k_{викор.},$$

де $k_{викор.}$ – коефіцієнт використання компресора побутового холодильника, $k_{викор.} = 0{,}3$.

Задача 5. Визначити еквівалентний коефіцієнт теплопередачі для горищного перекриття навчального корпусу Чернігівського педагогічного університету. За результатами енергетичного аудиту за умови підтримання в опалювальних приміщеннях температури $t_{в1} = +18\ ^0C$ при температурі зовнішнього повітря $t_з = -10\ ^0C$ середня температура повітря у горищному просторі становить $t_{в2} = -6\ ^0C$.

Горищне перекриття має таку конструкцію:

1-й шар – залізобетонна панель з термічним опором теплопровідності $R = 0{,}28\ м^2 \cdot {}^0C / Вт$;

2-й шар – насипний керамзит густиною 600 кг / м^3, висота шару 0,15 м;

Коефіцієнти тепловіддачі прийняти:

– на внутрішній поверхні перекриття: $\alpha_1 = 8{,}7\ Вт / м^2 \cdot {}^0C$;
– на зовнішній поверхні перекриття: $\alpha_2 = 12\ Вт / м^2 \cdot {}^0C$.

Розв'язання.

Визначаємо термічний опір теплопередачі для перекриття між опалювальними приміщеннями навчального корпусу і горищем за залежністю (4.7):

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_1} + \sum \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} = \frac{1}{8{,}7} + \left(0{,}28 + \frac{0{,}15}{0{,}14}\right) + \frac{1}{12} =$$

$$0{,}011 + 1{,}35 + 0{,}083 = 1{,}44 \frac{м^2 \cdot {}^oC}{Вт},$$

де λ = 0,14 Вт / м · ^{0}С – коефіцієнт теплопровідності керамзиту щільністю 600 кг / м^3 згідно з додатком И;

2. Визначаємо дійсний коефіцієнт теплопередачі перекриття за формулою (4.6):

$$k = \frac{1}{R_0} = \frac{1}{1,44} = 0,694 \frac{Вт}{м^2 \cdot {}^oC} \cdot$$

3. Визначаємо еквівалентний коефіцієнт теплопередачі за залежністю (6.12):

$$k' = k \cdot \frac{t_{B1} - t_{B2}}{t_{B1} - t_3} = 0,694 \cdot \frac{18 + 6}{18 + 10} = 0,694 \quad 0,857 = 0,59 \frac{Вт}{м^2 \cdot {}^oC} \cdot$$

Задача 6. За результатами обстежень огороджувальних конструкцій будівлі навчального корпусу Луцького гуманітарного університету були отримані такі відомості.

Таблиця 6.6

Характеристики огороджувальних конструкцій будівлі

Пор. №	Назва огороджувальної конструкції	Площа F, м^2	Коефіцієнт теплопередачі k, Вт / м^2 · ^{0}С	Орієнтація за сторонами горизонту
1	Стіна зовнішня	717	0,9	Пн-Сх
2	Стіна зовнішня	717	0,9	Пд-Зх
3	Стіна зовнішня	202	0,9	Пд-Сх
4	Стіна зовнішня	202	0,9	Пн-Зх
5	Вікна	179	2,5	Пн-Сх
6	Вікна	179	2,5	Пд-Зх
7	Вікна	50	2,5	Пд-Сх
8	Вікна	50	2,5	Пн-Зх
9	Перекриття 3-го поверху	1152	0,85	-
10	Підлога I зона	328	0,48	-
11	Підлога II зона	296	0,23	-
12	Підлога III зона	240	0,12	-
13	Підлога IV зона	288	0,07	-
14	Вхідні двері	5,4	4	Пн-Сх
15	Вхідні двері	4,8	4	Пд-Зх

Середня висота приміщень – 4,0 м. Кількість поверхів – 3. Вхідні двері до навчального корпусу не облаштовані повітряними тепловими завісами. Будівля не має горища, перекриття останнього поверху суміщене з покрівлею. Підвал у будівлі відсутній, підлога виконана на ґрунті. Вентильований об'єм будівлі – 8000 м^3 (об'єм приміщень із збалансованою припливно-витяжною вентиляцією, за якої витяжне повітря повністю компенсоване підігрітим припливним повітрям. Об'єм будівлі за зовнішніми обмірами прийняти $V_з$ =13824 м^3. Будівлю збудовано у 1982 році. Загальна площа будівлі 3456 м^2. Площа підлоги 3100 м2. Теплонадходження від

людей, обладнання і освітлення у будівлі прийняти рівними 12 Вт на 1 м^2 площі підлоги. Питомі витрати витяжного повітря, що видаляється, на 1м^2 приміщень будівлі прийняти 3 м^3 за годину (середня кратність повітрообміну – 0,7). Визначити:

- розрахункові витрати теплоти на потреби вентиляції, $Q_{інф}$;
- розрахункові витрати теплоти на потреби опалення, $Q_{оп}$;
- річні витрати теплоти на потреби опалення будівлі навчального корпусу, $Q_{рік}$;
- річні витрати теплоти для компенсації інфільтрації зовнішнього повітря у приміщення будівлі:
- питомий показних витрат теплоти на опалення (питому теплову характеристику будівлі) і порівняти одержану величину з нормативною, яка діяла на час спорудження навчального корпусу;
- питомі витрати теплоти на опалення будівлі. Виконати порівняння з нормативною величиною E_{max} згідно сучасних вимог. ДБН В.2.6-31:2006 «Теплова ізоляція будівель»

Розв'язання.

1. Визначаємо кліматичні параметри для м. Луцька:

$t_з$ = -20 ^{0}C; $t_{сер.}$ = -0,1 ^{0}C; $n_{оп.н.}$ = 179 діб = 4296 год; 2-га температурна зона України.

2. Температуру внутрішнього повітря приймаємо $t_в$ = +18 ^{0}C;

3. Трансмісійні розрахункові втрати теплоти при розрахунковій для систем опалення температурі зовнішнього повітря визначають за залежністю (6.11).

Результати розрахунків заносимо до табл. 6.7.

Таблиця 6.7

Визначення трансмісійних втрат теплоти

№	Назва огороджувальної конструкції	Площа F, м^2	k, Вт / м^2 · ^{0}C	$п_s$	Поправки			Перепад температур, ($t_в$ – $t_з$), ^{0}C	Q, кВт
					На орієнтацію	На холодне повітря	Всього		
1	Стіна зовнішня	717	0,9	1	0,1	-	0,1	38	26974
2	Стіна зовнішня	717	0,9	1	-	-	-	38	24521
3	Стіна зовнішня	202	0,9	1	0,05	-	0,05	38	7254
4	Стіна зовнішня	202	0,9	1	0,1	-	0,1	38	7599
5	Вікна	179	2,5	1	0,1	-	0,1	38	18706
6	Вікна	179	2,5	1	-	-	-	38	17005
7	Вікна	50	2,5	1	0,05	-	0,05	38	4988
8	Вікна	50	2,5	1	0,1	-	0,1	38	5225
9	Перекриття 3-го поверху	1152	0,85	1	-	-	-	38	37210
10	Підлога I зона	328	0,48	1	-	-	-	38	5983
11	Підлога II зона	296	0,23	1	-	-	-	38	2587
12	Підлога III зона	240	0,12	1	-	-	-	38	1094
13	Підлога IV зона	288	0,07	1	-	-	-	38	766
14	Вхідні двері	5,4	4	1	0,1	0,5	0,5	38	1231
15	Вхідні двері	4,8	4	1	0,1	0,5	0,6	38	1167

Усього: $Q_{транс.}$ = 162309 Вт = 162,3 кВт.

Загальні трансмісійні втрати теплоти огороджувальними конструкціями будівлі становлять $Q_{транс.}$= 162,3 кВт.

4. Визначаємо розрахункові витрати теплоти на нагрівання інфільтраційного повітря. Для опалювальних приміщень, які мають вікна, втрати з інфільтрацією розрахуємо із міркувань нагрівання опалювальними приладами повітря в об'ємі 3 м^3 за годину на 1 м^2 площі будівлі, або кратності повітрообміну 0,7 за годину згідно з залежністю:

$Q_{інф.}$ = 0,337 · F · 3 · ($t_в$ – $t_з$), де 0,337 – коефіцієнт, який отримано як добуток теплоємності повітря та густини повітря.

$$Q_{інф.} = 0{,}337 \cdot 3456 \cdot 3{,}0 \cdot (18 + 20) = 132773 \text{ Вт} = 132{,}8 \text{ кВт}.$$

5. Загальні розрахункові втрати теплоти огороджувальними конструкціями будівлі визначаються за сумою трансмісійних втрат теплоти $Q_{транс.}$ і втрат теплоти на нагрівання інфільтраційного повітря $Q_{інф.}$:

$$Q_{транс.} + Q_{інф.} = 162{,}3 + 132{,}8 = 295{,}1 \text{ кВт}.$$

6. Визначаємо розрахункові побутові теплонадходження у будівлі ВНЗ. За умовою задачі вони приймаються на рівні 12 Вт на 1 м^2 площі підлоги будівлі. Загальні теплонадходження визначаються згідно з залежністю (6.10):

$$Q_{поб.} = q_{поб.} \cdot S_{під.}, \text{ Вт},$$

де $S_{під.}$ – площа підлоги будівлі, $S_{під.}$ = 3100 м^2.

$$Q_{поб.} = 12 \cdot 3100 = 37200 \text{ Вт} = 37{,}2 \text{ кВт}.$$

7. Розрахункова потреба теплоти для опалення будівлі (теплова розрахункова потужність системи опалення) визначається за різницею трансмісійно-інфільтраційних втрат теплоти і теплонадходжень в розрахунковому режимі роботи за формулою:

$$Q_{оп.} = (Q_{транс.} + Q_{інф.}) - Q_{поб.} = 295{,}1 - 37{,}2 = 257{,}9 \text{ кВт} = 221794 \text{ ккал / год}.$$

8. Визначаємо втрати теплоти з інфільтрацією за температури зовнішнього повітря, яка дорівнює середній нормованій температурі опалювального періоду $t_{сер.}^{н}$ = -0,1 ^{0}C:

$$Q_{інф.}^{сер.} = 0{,}337 \cdot F \cdot 3 \cdot (t_в - t_{сер.}^{н}) = 0{,}337 \cdot 3456 \cdot 3{,}0 \cdot (18 + 0{,}1) = 63242 \text{ Вт} = 63{,}24 \text{ кВт}.$$

9. Середні за опалювальний період трансмісійні втрати теплоти $Q_{транс.}^{сер.}$ визначаються згідно з залежністю (6.25):

$$Q_{транс.}^{сер.} = Q_{транс.} \cdot [(t_в - t_{сер.}) / (t_в - t_з)], \text{ кВт},$$

де

$Q_{транс.}$- розрахункові трансмісійні втрати теплоти, кВт;

$t_{сер.}$, $t_з$ – дійсна середня за опалювальний період температура зовнішнього повітря і розрахункова для систем опалення температура зовнішнього повітря, відповідно, ^{0}С.

$$Q_{транс.}^{сер.} = 162,3 \cdot [(18 + 0,1) / (18 + 20)] = 77,3 \text{ кВт}.$$

10. Середні за опалювальний період загальні трансмісійно-інфільтраційні втрати теплоти спорудою:

$$Q_{транс.}^{сер.} + Q_{інф.}^{сер.} = 77,3 + 63,24 = 140,54 \text{ кВт}.$$

11. Середня за опалювальний період потреба теплоти для опалення будівлі (теплова середня потужність системи опалення) визначається за різницею середніх трансмісійно-інфільтраційних втрат теплоти і теплонадходжень у будинку за формулою:

$$Q_{оп.}^{сер.} = (Q_{транс.}^{сер.} + Q_{інф.}^{сер.}) - Q_{поб.} = 140,54 - 37,2 = 103,34 \text{ кВт}.$$

12. Визначення річних витрат теплоти на потреби опалення виконаємо за залежністю (6.26) за відомими величинами середньогодинних за опалювальний період витрат теплоти на опалення $Q_{оп.}^{сер.}$ та тривалості опалювального періоду $n_{оп.}$:

$$Q_{рік} = Q_{оп.}^{сер.} \cdot n_{оп.}, \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

де

$Q_{оп.}^{сер.}$ – середні за опалювальний період витрати теплоти на опалення; кВт;

$n_{оп.}$ – тривалість опалювального періоду, год.

$Q_{рік}$ = 103,34 · 4296 = 443948 кВт · год = 443,9 МВт · год = 516,22 Гкал.

13. Визначимо годинні розрахункові витрати теплоти на вентиляцію $Q_{втр.}^{в}$ в будівлі університету за укрупненими показниками згідно з залежністю:

$$Q_{втр.}^{в} = V_в \cdot q_в \cdot (t_в - t_з^в), \text{ ккал / год},$$

де

$V_в$ – об'єм будівлі, що вентилюється, за зовнішніми обмірами $V_в$ = 8000 м^3;

$q_в$ – питома вентиляційна характеристика будівлі в кДж / м^3 · год · град, ккал / м^3 · год · град. Приймається за даними додатка К, для умов задачі $q_в$ = 0,53 ккал / м^3 · год · град;

$t_в$ – середня розрахункова температура внутрішнього повітря, $t_в$ = 18 ^{0}С.

$t_з^в$ – розрахункова температура зовнішнього повітря для проектування вентиляції, ^{0}С. Приймається за даними табл. додатка А: $t_з^в$ = -8 ^{0}С;

$$Q_{втр.}^{в} = V_в \cdot q_в \cdot (t_в - t_з^{в}) = 8000 \cdot 0{,}51 \cdot (18 + 8) = 106080 \text{ ккал / год} = 123{,}3 \text{ кВт.}$$

14. Визначимо річні витрати теплоти для компенсації інфільтрації зовнішнього повітря у приміщення:

$Q_{інф.}^{рік} = 24 \cdot Q_{інф.}^{сер.} \cdot n_{оп.н} = 24 \cdot 63{,}24 \cdot 179 = 271679$ кВт · год = 271,7 Гкал за опалювальний період.

15. Підраховуємо питомий показник витрат теплоти на опалення (питому теплову характеристику будівлі) згідно з залежністю (6.15):

$$q_o = Q_{оп.} / (t_в - t_з) \cdot V_з = 221794 / [(18 + 20) \cdot 13824] = 0{,}43 \text{ ккал / м}^3 \cdot \text{год.}$$

Порівнюємо одержану величину питомої теплової характеристики з нормативною. Для цього необхідно звести її до табличної температури зовнішнього повітря. Зробимо це відповідно до такої залежності:

$$Q_{оп.} / [(t_в - t_з) \cdot V_з \cdot K_t] = 221794 / [(18 + 20) \cdot 13824 \cdot 1{,}17] = 0{,}35 \text{ ккал / м}^3 \cdot \text{год,}$$

де K_t – поправковий коефіцієнт, який визначається за табл. 6.2 при розрахунковій температурі зовнішнього повітря $t_з = -20\ ^0C$, $K_t = 1{,}17$. Нормативну величину питомої опалювальної характеристики визначають за даними таблиці додатка К, як для будівель із зовнішнім об'ємом від 10 до 15 тис. м^3, $q_o = 0{,}34$ ккал / м^3 · год. Одержана величина 0,35 ккал / м^3 · год, приблизно дорівнює нормативній 0,34 ккал / м^3 · год.

Таким чином, дійсна питома опалювальна характеристика практично задовольняє вимогам нормативної документації до теплозахисних характеристик будівлі, які були чинними на час будівництва споруди навчального корпусу (1982 рік).

16. Наступними кроками є визначення дійсної величини питомих тепловитрат будівлею і порівняння одержаної величини з нормативними максимальними тепловитратами $E_{мах}$, які характеризують сучасний стан вимог до теплозахисних характеристик будівлі (станом на 2006 рік).

Дійсні питомі витрати теплоти визначають згідно з залежністю (6.18):

$$q_{буд.} = Q_{рік} / V_з = 443948 / 13824 = 32{,}11 \text{ кВт · год / м}^3.$$

Нормативні максимальні тепловитрати 3-поверхових будівель ВНЗ, які розташовані у містах 2-ї температурної зони України, становлять відповідно до таблиці додатка К: $E_{мах} = 33$ кВт · год / м^3 станом на 2006 рік.

Таким чином, теплозахисні характеристики будівлі задовольняють сучасним вимогам ДБН В.2.6-31:2006 «Теплова ізоляція будівель» і відповідають класу «С» енергетичної ефективності будинків. Для отримання більш високого класу енергетичної ефективності (наприклад класу В) величина питомих тепловитрат $q_{буд.}$ повинна становити $q_{буд.} = 22...30$ кВт · год / м^3, а для переходу до класу «А» – не більше 22 кВт · год / м^3. Для одержання зазначених показників енергетичної ефективності необхідно виконати термомодернізацію будівлі навчального корпусу.

Задача 7. Дійсні витрати теплоти на потреби опалення 5-поверхового навчального корпусу ВНЗ у м. Херсоні протягом опалювального періоду 2009 року відповідно до показань будинкового лічильника теплоти становили $Q_{рік}^{д}$ = 371,51 Гкал, або 431,988 МВт · год. Об'єм будівлі за зовнішніми обмірами $V_з$ = 20000 м^3. Дійсна середня протягом опалювального періоду температура внутрішнього повітря у приміщеннях будівлі становила $t_в^{д}$ = 17 ^{0}С. Дійсна середня протягом опалювального періоду температура зовнішнього повітря становила $t_{сер.}^{д}$ = +3 ^{0}С. Дійсна тривалість опалювального періоду $n_{оп.}^{д}$ = 154 доби = 3696 год. Нормована температура у приміщеннях ВНЗ становить $t_в$ =18 ^{0}С. Будівля забудови до 1980 року. Визначити питому теплову характеристику $q_о$ будівлі на одиницю об'єму і дійсні питомі витрати теплоти $q_{буд.}$ Порівняти отримані дані з нормованими.

Розв'язання.

1. Визначаємо нормовані параметри зовнішнього повітря для м. Херсона згідно з даними таблиці додатка А:

– розрахункова температура зовнішнього повітря для систем опалення $t_з$ = -19 ^{0}С;
– середня температура опалювального періоду $t_{сер.}$ = +1 ^{0}С;
– тривалість опалювального періоду $n_{оп.н.}$ = 163 доби = 3912 год;
– третя температурна зона України.

2. Визначаємо дійсну питому теплову характеристику $q_о$ будівлі за такою залежністю:

$$q_о^{д} = Q_{рік}^{д} / [(t_в^{д} - t_{сер.}^{д}) \cdot V_з \cdot n_{оп.}] = 371510000 / [(17 - 3) \cdot 20000 \cdot 3696] = 0{,}358 \text{ ккал / м}^3 \cdot \text{год} \cdot \text{град.}$$

3. Для визначення відповідності будівлі у цілому нормативам теплозахисту, чинним на час спорудження будинку, необхідно порівняти величини дійсних питомих теплових характеристик будівель, отримані вище ($q_о^{д}$), з нормативними величинами, наведеними в таблиці додатка К.

Вважають, що будівля відповідає вимогам нормативів, якщо виконується умова:

$$q_о^{д} / K_t \le q.$$
$$0{,}358 / 1{,}19 = 0{,}3.$$

Величину поправкового коефіцієнта K_t на розрахунковий перепад температур визначають інтерполяцією за даними таблиці 6.2. За значення розрахункової температури зовнішнього повітря для м. Херсона $t_з$ = -19 ^{0}С K_t = 1,19.

Нормована величина теплової характеристики будівлі забудови до 1980 р. об'ємом 20000 м^3 згідно з таблицею додатка К становить 0,3 ккал / м^3 · год · град.

Таким чином, теплозахисні характеристики будівлі задовольняють вимогам будівельних нормативів, чинних на період забудови.

4. Визначаємо величину дійсних питомих витрат теплоти $q_{буд.}$ і відповідність теплозахисних характеристик нормативам, введеним після 2006 року. Розрахунки виконуємо згідно з залежністю 6.18:

$$q_{буд.} = Q_{рік} / V_з = 431988 / 20000 = 21{,}59 \text{ кВт} \cdot \text{год / м}^3.$$

5. Виконаємо перерахунок дійсних питомих тепловитрат (за умов дійсної тривалості опалювального періоду $n_{оп.}$ = 3696 год та дійсних температур внутрішнього і зовнішнього повітря $t_в^д$ = +17 ^{0}C і $t_{сер.}^д$ = +3 ^{0}C, відповідно) в нормовані (за умов нормованої тривалості опалювального періоду $n_{оп.н}$ = 3912 год, нормованих параметрів внутрішнього і зовнішнього повітря $t_в$ = +18 ^{0}C, $t_{сер.}$ = +1 ^{0}C). Обчислення виконаємо згідно з залежністю (6.22).

$$q_{буд.}^{н.} = q_{буд.} \cdot [(t_в - t_{сер.}) / (t_в^д - t_{сер.}^д)] \cdot (n_{оп.н.} / n_{оп.}) = 21{,}59 \cdot [(18 - 1) / (17 - 3)] \cdot (3912 / 3696) = 21{,}59 \cdot 1{,}21 \cdot 1{,}06 = 27{,}69 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^3.$$

Згідно з додатком К визначаємо величину нормативних максимальних тепловитрат будівель ВНЗ. Для 5-поверхових будинків, які розташовані у 3-й температурній зоні України, величина $E_{мах}$ = 26 кВт · год / м^3.

Умова (6.19) $q_{буд.}^н \leq E_{мах}$ не витримується, 27,69 кВт · год / м^3 > 26 кВт · год / м^3.

6. Перевірку правильності виконаних розрахунків зробимо шляхом перерахунку величини дійсних питомих тепловитрат $q_{буд.}$ = 21,59 кВт · год / м^3 до величини дійсної питомої характеристики будівлі згідно з залежністю (6.22):

$q_о = 860 \cdot q_{буд.} / [n_{оп.} \cdot (t_в^д - t_{сер.}^д)] = 860 \cdot 21{,}59 / [3696 \cdot (17 - 3)] =$ 0,358 ккал / м^3 · год · град, що відповідає результатам розрахунків за п. 2 задачі.

Висновок.

Теплозахисні характеристики будівлі не відповідають вимогам чинної нормативної документації. Необхідно впровадити заходи із зниження витрат на потреби опалення.

Задача 8. Згідно з паспортними даними будівля гуртожитку педагогічного університету у м. Сімферополі має розрахункові витрати теплоти на потреби опалення $Q_{оп.}$ = 300 кВт. Визначити величину витрат теплоти при температурі зовнішнього повітря $t'_з$ = +8 ^{0}C (на початок і завершення опалювального періоду), а також річні витрати теплоти на опалення гуртожитку за умови нормованих параметрів внутрішнього і зовнішнього повітря. Середня температура внутрішнього повітря у будівлі становить $t_в$ = 20 ^{0}C.

Розв'язання.

1. Визначаємо нормовані параметри зовнішнього повітря для м. Сімферополя згідно з даними таблиці додатка А:

– розрахункова температура зовнішнього повітря для систем опалення $t_з$ = -18 ^{0}C;
– середня температура опалювального періоду $t_{сер.}$ = +2,6 ^{0}C;
– тривалість опалювального періоду $n_{оп.н.}$ = 153 доби = 3672 год;
– третя температурна зона України.

2. Визначаємо витрати теплоти на потреби опалення для зовнішньої температури початку опалювального періоду року $Q'_{оп.}$ Згідно з залежністю (6.24):

$$Q'_{оп.} = Q_{оп.} \cdot [(t_в^д - t'_з) / (t_в - t_з)] = 300 \cdot [(20 - 8) / (20 + 18)] = 300 \cdot 0{,}315 = 94{,}5 \text{ кВт}.$$

3. Визначаємо витрати теплоти на потреби опалення $Q_{оп.}^{сер}$ для середньої протягом опалювального періоду нормованої температури зовнішнього повітря $t_{сер.}$ = +2,6 ^{0}C за залежністю (6.25):

$$Q_{оп.}^{сер.} = Q_{оп.} \cdot [(t_в - t_{сер.}) / (t_в - t_з)] = 300 \cdot [(20 - 2,6) / (20 + 18)] = 300 \cdot 0,45 = 137,1 \text{ кВт.}$$

4. Обраховуємо річні витрати теплоти на потреби опалення гуртожитку за нормованих параметрів зовнішнього і внутрішнього повітря за залежністю (6.26):

$$Q_{рік} = Q_{оп.}^{сер.} \cdot n_{оп.н.} = 137,1 \cdot 3672 = 503431 \text{ Вт} \cdot \text{год} = 503,4 \text{ МВт} \cdot \text{год} = 432,9 \text{ Гкал.}$$

Задача 9. Визначити річну кількість теплоти на гаряче водопостачання гуртожитку в м. Івано-Франківську на 300 осіб із загальними душовими. Річна тривалість проживання у гуртожитку – 300 діб.

Розв'язання.

1. Норма витрати гарячої води за даними таблиці 6.5 дорівнює 50 л на одну особу.

2. За формулою (6.34) визначаємо річні витрати гарячої води гуртожитком:

$$G_{гв}^{рік} = g_{гв}^{доб.} / 1000 \cdot (n_{сп.} \cdot n_{гв}^{доб.}) = 0,05 \cdot 300 \cdot 300 = 4500 \text{ м}^3. \qquad (6.34)$$

3. Визначаємо річні витрати теплової енергії на забезпечення безперебійного гарячого водопостачання: $Q_{гв}^{рік} = c_в \cdot G_{гв}^{рік} \cdot (t_{тв} - t_{хв}) = 1000 \cdot 4500 \cdot (55 - 5) \cdot 10^{-6} = 225$ Гкал.

Задача 10. Витрати газу в котельні Хмельницького національного університету протягом опалювального періоду становили $B_{су}$ = 500 тис. м^3 (витрати газу зведено до стандартних умов). Середнє протягом опалювального періоду значення теплоти згоряння газу відповідно до сертифікатів якості газу становило $Q_н^р$ = 8900 ккал / м^3. Визначити кількість теплоти, виробленої котельнею, і кількість теплоти, відпущеної споживачам на території університету, якщо ефективність вироблення теплоти в котельні становить $\eta_к$ = 88 %, а коефіцієнт, який оцінює теплову ефективність роботи теплових мереж, дорівнює $\eta_{тм}$ = 95 %.

Розв'язання.

1. Визначаємо кількість теплоти, яка була підведена з паливом (тепловий потенціал палива) за залежністю (6.31):

$$N = B_{су} \cdot Q_н^р \cdot 10^{-6} = 500000 \cdot 8900 \cdot 10^{-6} = 4450 \text{ Гкал.}$$

2. Підрахуємо кількість теплоти, яка була вироблена у котельні, згідно із залежністю (6.32):

$$Q_{вир.} = N \cdot \eta_к = 4450 \cdot 0{,}88 = 3916 \text{ Гкал.}$$

3. Визначимо кількість теплоти, яку буде відпущено споживачам, з урахуванням втрат теплоти у теплових мережах. Розрахунки виконуємо за залежністю (6.33):

$$Q = Q_{вир.} \cdot \eta_{тм} = 3916 \cdot 0{,}95 = 3720 \text{ Гкал.}$$

Висновок.

Кількість теплоти, відпущеної споживачам, становить 83 % теплового потенціалу палива.

Задача 11. Визначити величину помилки у перерахунку до стандартних умов (с.у.) річного, обчисленого за газовим лічильником об'єму спожитого газу в умовах котельні навчального корпусу Національного лісотехнічного університету України, м. Львів. Вузол обліку котельні не обладнаний автоматичним коректором-обчислювачем, тому перерахунок обчислених за лічильником витрат газу до стандартних умов здійснюється працівниками газорозподільної організації у ручному режимі згідно з залежністістю (6.30).

Дійсні, усереднені протягом періоду споживання параметри газу у вузлі обліку і барометричний тиск становили:

- температура газу $t_г = +13\ ^0C$;
- тиск газу $P_г = 0{,}15$ кПа;
- температура роси вологи у газі $t_р = +10\ ^0C$, що відповідає парціальному тиску насиченої водяної пари у газі $P_{вп} = 1{,}2$ кПа (Нестеренко А. В. Основы термодинамических расчетов вентиляции и кондиционирования воздуха.- М.,1971. – С. 442);
- середній барометричний тиск становив 100 кПа.

В дійсності ж у ході перерахунку були помилково використані такі параметри газу і барометричного тиску:

- температура газу $t_г = +7\ ^0C$;
- тиск газу $P_г = 0{,}45$ кПа;
- газ сухий, що відповідає парціальному тиску насиченої водяної пари у газі $P_{вп} = 0$ кПа;
- барометричний тиск – 98 кПа.

Показання лічильника газу становили:

- на початку періоду обліку $m'_1 = 356220$ м^3;
- в кінці періоду обліку $m'_2 = 563492$ м^3.

Розв'язання.

1. Запишемо залежність (6.30) для визначення годинних витрат газу за стандартних умов у вигляді, необхідному для перерахунків об'єму газу у м^3 до стандарних умов при обліку за певний період часу (місяць, опалювальний період або рік):

$$B_{су} = (m'_2 - m'_1) \cdot \left(\frac{P_г + 101{,}325 - P_{вп}}{P_{бар}}\right) \cdot \left(\frac{293}{273 + t_г}\right), \text{ м}^3,$$

де m'_1 і m'_2 – результати зняття показань газового лічильника на початку і в кінці облікового періоду, м^3.

2. Виконаємо перерахунки за вищенаведеною залежністю витрат газу, обчислених за показаннями лічильника, до стандартних умов за дійсних усереднених за обліковий період параметрів газу:

$$B_{су} = (563492 - 356220) \cdot \left(\frac{0{,}15 + 101{,}325 - 1{,}2}{100{,}1}\right) \cdot \left(\frac{293}{273 + 13}\right) = 212246 \text{ м}^3.$$

3. Аналогічні розрахунки за умов помилкових параметрів газу і барометричного тиску дають такий результат:

$$B_{су} = (563492 - 356220) \cdot \left(\frac{0{,}45 + 101{,}325 - 0}{98{,}0}\right) \cdot \left(\frac{293}{273 + 7}\right) = 225045 \text{ м}^3.$$

4. Абсолютна помилка перерахунку витрат газу до стандартних умов у м^3 становить: 225045 – 212246 = 12799 м^3.

Відносна помилка буде визначатись так: 12799 / 212246 = 0,06 (6%).

5. Вказана величина помилки перерахунків витрат газу до стандартних умов, яка виникла внаслідок використання невірних параметрів газу і барометричного тиску, спричинить перевитрати коштів за природний газ для котельні університету у розмірі 12799 · 2,9 = 37091 грн, де 2,9 грн / м^3 – тариф на природний газ, який відпускається для котельні навчального корпусу станом на січень 2011 р.

Задачі для самостійного розв'язання.

Задача 12. Визначити економію електроенергії і зниження теплонадходжень від системи освітлення у разі заміни 320 ламп розжарювання потужністю 100 Вт на люмінесцентні лінійні лампи потужністю 25 Вт. Коефіцієнт k_4 перетворення електричної енергії у світлову для люмінесцентних ламп прийняти рівним 0,45. Решта коефіцієнтів – за власним вибором. Річну тривалість роботи системи освітлення прийняти 200 днів.

Задача 13. Визначити тепловиділення від неізольованих трубопроводів системи опалення, прокладеної на горищі. Середня температура повітря на горищі за опалювальний період становить +7 ^{0}С. Довжина трубопроводів діаметром 50 мм у двотрубному вимірюванні становить 60 м, діаметром 40 мм – 50 м. Середня температура води у подавальному трубопроводі – 60 ^{0}С, у зворотному – 48 ^{0}С. Будівля розташована у м. Харкові.

Задача 14. Визначити середню за опалювальний період температуру у неопалювальному підвалі гуртожитку у м. Донецьку за умови, що коефіцієнт теплопередачі перекриття підвалу становить k = 0,7 Вт / м^2 · град, площа поверхні такого перекриття – 1600 м^2; стіни підвалу не утеплені, стіни починаються від рівня землі; розміри гуртожитку у плані 80 м х 20 м. У підвалі прокладено теплові мережі діаметром 100 мм та загальною довжиною 100 м. Середня за опалювальний період температура води у подавальному трубопроводі становить 64 ^{0}С, у зворотному – 52 ^{0}С. Трубопроводи теплових мереж ізольовано мінеральною ватою завтовшки 40 мм. Коефіцієнт теплопровідності мінеральної вати λ = 0,07 Вт / м · град. Крім того, у підвалі прокладено зворотний трубопровід-колектор системи опалення (без теплової ізоляції). Середній діаметр трубопроводу 50 мм, довжина – 200 м.

РОЗДІЛ 7
РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ В НАВЧАЛЬНИХ КОРПУСАХ ВНЗ

Розрахункові параметри повітряного середовища у приміщеннях ВНЗ повинні прийматись згідно з даними табл. 7.1.

Таблиця 7.1

Температура і повітрообмін у приміщеннях ВНЗ

Приміщення	Температура, ^{0}C	Кратність обміну повітря	
		витяжка	приплив
Аудиторії до 150 місць, навчальні кімнати, лабораторії	18	20*[2]	20*
Аудиторії на 150 місць і більше	18	Розрахунок	
Актові зали взимку	16	40*	40*
Лабораторії з виділенням шкідливих газів і пари	20	Розрахунок	
Бібліотека	18	0,5	-
Адміністративні приміщення	18	1,0	-
Вестибуль	16	-	2,0
Вбиральні	16	50*	

Розрахунок потреби в теплоті на вентиляцію споруд здійснюється лише за наявності у них систем припливної вентиляції. За відсутності фактичних даних про максимальні годинні витрати теплоти на вентиляцію будівель річну потребу в теплоті $Q_{рік}^{в}$ визначають за формулою (7.1):

$$Q_{рік}^{в} = V_в \cdot q_в \cdot (t_в - t_з^{в}) \cdot n_в \cdot Z_в \cdot 10^{-6}, \text{ ккал; кДж; кВт} \cdot \text{год}, \qquad (7.1)$$

де

$V_в$ – об'єм будівлі, що вентилюється, за зовнішніми обмірами, м^3;

$q_в$ – питома вентиляційна характеристика будівлі в кДж / м^3 · год · град (ккал / м^3 · год · град). Приймається за даними додатка К;

$t_в$ – середня розрахункова температура внутрішнього повітря, ^{0}C. Приймається за даними табл. 7.1;

$t_з^{в}$ – розрахункова температура зовнішнього повітря для проектування вентиляції, ^{0}C. Приймається за даними табл. додатка А;

$n_в$ – тривалість роботи систем вентиляції за опалювальний період, діб;

$Z_в$ – середня за опалювальний сезон кількість годин роботи систем вентиляції за добу. Приймається за результатами обстежень будівлі.

Годинні розрахункові витрати теплоти на вентиляцію $Q_{втр.}^{в}$ визначаються за залежністю (7.2):

$$Q_{втр.}^{в} = V_в \cdot q_в \cdot (t_в - t_з^{в}), \text{ ккал / год; кДж /год; кВт}. \qquad (7.2)$$

---

[2] *Цифри, які помічені зірочкою *, означають повітрообмін, який наводиться у м^3 за год на одиницю споживання: для аудиторій і актової зали - на одну людину; для туалету – на один унітаз.*

Річні витрати теплоти на гаряче водопостачання $Q_{рік}^{гв}$ визначаються за залежністю (7.3) відповідно до відомих величин середньогодинних витрат теплоти на гаряче водопостачання в опалювальний період $Q_{гв}^{сер.}$ і в літній період $Q_{гв}^{сер.л.}$, а також річної тривалості роботи системи гарячого водопостачання:

$$Q_{рік}^{гв} = Q_{гв}^{сер.} \cdot п_{оп.} + Q_{гв}^{сер.л.} \cdot (T_{гв}^{рік} - п_{оп.}), \text{ ккал; кДж; кВт} \cdot \text{год}, \qquad (7.3)$$

де

$Q_{гв}^{сер.}$ і $Q_{гв}^{сер.л.}$ – середньогодинні витрати теплоти на гаряче водопостачання, відповідно, в опалювальний період і літній період року, ккал / год, кДж / год, кВт;

$n_{оп.}$ – дійсна тривалість опалювального періоду, год;

$T_{гв}^{рік}$ – період споживання гарячої води за рік, визначається залежно від прийнятого режиму подачі гарячої води. Приймається рівним кількості годин роботи системи за рік згідно з результатами енергетичного аудиту будівлі, год.

Таблиця 7.2

Норми витрат води у навчальних закладах

Споживач води	Од. виміру	Норма витрат води					
		Середньодобова, л / добу		За годину максимального споживання, л / год		Витрати води одним приладом, л / с	
		Всього, у тому числі, гарячої	Гарячої	Всього, у тому числі, гарячої	Гарячої	Всього, холодної і гарячої	Гарячої або холодної
Навчальні заклади, у тому числі вищі та середні спеціальні з душовими у спортивних залах і буфетами, які реалізують готову продукцію	1 студент та 1 викладач	17,2 (20)[3]	6	2,7	1,2	0,14	0,.1
Лабораторії вищих і середніх спеціальних навчальних закладів	1 прилад	224 (260)	112	43,2	21,6	0,2	0,2

Загальні річні витрати теплоти на потреби опалення, вентиляції і гарячого водопостачання навчальних та адміністративних будівель ВНЗ визначаються за сумою відповідних річних витрат згідно з формулою (7.4):

$$Q_{рік} = Q_{рік}^{оп.} + Q_{рік}^{в} + Q_{рік}^{гв}, \text{ ккал; кДж; кВт} \cdot \text{год}. \qquad (7.4)$$

Необхідна потужність електродвигуна насоса (потужність на валу двигуна насоса) визначається згідно з залежністю (7.5):

[3] *Цифру у дужках наведено для максимально можливого споживання води за добу.*

$$N_н = (1,1...1,5) \cdot M_в \cdot H_в / (3600 \cdot \eta_н), \text{ кВт}, \quad (7.5)$$

де

$N_н$ – потужність приводу насоса, кВт;

$M_в$ – масові витрати води, яка подається насосом у мережу, кг / год;

$H_в$ – перепад тиску води на насосі; визначається як різниця тиску води на нагнітальній і всмоктувальній лініях насоса згідно з показаннями манометрів до і після насоса, відповідно, МПа;

$\eta_н$ – ККД насоса і передачі, $\eta_н = \eta_{нас.} \cdot \eta_{пер.}$,

де

$\eta_{нас.}$ – ККД насоса, приймається 0,65...0,85 згідно з паспортними характеристиками насоса і розташуванням робочої точки насоса на діаграмі характеристики насоса;

$\eta_{пер.}$ – ККД передачі, залежить від виду передачі.

Економію електроенергії у разі заміни неефективних насосів з ККД $\eta_{н1}$ на більш ефективні з більшим ККД $\eta_{н2}$, а також заміни електродвигунів із збільшенням їх ККД з $\eta_{е1}$ до $\eta_{е2}$ за рахунок збільшення завантаження визначають згідно з залежністю (7.6):

$$\Delta N_н = 0,000272 \cdot H_в \cdot M_в \cdot n_{нас.} \cdot [1 / (\eta_{е1} \cdot \eta_{н1}) - 1 / (\eta_{е2} \cdot \eta_{н2})], \text{ кВт} \cdot \text{год}, \quad (7.6)$$

де

$\eta_{е1}$ і $\eta_{е2}$ – ККД електродвигуна до і після заміни, відповідно, визначаються згідно з паспортними даними двигуна і його реальним завантаженням. Орієнтовно для двигунів до 5 кВт за умови 100 % навантаження ККД електродвигуна становить $\eta_{е2} \approx 80$ %, а при 50 % завантаженні $\eta_{е1} \approx 55$ %;

$n_{нас.}$ – тривалість терміну роботи насосів протягом облікового періоду (наприклад, протягом року) в год;

$\Delta N_н$ – економія електроенергії внаслідок заміни насосів і збільшення їх ККД, кВт · год.

Питомі витрати електроенергії $N_н^{пит.}$ на 1 м^3 води для насосів визначаються за залежністю:

$$N_н^{пит.} = 0,272 \cdot H_в / (\eta_е \cdot \eta_н),$$

де

$\eta_е$ і $\eta_н$ – величини ККД електродвигуна і насоса, відповідно, які залежать від режиму роботи насоса і ступеня завантаженості двигуна; визначаються за діаграмами їх характеристик.

Заміна вентиляторів з низьким ККД $\eta_{в1}$ на вентилятори з підвищеним ККД $\eta_{в2}$ дає економію електроенергії, яка визначається за залежністю (7.7):

$$\Delta N_в = P_п \cdot V_п \cdot n_{вент.} \cdot (\eta_{в2} - \eta_{в1}) / (10^3 \cdot \eta_е \cdot \eta_{в2} \cdot \eta_{в1} \cdot \eta_п \cdot \eta_м), \text{ кВт} \cdot \text{год}, \quad (7.7)$$

де η_e – ККД електродвигуна; визначається згідно з паспортними даними двигуна і його реальним завантаженням;

$n_{вент.}$ – тривалість періоду роботи вентиляторів протягом облікового періоду (наприклад, протягом року) в год;

$\Delta N_в$ – економія електроенергії внаслідок заміни вентиляторів і збільшення їх ККД, кВт · год;

$\eta_{в1}$, $\eta_{в2}$ – ККД вентиляторів до і після заміни відповідно, част. од.;

$\eta_{пер.}$ – ККД передачі, част. од.;

$\eta_м$ – ККД електричної мережі, величина, яка враховує втрати енергії в електричній мережі, в трансформаторах, част. од.;

$P_п$ – тиск, який розвивається вентилятором, визначається за результатами вимірювання тиску під час обстеження систем вентиляції, Па;

$V_п$ – продуктивність (подача) вентилятора, м^3 / с.

Необхідна потужність на приведення до дії вентилятора (потужність на валу двигуна вентилятора) визначається згідно з залежністю (7.8):

$$N_в = 1{,}1 \cdot V_п \cdot P_п / (\eta_в \cdot 10^3), \text{ кВт}, \qquad (7.8)$$

де $\eta_в$ – ККД вентилятора і передачі, $\eta_в = \eta_{пер.} \cdot \eta_{вент.}$,

де

$\eta_{пер.}$ – ККД передачі;

$\eta_{вент.}$ – ККД вентилятора згідно з його характеристиками щодо витрат повітря $V_п$ під тиском $P_п$.

Визначення величини економії електричної енергії, яку можна отримати за рахунок впровадження ефективних систем регулювання роботи вентиляторів, здійснюють згідно із залежністю (7.9):

$$\Delta N_в = n_{вент.} \cdot (V_{п1} \cdot \eta_{в1} \cdot P_{п1} - V_{п2} \cdot \eta_{в2} \cdot P_{п2}) / (10^3 \cdot \eta_{в2} \cdot \eta_{в1} \cdot \eta_e \cdot \eta_{пер.} \cdot \eta_м), \text{ кВт} \cdot \text{год}, \qquad (7.9)$$

де

$V_{п1}$,$V_{п2}$ – подача вентилятора до і після зміни режиму його роботи, м^3 / с;

$P_{п1}$, $P_{п2}$ – тиск, який розвивається вентилятором до і після зміни режиму його роботи, Па;

$\eta_{в1}$, $\eta_{в2}$ – ККД вентилятора до і після зміни режиму його роботи згідно з характеристиками вентилятора і положенням робочої точки на них.

Задачі з розв'язанням.

Задача 1. Визначити розрахункові витрати теплоти на опалення і вентиляцію навчального корпусу університету економіки і права у м. Суми. Опалювальний об'єм будівлі за зовнішніми обмірами $V_з = V_в = 12000$ м^3. Рік забудови – 1983 р. Розрахунок виконати за укрупненими показниками витрат теплоти.

Розв'язання.

1. За даними таблиці додатка К визначаємо укрупнені питомі опалювальні і вентиляційні характеристики будівлі $q_в$ = 0,51 ккал / м^3 · град, $q_о$ = 0,34 ккал / м^3 · град.

2. За даними додатка А визначаємо розрахункові нормовані параметри зовнішнього повітря для м. Суми: $t_з$ = -25 ^{0}С, $t_{сер.}^н$ = -1,9 ^{0}С, $n_{оп.н.}$ = 185 діб, $t_з^в$ = -13 ^{0}С.

3. Визначаємо розрахункові потреби будівлі у теплоті на опалення:

$$Q_{оп.} = V_з \cdot q_о \cdot (t_в - t_з) \cdot K_t = 12000 \cdot 0{,}34 \cdot (18 + 25) \cdot 1{,}08 = 189475 \text{ ккал / год} = 221 \text{ кВт};$$

та на вентиляцію:

$$Q_{втр.}^в = V_в \cdot q_в \cdot (t_в - t_з^в) = 12000 \cdot 0{,}34 \cdot (18 + 13) = 126480 \text{ ккал / год} = 147 \text{ кВт}.$$

Задача 2. Насос системи опалення навчального корпусу Луганського політехнічного університету працює з масовими витратами води 18800 кг / год. Тиск води на нагнітальній лінії насоса становить 3,5 ат, тиск води на всмоктувальній лінії – 3,1 ат. ККД насоса і приводу згідно з паспортними характеристиками становить 0,7. Визначити необхідну потужність електродвигуна насоса.

Розв'язання.

1. Визначаємо перепад тиску на насосі як різницю тиску на нагнітальній і всмоктувальній лініях. Виражаємо вказану величину у МПа:

$$H = 3{,}5 - 3{,}1 = 0{,}4 \text{ кг / см}^2 = 0{,}04 \text{ МПа}.$$

2. Визначаємо необхідну потужність електродвигуна насоса згідно із залежністю (7.5):

$$N_н = (1{,}1...1{,}5) \cdot M_в \cdot H_в / (3600 \cdot \eta_н) = 1{,}25 \cdot 18800 \cdot 0{,}04 / (3600 \cdot 0{,}65) = 0{,}37 \text{ кВт}.$$

Задача 3. У результаті заміни насоса і його електродвигуна у системі опалення навчального корпусу ВНЗ коефіцієнт корисної дії насоса був збільшений з $\eta_{н1}$ = 0,65 до $\eta_{н2}$ = 0,8, а навантаження електродвигуна змінилось з 50 % до 100 %. Витрати води у системі $M_в$ = 12800 кг / год. Тиск води у нагнітальній лінії насоса становить 2,9 ат. Тиск у всмоктувальній лінії – 2,3 кг / см^2. Тривалість роботи насоса протягом року $n_{нас.}$ = 4420 год. Визначити річну економію електроенергії внаслідок заміни насосів і електродвигунів та збільшення їх ККД. Визначити питомі витрати електричної енергії на подачу 1 м^3 води у системі опалення до і після заміни обладнання.

Розв'язання.

1. Визначаємо величину ККД електродвигуна. При 50 % завантаженні величину ККД електродвигуна приймаємо орієнтовно: η_{e1} = 0,55, а при збільшенні навантаження до 100 % ККД можна приймати на рівні η_{e2} = 0,8.

2. Визначаємо перепад тиску, з яким працює насос:

$$H_в = 2,9 - 2,3 = 0,6 \text{ кг / см}^2 = 0,06 \text{ МПа}.$$

3. Визначаємо економію електроенергії у результаті заміни насоса і електродвигуна згідно із залежністю (7.6):

$$\Delta N_н = 0,000272 \cdot H_в \cdot M_в \cdot п_{нас.} \cdot [1 / (\eta_{e1} \cdot \eta_{н1}) - 1 / (\eta_{e2} \cdot \eta_{н2})] = 0,000272 \cdot 0,06 \cdot 12800 \cdot 4420 \cdot [1 / (0,55 \cdot 0,65) - 1 / (0,8 \cdot 0,8)] = 923,32 \cdot (2,79 - 1,56) = 923,32 \cdot 1,23 = 1135,7 \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

де

η_{e1} і η_{e2} – ККД електродвигуна до і після заміни, відповідно;

$п_{нас.}$ = 4420 год – тривалість терміну роботи насосів протягом року в год.

4. Визначаємо питомі витрати електроенергії на подачу 1 м^3 води до заміни обладнання згідно з формулою:

$$N_н^{пит.} = 0,272 \cdot H_в / (\eta_{e1} \cdot \eta_{н1}),$$

де

η_{e1} і $\eta_{н1}$ – величини ККД електродвигуна і насоса до реконструкції.

$$N_н^{пит.} = 0,272 \cdot 0,06 / (0,55 \cdot 0,65) = 0,046 \text{ кВт / м}^3.$$

4. Визначаємо питомі витрати електроенергії на подачу 1 м^3 води після заміни обладнання згідно з формулою:

$$N_н^{пит.} = 0,272 \cdot H_в / (\eta_{e2} \cdot \eta_{н2}),$$

де η_{e2} і $\eta_{н2}$ – величини ККД електродвигуна і насоса після реконструкції.

$$N_н^{пит.} = 0,272 \cdot 0,06 / (0,8 \cdot 0,8) = 0,0255 \text{ кВт / м}^3.$$

Висновок.

У результаті заміни насоса і електродвигуна буде досягнуто річну економію електричної енергії у 1135,7 кВт · год. Питомі витрати електроенергії на подачу 1 м^3 води у системі опалення у результаті заміни обладнання зменшуються з 0,046 кВт / м^3 до 0,025 кВт / м^3 (у 1,8 раза).

Задача 4. Визначити необхідну потужність на приведення до дії вентилятора з подачею повітря у кількості 10000 м^3 / год = 2,78 м^3 / с. Повний тиск на всмоктувальному повітропроводі вентилятора $P_{всм.}$ = 700 Па, повний тиск на нагнітальному повітропроводі вентилятора $P_{наг.}$ = 1200 Па. Прийняти ККД передачі $\eta_{пер.}$ = 0,95, а вентилятора $\eta_{вент.}$ = 0,75.

Розв'язання.

1. Визначаємо загальний повний тиск, який створює вентилятор:

$$P_п = P_{наг.} + P_{всм.} = 1200 + 700 = 1900 \text{ Па}.$$

2. Визначаємо потужність на валу двигуна вентилятора згідно з залежністю (7.8):

$$N_в = 1{,}1 \cdot V_п \cdot P_п / (\eta_в \cdot 10^3) = 1{,}1 \cdot 2{,}78 \cdot 1900 / (0{,}95 \cdot 0{,}75 \cdot 10^3) = 8{,}15 \text{ кВт}.$$

Задачі для самостійного розв'язання.

Задача 5. Визначити, яким повинен бути термічний опір зовнішніх стін у будівлі ВНЗ із зовнішнім опалювальним об'ємом 10000 м^3 у м. Миколаєві для досягнення європейського показника «пасивної» будівлі – питомих витрат теплоти у 15 кВт · год / м^3. Будівля 5-поверхова зовнішніми обмірами 55 м на 12 м, загальна висота – 15 м. Підлога на ґрунті. Вентильований об'єм будівлі становить 6 тис. м^3. Трансмісійні втрати теплоти через підлогу – 5 кВт. Опір теплопередачі перекриття верхнього поверху становить 0,3 Вт / м^2 · град. Втрати теплоти через вікна і вхідні двері сягають 20 кВт (вікна і зовнішні двері мають площу, яка становить 18 % площі поверхні зовнішніх стін). Середню температуру внутрішнього повітря у будівлі прийняти +18 ^{0}С.

Задача 6. Як зміняться річні витрати теплоти на опалення 3-поверхової будівлі навчального корпусу ВНЗ у м. Житомирі у разі досягнення нормативів витрат теплоти «пасивного будинку». Наявну величину питомих витрат теплоти прийняти 85 кВт · год / м^3. Об'єм будівлі прийняти 15000 м^3. Температура внутрішнього повітря становить +18 ^{0}С. Параметри зовнішнього повітря прийняти згідно з нормованими даними.

Задача 7. Визначити річні витрати теплоти на потреби вентиляції навчального корпусу ВНЗ у м. Одесі. Об'єм будівлі за зовнішніми обмірами прийняти 8000 м^3. Середню розрахункову температуру внутрішнього і зовнішнього повітря прийняти згідно з довідниковими даними. Тривалість роботи систем вентиляції за опалювальний період становить 110 діб. Середня за опалювальний сезон кількість годин роботи систем вентиляції за добу становить 4 год.

Задача 8. Визначити річні витрати теплоти на потреби приготування гарячої води у спортивному залі технічного університету у м. Тернополі. Кількість студентів і викладачів, які відвідують спортивний зал за добу, – 500 осіб. Період споживання гарячої води (кількість годин роботи системи за добу) – 10 год. Характеристики опалювального періоду прийняти за довідниковими даними.

Задача 9. Визначити необхідну потужність електродвигуна насоса для підвищення тиску холодної води, яка подається до навчального корпусу медичного

університету у м. Києві. Масові витрати води становлять 20 т за годину. Тиск води на всмоктувальній лінії насоса становить 1,1 ат, тиск води на нагнітальній лінії насоса – 3,9 кг / м^2. Величину ККД насоса прийняти згідно з розташуванням робочої точки насоса на діаграмі його характеристики $\eta_н$ = 0,7.

Задача 10. У результаті регулювання роботи насоса для подачі холодної води за допомогою дроселювальної засувки ККД насоса зменшувався з $\eta_{н1}$ = 0,7 до $\eta_{н2}$ = 0,6. Ступінь завантаження електродвигуна становив 50 %. Витрати води у системі $M_в$ = 25800 кг / год. Тиск води у нагнітальній лінії насоса становить 3,5 ат. Тиск у всмоктувальній лінії – 1,3 кг / см^2. Тривалість роботи насоса у режимі зниженої подачі води протягом року становила $n_{нас.}$ = 2420 год. Визначити втрати електроенергії внаслідок використання невдалої схеми регулювання. Визначити питомі витрати електричної енергії на подачу 1 м^3 води у системі опалення до і після регулювання засувкою.

Задача 11. Визначити економію електроенергії, яка матиме місце при заміні вентилятора з ККД $\eta_{в1}$ = 0,64 на вентилятор з підвищеним ККД $\eta_{в2}$ = 0,78. Величину ККД електродвигуна прийняти $\eta_е$ = 0,8, тривалість роботи вентилятора $n_{вент.}$= 3000 год, ККД передачі $\eta_{пер.}$ = 0,9, ККД мережі $\eta_м$ = 0,95. Витрати повітря (продуктивність вентилятора) становлять 35000 м^3 / год. Тиск, який розвивається вентилятором, $P_п$ = 1500 Па.

Енергозбереження в системах освітлення

Однією із складових економії енергії в будівлях університетських містечок є економія електричної енергії в системах внутрішнього і зовнішнього штучного освітлення.

У процесі енергетичного аудиту будівель визначаються шляхи економії і розробляються заходи зі зменшення витрат електричної енергії у системах освітлення. Для цього виконується інвентаризація світильників і ламп, визначаються тривалість їх роботи та споживана потужність. Одержані результати інвентаризації і визначення потужності порівнюються з показниками лічильників електричної енергії.

Для розроблення енергозберігальних заходів необхідно мати інформацію про кількість мінімально можливої електричної енергії і мінімально можливу потужність ламп освітлення для отримання нормативних показників освітлення, наведених в таблиці 5.5 посібника «Енергозбереження в університетських містечках» згідно з вимогами ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення».

Для цього виконують світлотехнічний розрахунок, спрямований на визначення оптимальної кількості і потужності світильників, які необхідні для забезпечення нормованих показників освітленості за мінімальних енергетичних витрат.

Світлотехнічний розрахунок необхідно виконати за декількома варіантами. Основним показником, який визначає енергоефективність і економічну доцільність вибраного варіанта типу, кількості і способу розміщення світильників є кількість споживаної електричної енергії та її вартість.

У цьому розділі пропонується виконувати світлотехнічний розрахунок за методом коефіцієнта використання світлового потоку, який можна застосовувати в умовах рівномірного освітлення горизонтальних робочих поверхонь (столів) як у гуртожитках, так і в навчальних аудиторіях не залежно від виду світильників і ламп.

Інші методики і довідникові дані для виконання таких розрахунків наведені у виданнях «Справочная книга для поектирования электрического освещения», Л.,1976 р. і «Осветительные установки» Л.,1981 р., які написано за редакцією Кноррінга Г.М.

Суть методу полягає у визначенні величини необхідного світлового потоку від світильників прийнятої кількості для створення нормативних показників освітлення у приміщеннях університетських містечок.

Основну розрахункову залежність для визначення світлового потоку $Ф_1$ від одного світильника записують так:

$$Ф_1 = (E_н \cdot K_з \cdot S \cdot z) / (n \cdot \eta_{сп}), \text{ лм}, \qquad (7.10)$$

де

$E_н$ – нормативний показник освітлення, лк (див. табл. 5.5 посібника «Енергозбереження в університеських містечках»);

$K_з$ – коефіцієнт запасу;

S – площа приміщення, яке освітлюється, м^2;

z – коефіцієнт нерівномірності освітлення;

n – кількість світильників, які встановлено у приміщенні;

$\eta_{сп}$ – коефіцієнт використання світлового потоку, част. од.

Світловий потік $Ф_1$ у залежності (7.10) можна виразити через світловіддачу C[4], яку виражають в лм / Вт і прийняту потужність ламп N_1, кВт. Після цього рівняння (7.10) можна виразити відносно загальної потужності ламп освітлення:

$$N_\Sigma = N \cdot n = (E_н \cdot K_з \cdot z \cdot h_P^2 \cdot \lambda^2) / (\eta_{сп} \cdot C), \text{ кВт} \qquad (7.11)$$

або відносно потужності однієї лампи:

$$N = (E_н \cdot K_з \cdot z \cdot h_P^2 \cdot \lambda^2) / (\eta_{сп} \cdot C), \text{ кВт}, \qquad (7.12)$$

де

h_P – висота встановлення світильника відносно поверхні робочих столів в аудиторії або в житловому приміщенні (м);

λ – відношення відстані L між світильниками до висоти h_P їх встановлення над поверхнею столів, $\lambda = L / h_P$. Залежить від виду світильника, його характеристик, способу встановлення і характеристик приміщення. Величина λ регламентується для окремих типів лічильників і форм кривих світла для них; визначає кількість

---

[4] *Світловіддача (С) - це ефективність джерела світла. Дорівнює відношенню світлового потоку, що випромінює джерело світла у люменах (лм), до споживаної ним потужності у кВт. Нормовані значення величини світловіддачі для ламп різних типів наведено в ДБН В.2.5-28-2005.*

встановлених лічильників, щільність їх розташування і, таким чином, впливає на економічні показники системи освітлення. Рекомендується, щоб величина λ для громадських і житлових будинків не перевищувала 0,5 висоти h_P встановлення світильника.

Із (7.11) видно, що основними факторами, які впливають на потужність, а отже, енергоефективність і економічність системи освітлення, за заданих нормованих показників освітлення є такі:

– коефіцієнт нерівномірності освітлення z;
– світловіддача світильника С. Збільшення показника світловіддачі спричиняє зменшення потужності;
– висота встановлення світильника відносно робочої поверхні (поверхні столів) h_P;
– величина λ, яка визначається характеристиками світильників, їх кількістю і способом встановлення;
– коефіцієнт використання світлового потоку $\eta_{сп}$, який за заданих умов залежить від ККД світильника і форми кривої світла для нього;
– площі, яка освітлюється.

Із наведеного видно, що необхідно говорити не про світильники більш чи менш економічні взагалі, а про світильники, які дають економію електричної енергії в даних умовах їх застосування.

Отже, завдання оптимізації системи освітлення за критерієм економічності необхідно вирішувати для кожного приміщення окремо.

Вибір найекономічнішого варіанта освітлення має здійснюватись за мінімумом функції загальної потужності (7.11) згідно з результатами поваріантних світлотехнічних розрахунків, виконаних при різних величинах факторів впливу, наведених вище. При цьому доцільно змінювати не лише тип ламп і світильників, що впливає на величину світловіддачі С, а й спосіб встановлення світильників, їх кількість, висоту і відстань між ними.

Для практичного виконання світлотехнічних розрахунків розглянемо основні фактори, які впливають на енергоефективність систем освітлення.

Коефіцієнт запасу $К_з$ враховує зменшення освітленості у процесі експлуатації освітлювальних приладів внаслідок забруднення світильників і погіршення віддзеркалювальних властивостей огороджувальних конструкцій приміщення. Для житлових кімнат і навчальних аудиторій згідно з ДБН В. 2.5-28-2006 коефіцієнт запасу можна приймати рівним $К_з$ = 1,4 для люмінесцентних ламп і $К_з$ = 1,2 – для ламп розжарювання. Для аудиторій з висотою підвішування світильників h_P більше 5 м коефіцієнт запасу збільшують на 0,1.

Коефіцієнт нерівномірності освітлення z – відношення середньої освітленості до мінімально можливої, нормованої. Величина z приймається залежно від відношення відстані L між світильниками до висоти h_P їх підвішування над поверхнею робочих столів: $\lambda = L / h_P$. За умови, що відношення $\lambda = L / h_P$ прийнято у межах рекомендованих величин, для громадських і житлових будівель коефіцієнт z приймають рівним 1,15 – для ламп розжарювання і газорозрядних ламп і z = 1,1 – для люмінесцентних ламп. Для систем освітлення віддзеркаленим світлом z приймають рівним 1,0.

Суттєва відмінність величини z від 1,0 має місце для великих приміщень із значним відношенням $\lambda = L / h_P$ і огородженнями, які не віддзеркалюють світло, що на практиці трапляється вкрай рідко. Збільшення нерівномірності освітлення не рекомендується, оскільки це призведе до невиправданого зростання енергетичних витрат.

Кількість n встановлених у приміщенні світильників обмежена величиною максимального світлового потоку одного світильника і залежить від відношення L / h_P. Оптимальним є розташування світильників приміщення у вершинах квадратних полів, зі сторонами L, або прямокутних полів за умови, щоб більша сторона прямокутника L_A не перевищувала 1,5 довжини меншої сторони L_B. Відстань від крайнього ряду світильників до не світлопрозорої стінки L_c не повинна перевищувати $L_c = 0{,}33 \cdot L_A$. За необхідності зменшення розрахункового світлового потоку від одного світильника їх кількість n необхідно збільшувати.

Коефіцієнт використання світлового потоку $\eta_{сп}$ визначають за таблицею 7.3 залежно від віддзеркалювальних властивостей огороджувальних конструкцій приміщення, а також величини індексу приміщення (і), типу світильника і форми кривої світла для нього. Величина $\eta_{сп}$ характеризує ККД світильника і є відношенням загального світлового потоку (Ф), який падає на робочу освітлювальну поверхню (столів) до світлового потоку ламп ($n \cdot Ф_1$):

$$\eta_{сп} = Ф / (n \cdot Ф_1).$$

Частина світлового потоку втрачається у самому світильнику, падає на стіни і стелю.

Таблиця 7.3

Визначення коефіцієнта використання світлового потоку для деяких типів світильників, $\eta_{сп}$, %

Значення коефіцієнтів віддзеркалення $\rho_п$, $\rho_с$, $\rho_р$ за використання світильників типу	Значення коефіцієнта використання світлового потоку $\eta_{сп}$, %, при значенні індексу приміщення (і)																
	I = 0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,3	1,5	1,8	2	2,3	2,5	3	3,5	4	5
"Астра" 70; 50;10	22	32	39	44	47	49	50	52	55	58	60	62	64	66	68	70	73
50; 30;10	20	26	34	38	41	43	45	47	50	53	55	57	59	62	64	66	69
0; 0;0	16	21	29	33	36	37	39	41	44	46	49	51	53	56	59	60	62
УПД ДРЛ 70; 50;10	30	36	40	43	45	47	50	53	56	58	60	62	63	66	67	69	70
50; 30;10	23	30	33	37	40	41	43	47	50	53	56	57	59	60	61	63	66
0; 0;0	18	26	29	33	35	38	40	42	45	48	51	52	53	56	57	58	60
ЛДОР 70; 50;10	25	29	33	36	40	43	45	47	51	54	56	58	60	62	63	64	67
50; 30;10	19	22	26	30	33	36	38	40	44	47	49	51	53	55	56	58	60
0; 0;0	12	16	20	22	25	28	30	32	35	38	40	42	43	45	46	48	50

Продовження таблиці 7.3

Значення коефіцієнтів віддзеркалення $\rho_п$, $\rho_с$, $\rho_р$ за використання світильників типу	Значення коефіцієнта використання світлового потоку $\eta_{сп}$, %, при значенні індексу приміщення (і)																
	І = 0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	1,1	1,3	1,5	1,8	2	2,3	2,5	3	3,5	4	5
НСП 70; 50;10	28	38	42	47	50	54	56	60	63	66	69	71	73	75	77	78	80
50; 30;10	23	30	32	37	42	46	49	52	55	59	62	64	66	68	70	72	74
0; 0;0	16	24	28	32	35	38	41	45	48	51	54	55	57	59	60	61	63
БУН,ПУН 70; 50;10	18	22	25	28	30	32	34	36	39	43	46	48	49	52	54	56	58
50; 30;10	11	13	15	18	20	23	25	26	29	32	34	36	38	40	42	45	47
0; 0;0	5	6	7	10	11	12	13	15	17	20	21	22	24	26	27	29	30
НСП 70; 50;10	10	15	19	21	24	26	27	28	31	35	37	39	43	45	47	50	51
50; 30;10	7	10	14	16	18	20	21	23	25	27	29	30	32	35	37	39	42
0; 0;0	3	6	9	11	13	15	16	17	19	20	21	22	24	25	26	29	30
ЛГІР 70; 50;10	23	29	33	36	39	41	43	45	49	51	53	55	56	58	60	61	63
50; 30;10	19	22	26	29	31	34	35	38	41	44	46	47	49	51	52	53	56
0; 0;0	11	15	18	20	22	24	26	28	30	33	34	36	37	38	40	41	43
ЛПО 70; 50;10	25	31	36	39	42	46	48	51	55	58	61	63	65	68	70	71	75
50; 30;10	20	24	28	32	35	38	41	44	49	52	55	57	59	62	64	66	70
0; 0;0	14	18	22	25	29	32	34	37	42	46	48	51	53	56	58	60	65
ШОД 70; 50;10	22	28	32	38	41	43	46	50	53	55	57	59	61	63	65	67	68
50; 30;10	16	21	24	27	29	31	34	37	40	42	44	45	48	50	52	53	54
0; 0;0	10	12	14	16	18	19	20	22	24	25	27	28	29	30	31	32	34

Визначення величин коефіцієнта використання світлового потоку $\eta_{сп}$ для інших видів світильників можна виконати згідно з таблицями 5.3….5.18, наведеними у праці Кноррінга Г.М. «Справочная книга для проектирования электрического освещения», Л.,1976 р.

У ході визначення величини $\eta_{сп}$ необхідно прийняти певні віддзеркалювальні характеристики для огороджувальних конструкцій приміщення: стелі – ($\rho_п$), стін – ($\rho_с$) і підлоги або робочих поверхонь, які освітлюються – ($\rho_р$). Значення вказаних коефіцієнтів оцінюються суб'єктивно за такою шкалою:

– для стелі і стін коефіцієнти $\rho_п$ та $\rho_с$, відповідно, приймають 70 % – для побілених стелі і стін з вікнами, які закриті білими шторами; 50 % – для побілених стін з незавішеними вікнами, побіленої стелі у сирих приміщеннях або чистої бетонної і світлої дерев'яної стелі; 30% – для бетонної стелі у брудному приміщенні, дерев'яної стелі, бетонної стелі з вікнами, стін із світлими шпалерами; 10% – для стін із темними шпалерами, суцільного засклiння без штор, не тинькованих цегляних стін;

– для робочих поверхонь або підлоги $\rho_р$ = 30%; 10%; 0 % залежно від кольору покриття і віддзеркалювальних характеристик підлоги і робочих поверхонь

(столів). Для робочих поверхонь столів та підлоги темних кольорів усереднену величину ρ_p приймають 30 %. Для лакових поверхонь столів із світлих порід дерева і світло-коричневого кольору підлоги усереднену величину ρ_p приймають 10 %, для аудиторій із світлими креслярськими дошками і підлогою світлих тонів ρ_p = 0%.

Індекс приміщення (і) залежить від геометричних параметрів приміщення, яке освітлюється (довжини А і ширини В) висоти h_P підвішування світильників над робочою поверхнею (столами) і визначається за такою залежністю:

$$i = A \cdot B / [h_P \cdot (A + B)]. \qquad (7.13)$$

Для використання величини індексу приміщення (і) його необхідно округлити до найближчої величини із ряду значень: 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,1; 1,25; 1,5; 1,75; 2,0; 2,25; 2,5; 3,0.

При виборі типів світильників можна керуватись даними заводів–виготівельників і таким типорядом:

– світильники з люмінесцентними лампами для навчальних аудиторій і гуртожитків: типу 2010; ЛПО; УСП; ОЛС; ЛПР; ЛСО; ШОД; ЛПН;

– світильники з лампами розжарювання: стельового типу НПО; ПЛ; ПП; ПУН; ПО; НСП; арт. 38; арт. 198; арт. 351; арт. 352; підвісного типу арт. 280; арт. 283; арт. 285; арт. 286; арт. 287; арт. 287;

– світильники з лампами розжарювання для приміщень промислового призначення: типу ППР; НСП; НСР; ППД; «Астра»; «Ватра»; УПД.

Вибір ламп здійснюється із такого ряду:

– лампи розжарювання типу Б, Г, БК із усередненою величиною світловіддачі С = 7…19 лм / Вт;

– люмінесцентні лампи типу ЛДЦ (поліпшеної кольоропередачі); ЛД (денного світла); ЛТБ (теплого білого світла); ЛБ (білого світла); ЛХБ (холодного білого світла); ЛХБЦ або ЛЕ (холодного білого світла поліпшеної кольоропередачі); у тому числі компактні люмінесцентні – з світловіддачею від 75 до 110 лм / Вт. Основним рекомендованим типом ламп для навчальних аудиторій є люмінесцентні лампи типу ЛБ. Заміна таких ламп на ЛД або ЛДЦ призводить до зменшення освітлення, збільшення пульсацій освітленості і появі враження про недостатнє освітлення. Для ввімкнення таких ламп необхідно використовувати пускорегулювальну апаратуру (ПРА) певної потужності. Так, потужність ПРА типу СК-220 становить 15… 60 Вт залежно від типу і потужності лампи;

– світлодіодні лампи СВД із світловіддачею до 70…90 лм / Вт (в кращих зразках сучасних ламп світловіддача може досягати 120…130 лм / Вт);

– для зовнішнього освітлення можливим є використання дугових ртутних ламп (ДРЛ) із світловіддачею 40…60 лм / Вт;

– ксенонові лампи, такі як ДКсТ із світловіддачею 20…45 лм / Вт. Область використання таких ламп обмежується внаслідок шкідливого для людей надлишку в їх спектрі ультрафіолетового випромінювання і значної пульсації світлового потоку;

– металогалогенові і натрієві лампи ДРІ і ДНаТ, галогенові лампи розжарювання типу КГ зі світловіддачею до 90…100 лм / Вт.

При виборі ламп бажано, щоб не менше 80 % усієї освітленості створювалось одним типом ламп.

Технічні характеристики ламп для виконання світлотехнічного розрахунку наведені у таблиці 7.4.

Таблиця 7.4

Технічні характеристики ламп

№	Тип лампи	Світловий потік $Ф_1$ у лм за напруги у вольтах (В)		Потужність, Вт
		220	220…230	
Лампи розжарювання загального призначення				
1	Б (безспіральні газонаповнені)	715	550	60
2	БК (безспіральні криптонові)	790	-	60
3	Б	1350	1250	100
4	БК	1450	-	100
5	Г (газонаповнені)	2000	-	150
6	Б	2100	1840	150
7	Г	2800	-	200
8	Б	2920	2540	200
9	Г	4600	4000	300
10	Г	8300	7200	500
11	Г	13100	-	750
12	Г	18600	-	1000
13	Г	29000	-	1500
Люмінесцентні лампи				
14	ЛДЦ 15 – 4	500	450 (мін.)	15
15	ЛД 15 – 4	590	530	
16	ЛТБ 15 – 4	700	630	
17	ЛБ 15 – 4	760	690	
18	ЛДЦ 20 – 4	820	735	20
19	ЛД 20 – 4	920	825	
20	ЛТБ 20 – 4	975	875	
21	ЛБ 20 – 4	1180	1050	
22	ЛДЦ 30 – 4	1450	1305	30
23	ЛД 30 – 4	1640	1475	
24	ЛТБ 30 – 4	1720	1545	
25	ЛБ 30 – 4	2100	1890	
26	ЛДЦ 40 – 4	2200	1990	40
27	ЛД 40 – 4	2340	2225	
28	ЛТБ 40 – 4	2580	2450	
29	ЛБ 40 – 4	3000	2700	
30	ЛДЦ 80 – 4	3560	3200	80
31	ЛД 80 – 4	4070	3600	
32	ЛТБ 80 – 4	4440	4165	
33	ЛБ 80 – 4	5220	4685	

Продовження таблиці 7.4

№	Тип лампи	Світловий потік $Ф_1$ у лм за напруги у вольтах (В)		Потужність, Вт
		220	220…230	
34	ЛХБ 150	8000	7500	150
35	ЛБU 80	3680	3400	80
Ртутні дугові лампи високого тиску (зовнішнє освітлення)				
36	ДРЛ 80	3200	-	80
37	ДРЛ 125	5600	-	125
38	ДРЛ 250	11000	-	
39	ДРЛ 400	19000	-	400
40	ДРЛ 1000	50000	-	1000
Металогалогенні лампи (зовнішнє освітлення)				
41	ДРІ 250	18700	-	250
42	ДРІ 400	32000	-	400
43	ДРІ 700	59500	-	700

Джерело: Кнорринг Г.М. Справочная книга для проектирования электрического освещения. – Л.,1976.

Після визначення величини необхідного світлового потоку $Ф_1$ згідно із залежністю (7.10) здійснюється вибір необхідного світильника за каталогами виробників і визначається його потужність. Світловий потік вибраного світильника не повинен відрізнятись від розрахункової величини більш як на 10 % в меншу сторону і на 20 % – у більшу сторону. Повторюють світлотехнічний розрахунок за інших умов, змінюючи вид світильників, висоту і схему їх розташування, вид лампі, якщо можливо, віддзеркалювальні характеристики огороджень.

Згідно із залежністю (7.11) визначають загальну потужність систем освітлення за кожним із варіантів. До впровадження приймають варіант влаштування освітлення із мінімальною величиною потужності освітлювальних приладів.

При виконанні енергетичного аудиту різницю між розрахунковою і дійсною потужністю системи освітлення ідентифікують як потенціал енергозбереження у системі освітлення і розробляють відповідні заходи для реалізації оптимальної системи освітлення.

Задачі із розв'язанням.

Задача 12. Визначити коефіцієнт використання світлового потоку $\eta_{сп}$ для систем освітлення приміщення із такими характеристиками:

– індекс приміщення і = 2,0;

– показники віддзеркалення: стелі $\rho_п$ = 50%; стін $\rho_с$ = 30%; робочих поверхонь $\rho_р$ = 10 %.

Світильник типу НСП.

Розв'язання.

Згідно із таблицею 7.3 для світильника типу НСП і вказаних характеристик приміщення визначаємо величину $\eta_{сп}$ = 29 % (0,29).

Задача 13. В аудиторії площею 200 м^2, для якої вище було визначено індекс і = 2,0, встановлено 24 світильники типу НСП. Необхідно забезпечити нормативний показник штучного освітлення $E_н$ = 200 лк при $K_з$ = 1,2. Визначити потужність системи освітлення.

Розв'язання.

Згідно із залежністю (7.10) визначаємо величину світлового потоку $Ф_1$ від одного світильника:

$$Ф_1 = (E_н \cdot K_з \cdot S \cdot z) / (п \cdot \eta_{сп}) = (200 \cdot 1,2 \cdot 200 \cdot 1,15) / (24 \cdot 0,29) = 7931 \text{ лм},$$

де

$E_н$ – нормативний показник освітлення, $E_Н$ = 200 лк;

$K_з$ – коефіцієнт запасу, $K_З$ = 1,2;

S – площа приміщення, яке освітлюється, S = 200 м^2;

z – коефіцієнт нерівномірності освітлення, z = 1,15;

п – кількість світильників, які встановлено у приміщенні, п = 12;

$\eta_{сп}$ – коефіцієнт використання світлового потоку, $\eta_{СП}$ = 0,29.

Згідно із табл. 7.4 за величиною $Ф_1$ = 7931 лм вибираємо лампи розжарювання типу «Г» потужністю 500 Вт кожна.

Загальна потужність системи освітлення аудиторії повинна становити не менше як $N_Σ = N \cdot п$ = 500 · 24 = 12000 Вт = 12,0 кВт.

Задача 14. Визначити розрахунковий потенціал енергозбереження системи штучного освітлення навчальної аудиторії ВНЗ. Дійсна величина потужності системи електричного освітлення аудиторії за результатами енергетичного аудиту становить $N_Σ^д$ = 27 кВт. Аудиторія розмірами А = 30 м, В = 12 м, площею S = 360 м^2 має средню висоту 4,8 м. Приміщення має побілену стелю і стіни з панелями, які пофарбовано у темний колір. Виконати поваріантний світлотехнічний розрахунок, здійснити вибір найбільш енергоефективної системи освітлення.

Розв'язання.

1. Призначаємо віддзеркалювальні характеристики огороджень приміщення:
- стелі $ρ_п$ = 70 %;
- стін $ρ_с$ = 30 %;
- робочих поверхонь столів $ρ_р$ = 10 %.

2. В якості світильників вибираємо такі:
- для ламп розжарювання – світильник типу ПУН;
- для люмінесцентних ламп – світильник типу ЛПР.

Вказані світильники мають криві світлорозподілення, для яких можна приймати величину λ близько 1,4.

3. Розміщаємо світильники на схемі приміщення (див. рис. 7.1). За прийнятої схеми кількість світильників із лампами розжарювання повинна становити n = 21 шт. Люмінесцентні лампи (кількість їх поки що невідома) будуть встановлені у три ряди (n = 3).

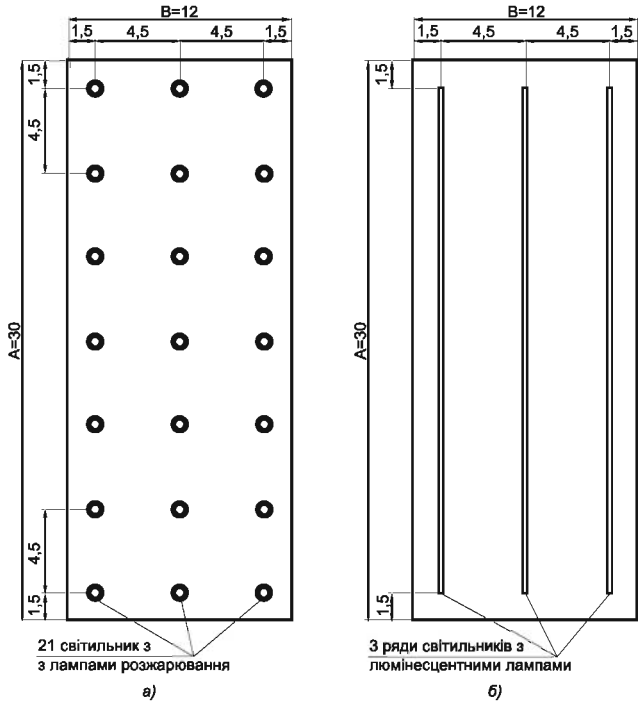


Рисунок 7.1 – Схема розміщення світильників:
а) схема розміщення світильників із лампами розжарювання;
б) схема розміщення світильників із люмінесцентними лампами

Робочу висоту підвішування світильників (відстань від поверхні столів до світильників) вибираємо відповідно до величини параметру $\lambda = L / h_P$ – відношення відстані L між світильниками до висоти h_P їх підвішування над поверхнею робочих столів, $h_P = 3{,}2$ м.

4. Коефіцієнти запасу $K_З$ і нерівномірності освітлення z призначаємо залежно від виду ламп:

– для ламп розжарювання $K_з = 1{,}2$; $z = 1{,}15$;
– для люмінесцентних ламп $K_з = 1{,}4$; $z = 1{,}1$.

5. Визначаємо величину індексу приміщення згідно з залежністю (7.13):

$i = A \cdot B / [h_P \cdot (A + B)] = 30 \cdot 12 / [3{,}2 \cdot (30 + 12)] = 2{,}67 \approx 2{,}5$.

6. Згідно з вимогами ДБН В. 2.5-28-2006 за таблицею 5.5 посібника визначаємо для аудиторії ВНЗ нормований показник освітлення $E_н = 400$ лк.

7. Визначаємо коефіцієнт використання світлового потоку $\eta_{сп}$ згідно з табл. 7.3:

– для світильників ПУН з лампами розжарювання $\eta_{сп}$ = 0,49;
– для світильників ЛПР з люмінесцентними лампами $\eta_{сп}$ = 0,58.

8. Визначаємо світловий потік $Ф_1$ від одного світильника (або одного ряду):
– для ламп розжарювання:
$Ф_1 = (E_н \cdot K_з \cdot S \cdot z) / (n \cdot \eta_{сп}) = (400 \cdot 1,2 \cdot 360 \cdot 1,15) / (21 \cdot 0,49) =$ 19311 лм;
– для люмінесцентних ламп:
$Ф_1 = (E_н \cdot K_з \cdot S \cdot z) / (n \cdot \eta_{сп}) = (400 \cdot 1,4 \cdot 360 \cdot 1,1) / (3 \cdot 0,58) =$ 127448 лм.

9. Здійснюємо вибір ламп для світильників:
– для ламп розжарювання: кожна лампа за ГОСТ 2239-79 типу Г потужністю 1 кВт. Загальна потужність ламп розжарювання $N_\Sigma = N \cdot n = 21 \cdot 1,0 = 21$ кВт;
– для люмінесцентних ламп: довжина одного світильника 1,3 м, кількість ламп, які можна встановити в одному світильнику, становить 2 шт. Якщо в кожному світильнику встановити по дві лампи типу ЛБ потужністю 40 Вт і світловим потоком у 3000 лк кожна, то один світильник забезпечить світловий потік у 6000 лк.

Кількість світильників у одному ряду при цьому становитиме 127448 / 6000 ≈ 21 шт. За довжини одного світильника 1,3 м загальна довжина світильників буде становити 21 · 1.3 = 27 м, що дає можливість розташувати світильники без розривів по всій довжині приміщення. Загальна кількість ламп для приміщення становить 21 · 2 · 3 = 126 ламп загальною потужністю $N_\Sigma = N \cdot n = 40 \cdot 126 =$ 5040 Вт = 5,0 кВт. З урахуванням потужності пускорегулювальної апаратури загальна потужність системи освітлення становитиме 7,3 кВт.

Висновок.

Найбльш енергоефективною є система освітлення аудиторії люмінесцентними лампами. За умови роботи системи освітлення протягом 250 робочих днів в середньому по дві години щодобово потенціал енергозбереження (П) системи освітлення однієї аудиторії університету становитиме:

$$П = (N_\Sigma^д - N_\Sigma) \cdot т = (27 - 7,3) \cdot 250 \cdot 2 = 9850 \text{ кВт} \cdot \text{год за рік},$$

де т – тривалість роботи системи освітлення протягом року, год.

Економія 9850 кВт · год електричної енергії дасть можливість отримати річну економію коштів у розмірі 8870 грн лише за рахунок оптимізації системи освітлення в одній аудиторії (тариф на електричну енергію станом на кінець 2010 р. становить близько 0,90 грн за 1 кВт · год).

Задачі для самостійного розв'язання.

Задача 15. Виконати світлотехнічний розрахунок для житлової кімнати у гуртожитку ВНЗ розміром у плані А = 8 м, В = 4 м. Вибрати найбільш енергоефективний варіант системи освітлення. Висота приміщення становить 3 м. Стеля приміщення побілена, стіни оклеєні світлими шпалерами. Коефіцієнт віддзеркалення робочої

поверхні прийняти 10 %.

Задача 16. Визначити мінімально можливу потужність системи штучного освітлення кабінету технічного креслення Полтавського національного технічного університету. Розмір кабінету у плані А = 10 м, В = 6 м. Висота приміщення – 4 м. Стеля приміщення побілена, стіни обшиті світлим деревом, робочі столи – світлі креслярські дошки. Вибір світильників і ламп здійснити самостійно.

Задача 17. Визначити, як зміниться потужність системи освітлення житлової кімнати гуртожитку керамічного технікуму у м. Миргороді за умови зміни віддзеркалювальних характеристик огороджувальних конструкцій кімнати і типу освітлювальних ламп. Під час ремонту житлової кімнати темні шпалери замінено на світлі, здійснено побілку стелі, колір підлоги змінено з темного на світлий. Площа житлової кімнати 18 м^2. Освітлення кімнати здійснювалось до ремонту лампами розжарювання, а після ремонту – люмінесцентними лампами. Розміри кімнати А = 5 м, В = 3,6 м, висота кімнати 3,5 м.

РОЗДІЛ 8
ОРГАНІЗАЦІЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО АУДИТУ У ЖИТЛОВИХ БУДІВЛЯХ, НАВЧАЛЬНИХ КОРПУСАХ ТА ІНШИХ СПОРУДАХ УНІВЕРСИТЕТСЬКИХ МІСТЕЧОК

Витрати теплоти на потреби опалення будинку, які будуть отримані з рівняння теплового балансу за дійсних параметрів внутрішнього і зовнішнього повітря, повинні відповідати показанням теплового лічильника, встановленого у вузлі теплового вводу будинку.

$$Q_{оп.} = (Q_{транс.} + Q_{інф.}) - [Q_{гв}^{тр.} + (Q_{вент.}^{тр.} + Q_{вент.}) + Q_{осв.} + Q_{сон.} + Q_{ел.обл.} + Q_{техн.} + Q_{люд.} + Q_{вн.огор.} + Q_{інші}] = Q_{ліч.}, \quad (8.1)$$

де

$Q_{оп.}$ – надходження теплоти від системи опалення;

$Q_{гв}^{тр.}$ – надходження теплоти від неізольованих трубопроводів системи гарячого водопостачання, які прокладені у приміщеннях будівлі (з урахуванням циркуляційних трубопроводів);

$Q_{вент.}^{тр.}$ – надходження теплоти від неізольованих повітропроводів та обладнання системи вентиляції і кондиціювання повітря;

$Q_{вент.}$ – надходження теплоти з повітрям систем припливної вентиляції або кондиціювання;

$Q_{осв.}$ – надходження теплоти від систем штучного освітлення приміщень будівлі;

$Q_{сон.}$ – надходження теплоти від сонячної радіації через світлопрозорі прорізи і огородження будівлі;

$Q_{ел.обл.}$ – надходження теплоти від електрообладнання під час переходу механічної і електричної енергії у теплову;

$Q_{техн.}$ – теплонадходження від нагрітого технологічного обладнання і матеріалів;

$Q_{люд.}$ – теплонадходження від людей;

$Q_{вн.огор.}$ – теплонадходження через огороджувальні конструкції суміжних приміщень (через внутрішні огородження);

$Q_{інші}$ – інші теплонадходження, залежно від призначення будівлі;

$Q_{транс.}$ – втрати теплоти через огороджувальні конструкції приміщень (трансмісійні втрати теплоти);

$Q_{інф.}$ – втрати теплоти на нагрівання зовнішнього повітря, яке інфільтрується у приміщення будівлі через двері, вікна та інші нещільності в огородженнях будівлі;

$Q_{ліч.}$ – кількість теплоти на потреби опалення, що була зафіксованою відповідно до показань теплового лічильника.

Після підстановки в рівняння теплового балансу (8.1) нормованих параметрів внутрішнього і зовнішнього повітря можуть бути отримані такі варіанти:

1. $Q_{ліч.} < Q_{оп.}$ – у будівлі здійснюються адміністративні методи енергозбереження за рахунок погіршення параметрів мікроклімату; неправильно ідентифіковано теплотехнічні характеристики огороджувальних конструкцій; існують інші помилки під час складання теплового балансу.

2. $Q_{ліч.} > Q_{оп.}$ – наявні перевитрати теплоти на об'єкті енергоаудиту; неправильно визначено теплотехнічні характеристики огороджувальних конструкцій, існують інші помилки під час складання теплового балансу.

3. $Q_{ліч.} = Q_{оп.}$ – модель адекватна, витрати теплоти на опалення відповідають дійсним теплотехнічним характеристикам будівлі.

За наявності у будівлях власних джерел теплоти важливо скласти баланс по паливу, який записано у вигляді залежності (8.2):

$$B \cdot Q_н^р \cdot \eta_{нетто} = (Q_{оп.}^ж + Q_{оп.}^{гр.} + Q_{гв}^ж + Q_{гв}^{гр.} + Q_{вент.}^{гр.}) + (Q_{охол.}^{втр.} + Q_{виток.}^{втр.}), \quad (8.2)$$

де

B – витрати палива у котельні за результатами приладового обліку;

$Q_н^р$ – теплота згоряння палива за даними сертифіката якості палива;

$\eta_{нетто}$ – середньозважений за період спостереження ККД «нетто» котелень.

У правій частині теплового балансу (8.2) – потреба споживачів у теплоті для опалення житлових, громадських та інших будівель $Q_{оп.}^ж$, $Q_{оп.}^{гр.}$, гарячого водопостачання $Q_{гв}^ж$, $Q_{гв}^{гр.}$, вентиляції $Q_{вент.}^{гр.}$, а також втрати теплоти у теплових мережах – з охолодженням води $Q_{охол.}^{втр.}$ і з витоками води $Q_{виток.}^{втр.}$. У лівій частині – витрачений тепловий потенціал палива за результатами обліку витрат газу і показань лічильника газу. Баланс складається для розрахункової температури зовнішнього повітря, будь-якого іншого значення температури зовнішнього повітря, а також в цілому за рік. Допустима похибка складання теплових балансів становить 10…15 %.

У результаті впровадження енергозберігальних заходів досягають підвищення ефективності процесу трансформації енергії на одному із зазначених вище етапів за рахунок зменшення втрат теплоти. Власне, величина ККД і визначається як різниця між вихідною кількістю теплоти, яку приймають за 100 % (1,0 част. од.), і втратами теплоти, які також виражають у % або у част. од.:

$$\eta_\Sigma = 1 - \Delta q_\Sigma, \text{ (част. од.)}, \quad (8.3)$$

де

Δq_Σ – сумарні непродуктивні втрати теплоти від джерела енергії до етапу, на якому було досягнуто зменшення споживання енергії, част. од. Так, для теплоти, яка відпускається споживачам, втрати визначатимуться за сумою втрат на етапі вироблення і транспортування $\Delta q_\Sigma = \Delta q_к + \Delta q_т$, а для кількості теплоти, що відпускається з котельні у теплові мережі, величина сумарних втрат $\Delta q_\Sigma = \Delta q_к$ визначається лише втратами у джерелі теплоти.

Величину сумарного (результуючого) ККД на будь-якому етапі трансформації енергії можна визначити за добутком елементарних величин ККД на кожному з етапів трансформації. Наприклад, результуючий ККД на вході енергії до будівлі визначається за залежністю (8.4):

$$\eta_\Sigma = \eta_к \cdot \eta_т, \text{ част. од.}, \quad (8.4)$$

де

$\eta_к$ – ефективність вироблення енергії, $\eta_к = 1 - \Delta q_к$ (ККД вироблення теплоти у котельні для системи централізованого теплопостачання), част. од.;

$\eta_т$ – енергетична ефективність на етапі транспортування теплоти, $\eta_т = 1 - \Delta q_т$, характеризує величину втрат теплоти лише на етапі транспортування, част. од.

Для етапу відпуску теплоти з котельні у теплову мережу $\eta_\Sigma = \eta_к$.

Втрати теплоти можна виразити не лише у част. од. від вихідної кількості теплоти, а й в абсолютному вимірі – у кВт · год, кДж або ккал. Тоді кількість теплоти $Q_{сп.}$, відпущеної споживачам, можна визначити за відомими величинами первинної енергії палива, підведеної до джерела теплоти ($Q_п$), і відомими втратами теплоти на джерелі енергії ($\Delta Q_к$) та в теплових мережах ($\Delta Q_т$) за залежністю (8.5):

$$Q_{сп.} = Q_п - (\Delta Q_к + \Delta Q_т), \text{ кВт · год; ккал; кДж}, \qquad (8.5)$$

де $\Delta Q_к$ і $\Delta Q_т$ – абсолютні значення втрат теплоти на етапі вироблення і транспортування, відповідно, у кВт · год, ккал, кДж.

Необхідна товщина шару утеплювача визначається за величиною додаткового опору теплопередачі, на який потрібно збільшити значення опору наявної конструкції, щоб досягти вимог нормативної документації:

$$\delta_{із.} = (R_н - R_д) \cdot \lambda_{із.}, \qquad (8.6)$$

де

$\delta_{із.}$ – необхідна товщина шару утеплювача, м;

$R_н$ – нормована величина опору теплопередачі згідно з вимогами ДБН В.2.6-31, $м^2$ · град / Вт;

$R_д$ – дійсна величина опору теплопередачі наявної конструкції в $м^2$ · град / Вт, визначається за методикою, викладеною у розділі 4.

$\lambda_{із.}$ – коефіцієнт теплопровідності шару утеплювача, Вт / м · град за даними таблиці додатка Ж.

Енергетична ефективність роботи теплового насоса оцінюється коефіцієнтом перетворення енергії $\eta_{тн}$, що чисельно визначається як відношення кількості одержаного тепла q до витраченої зовні роботи $l_з$:

$$\eta_{тн} = q / l_з = T_к / (T_к - T_в), \qquad (8.7)$$

де

$T_к$ – температура процесу передачі теплоти споживачеві (температура конденсації), К;

$T_в$ – температура процесу відбору теплоти від вторинного джерела енергії, (температура випаровування), К.

Задачі з розв'язанням.

Задача 1. Річні витрати природного газу з теплотою згоряння 9,9 кВт · год / м^3 в автономній котельні навчального корпусу ВНЗ у м. Дніпропетровську становлять 154 тис. м^3 за опалювальний період. Розрахункові витрати теплоти на потреби опалення будівлі навчального корпусу за результатами енергетичного аудиту становлять $Q_{оп.}$ = 340 кВт. Інші споживачі теплоти у будівлі відсутні. Середній за рік ККД на етапі вироблення теплоти становить $\eta_к$ = 0,8. Втрати теплоти на етапі споживання теплоти становлять $\Delta q_{сп.}$ = 7 % кількості виробленої у котельні теплоти. Перевірити, чи відповідають річні витрати газу річним розрахунковим витратам теплоти на опалення. Середня за опалювальний період температура зовнішнього повітря становила +1,5 ^{0}С. Середня за опалювальний період температура внутрішнього повітря у будівлі навчального корпусу становить +18 ^{0}С. Тривалість опалювального періоду відповідає нормованим параметрам: $n_{оп.н} = n_{оп.}$

Розв'язання.

1. Визначаємо розрахункові параметри зовнішнього повітря для м. Дніпропетровська:
   - розрахункова нормована температура зовнішнього повітря для систем опалення $t_з$ = -24 ^{0}С;
   - нормована середня температура опалювального періоду $t_{сер.}{}^н$ = -0,6 ^{0}С;
   - нормована тривалість опалювального періоду $n_{оп.н}$ = 172 доби = 4128 год.

2. Визначаємо витрати теплоти на опалення за дійсної середньої температури зовнішнього повітря $t_{сер.}$ = +1,5 ^{0}С згідно із залежністю (6.25):

$$Q_{оп.}{}^{сер.} = Q_{оп.} \cdot [(t_в - t_{сер.}) / (t_в - t_з)] = 340 \cdot [(18 - 1{,}5) / (18 + 24)] = 340 \cdot 0{,}393 = 133{,}6 \text{ кВт.}$$

3. Визначаємо річні витрати теплоти на потреби опалення згідно із залежністю (6.26):

$$Q_{рік} = Q_{оп.}{}^{сер.} \cdot n_{оп.} = 133{,}6 \cdot 4128 = 551501 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 474{,}29 \text{ Гкал.}$$

4. Кількість теплоти, яка повинна бути відпущеною до будівлі навчального корпусу, визначається з урахуванням втрат теплоти у ході її споживання. Згідно з умовою задачі такі втрати становлять 7 % виробленої у котельні теплоти. Отже, річна кількість теплоти, яка повинна бути відпущена до будівлі навчального корпусу, становить:

$$Q_{рік} / (1 - \Delta q_{сп.}) = 474{,}29 / (1 - 0{,}07) = 509{,}99 \text{ Гкал} = 593012 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

5. Визначимо річні витрати природного газу, які повинні мати місце для вироблення вказаної кількості теплоти з коефіцієнтом корисної дії на етапі вироблення теплоти $\eta_к$ = 0,8:

$$B = 593012 / 0,8 \cdot 9,9 = 74875 \text{ м}^3 / \text{год}.$$

6. Порівнюємо одержану величину необхідних витрат газу для забезпечення потреби будівлі у теплоті на опалення з дійсною величиною витрат газу, що зафіксована у вузлі обліку витрат газу: 74875 < 154000.

Зазначена нерівність свідчить про те, що дійсні витрати газу значно більші за розрахункові. Це може бути спричинене таким:

– низька ефективність процесу вироблення теплоти у джерелі теплоти, тому дійсна величина ККД на етапі вироблення теплоти значно менша за декларовану;

– значні похибки при визначенні витрат природного газу у вузлі обліку, некоректний облік газу; помилки при зведенні витрат газу до стандартних умов;

– помилка при визначенні розрахункових витрат теплоти на потреби опалення.

Задача 2. На етапі споживання теплоти досягнуто економію теплоти у $\Delta Q_{сп.}$ = 10000 кВт · год за рахунок термомодернізації будівлі. Визначити економію первинної енергії палива у котельні і величину економії витрат палива – природного газу з теплотою згоряння 10 кВт · год / м^3. Величина ККД вироблення теплоти у котельні $\eta_к$ = 0,8, енергетична ефективність на етапі транспортування теплоносія у теплових мережах становить $\eta_т$ = 0,85. Непродуктивні втрати теплоти на рівні споживання становлять 5 % (ефективність використання теплоти у споживачів $\eta_{сп.}$ = 0,95).

Розв'язання.

1. Визначаємо загальний коефіцієнт перетворення первинної енергії з урахуванням усіх етапів трансформації теплоти згідно із залежністю:

$$k_{сп.} = 1 / \eta_\Sigma = 1 / \eta_т \cdot \eta_к \cdot \eta_{сп.} = 1 / 0,85 \cdot 0,8 \cdot 0,95 = 1 / 0,646 = 1,55.$$

2. Визначаємо економію первинної енергії палива (природного газу) за формулою:

$$\Delta Q_к = \Delta Q_{сп.} \cdot k_{сп.} = 10000 \cdot 1,55 = 15500 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

3. Визначаємо економію природного газу з теплотою згоряння $Q_н^р$ = 10 кВт · год / м^3:
$\Delta B = \Delta Q_к / Q_н^р = 15500 / 10 = 1550$ м^3.

Висновок.

Економія теплоти у кількості 10000 кВт · год за рахунок термомодернізації будівлі дає можливість отримати економію теплоти на етапі її вироблення у кількості 15500 кВт · год, що еквівалентно економії 1550 м^3 природного газу.

Задача 3. В результаті заміни газопальникових пристроїв котельних агрегатів середньорічний ККД на етапі вироблення теплоти вдалося збільшити на 7 % (з 80 % до 87 %). Річна кількість теплоти, яка вироблялась у котельні до заміни пальників у котельні, становила 250500 кВт · год = 215,43 Гкал. Теплота згоряння

природного газу становить $Q_н^р$ = 10 кВт · год / м^3. Визначити економію палива у результаті реконструкції котельних агрегатів і заміни їх пальників.

Розв'язання.

Визначаємо величину річної економії природного газу згідно з залежністю (8.10) посібника:

$$\Delta B = (Q_к / Q_н^р) \cdot [(1 / \eta'_к) - (1 / \eta''_к)] = (250500 / 10) \cdot [(1 / 0,8) - (1 / 0,87)] = 25050 \cdot 0,1 = 2505 \text{ м}^3.$$

Висновок.

Річна економія природного газу у результаті збільшення ККД на етапі вироблення теплоти на 7 % становить 2505 м^3.

Задача 4. Визначити необхідну товщину теплової ізоляції у вигляді мінераловатних плит щільністю 50 кг / м^3 для отримання нормованих характеристик горищного перекриття 3-поверхового навчального корпусу ВНЗ у м. Вінниці. Величина опору теплопередачі перекриття на теперішній стан за результатами енергетичного аудиту будівлі становила $R_д$ = 1,2 м^2 · град / Вт. Середню температуру внутрішнього повітря прийняти +20 ^{0}С.

Розв'язання.

1. Визначаємо розрахункові нормовані параметри зовнішнього повітря для м. Вінниці:

– розрахункова нормована температура зовнішнього повітря для систем опалення $t_з$ = -21 ^{0}С;

– нормована середня температура опалювального періоду $t_{сер.}^н$ = -0,7 ^{0}С;

– нормована тривалість опалювального періоду $n_{оп.н}$ = 180 діб = 4320 год.

2. Визначаємо температурну зону для м. Вінниці. Для цього визначаємо кількість градусо-діб (ГД) згідно із залежністю (4.10):

ГД = $n_{оп.} \cdot (t_в - t_{сер.}^н)$ = 180 · (20 + 0,7) = 3726 градусо-діб, що більше за 3501 градусо-діб. Отже, м. Вінниця належить до 1-ї температурної зони України.

3. За номером температурної зони згідно із таблицею додатка 3 визначаємо нормовану величину опору теплопередачі перекриття, яке межує з холодним повітрям, $R_н$ = 3,5 м^2 · град / Вт. Порівняння нормованої і дійсної величини термічного опору свідчить, що теплозахисні характеристики перекриття на теперішній стан не задовольняють сучасним вимогам енергозбереження.

4. Згідно із довідниковими даними (додаток И) визначаємо коефіцієнт теплопровідності для теплоізоляційного матеріалу – мінеральної вати із щільністю 50 кг / м^3. Коефіцієнт теплопровідності $\lambda_{із.}$ = 0,06 Вт / м · град.

5. Визначаємо необхідну товщину теплової ізоляції для перекриття згідно із залежністю (8.6) :

$$\delta_{із.} = (R_н - R_д) \cdot \lambda_{із.} = (3,5 - 1,2) \cdot 0,06 = 0,138 \text{ м} = 138 \text{ мм}.$$

Висновок.

Для забезпечення необхідних нормованих теплозахисних характеристик перекриття необхідно нанести на нього додатковий шар теплової ізоляції завтовшки близько 140 мм.

Задача 5. Середня питома теплопродуктивність сонячного вакуумного колектора на широті м. Полтави становить близько 300 Вт з 1 м^2 колектора. Площа колекторів, які встановлено на навчальному корпусі сільськогосподарського університету, становить 5 м^2. Визначити кількість теплоти, яку можна отримати протягом 8 год однієї доби від сонячних колекторів. Якою буде еквівалентна кількість зекономленого природного газу:

– протягом доби;
– протягом одного місяця?

Розв'язання.

1. Визначаємо кількість теплоти, яку можна отримати з 5 м^2 сонячного колектора потягом 8 год дії сонячної радіації за умов середньої теплопродуктивності колектора 300 Вт / м^2:

$$Q = 300 \cdot 5 \cdot 8 = 1500 \text{ Вт} = 12 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

2. Визначаємо еквівалентну кількість зекономленого природного газу. Теплота згоряння 1 м^3 природного газу становить близько 10 кВт · год. Таким чином, протягом однієї доби 5 м^2 сонячних вакуумних колекторів дадуть економію теплоти, еквівалентну первинній теплоті згоряння 1,2 м^3 природного газу.

3. Економія природного газу за один місяць (за умови безхмарного неба) становитиме 36 м^3. Такої кількості палива достатньо для нагрівання протягом 12…14 хв води, що витікатиме із одного змішувача душа.

Задача 6. Зробити висновки за результатами енергетичного аудиту навчального корпусу ВНЗ у м. Чернівці, якщо за умов постійної температури зовнішнього і внутрішнього повітря отримано такі результати:

– надходження теплоти від неізольованих трубопроводів системи гарячого водопостачання, які прокладено у приміщеннях будівлі (з урахуванням циркуляційних трубопроводів), $Q_{гв}^{тр.}$ = 2,1 кВт;
– надходження теплоти від систем штучного освітлення приміщень будівлі $Q_{осв.}$ = 12 кВт;
– надходження теплоти від електрообладнання при переході механічної і електричної енергії у теплову $Q_{ел.обл.}$ = 4 кВт;
– теплонадходження від людей $Q_{люд.}$ = 8 кВт;
– втрати теплоти через огороджувальні конструкції приміщень (трансмісійні втрати теплоти) $Q_{транс.}$ = 80 кВт;
– втрати теплоти на нагрівання зовнішнього повітря, яке інфільтрується у приміщення будівлі через двері, вікна та інші нещільності в огородженнях будівлі, $Q_{інф.}$ = 45 кВт;

– кількість теплоти на потреби опалення, що зафіксована на основі показань теплового лічильника $Q_{ліч.}$ = 150 кВт.

Розв'язання.

1. Визначаємо потребу у теплоті на опалення навчального корпусу з урахуванням як втрат теплоти, так і її надходжень згідно з залежністю (8.10) посібника:

$$Q_{оп.} = (Q_{транс.} + Q_{інф.}) - [Q_{гв}^{тр.} + Q_{осв.} + Q_{сон.} + Q_{ел.обл.} + Q_{люд.}] = 80 + 45 - (2,1 + 12 + 4 + 8) = 125 - 26,1 = 98,9 \text{ кВт}.$$

Витрати теплоти протягом однієї години становитимуть 98,9 кВт · год.

2. Виконуємо порівняння одержаної величини з показаннями теплового лічильника, який зафіксував годинні витрати теплоти будівлею $Q_{ліч.}$ = 150 кВт · год:

$$150 > 98,9.$$

$Q_{ліч.} > Q_{оп.}$ Отже, якщо результати енергетичного аудиту правильні, то у навчальному корпусі мають місце значні перевитрати теплової енергії, що повинно відображатись на температурі внутрішнього повітря у приміщеннях. Як варіант варто ще раз переглянути результати енергетичного аудиту у частині визначення основних складових теплового балансу і визначення теплотехнічних характеристик огороджувальних конструкцій будівлі.

Задачі для самостійного розв'язання

Задача 7. Втрати теплоти на етапі вироблення становлять 15 %, на етапі транспортування – 18 %, а на етапі споживання – 7 %. Визначити загальні втрати теплоти і коефіцієнт перетворення первинної енергії.

Задача 8. На етапі транспортування теплоти досягнуто економію теплоти у 120000 ккал / год за рахунок заміни канального прокладання трубопроводів теплових мереж на попередньо ізольовані трубопроводи. Визначити економію первинної теплоти палива і витрат палива – біоетанолу з теплотою згоряння 10,5 кВт · год / кг.

Задача 9. Визначити необхідну поверхню сонячних колекторів для будівлі на широті м. Харкова для отримання економії теплоти, яка еквівалентна економії первинної теплоти природного газу у кількості 100 м^3 за місяць. Середню питому теплопродуктивність сонячного вакуумного колектора прийняти рівною близько 350 Вт з 1 м^2 колектора. Тривалість періоду активної сонячної радіації – 8 год за добу.

Задача 10. Визначити необхідну товщину теплової ізоляції у вигляді мінераловатних плит щільністю 100 кг / м^3 для отримання нормованих характеристик

зовнішніх стін 5-поверхового навчального корпусу ВНЗ у м. Херсоні. Величина опору теплопередачі стіни на теперішній стан за результатами енергетичного аудиту будівлі становила $R_д$ = 1,0 м^2 · град / Вт. Середню температуру внутрішнього повітря прийняти +20 ^{0}С.

Задача 11. За опалювальний період з середньою температурою зовнішнього повітря +1,5 ^{0}С в котельні навчального корпусу ВНЗ у м. Луцьку було витрачено за показаннями лічильника газу 720000 м^3 природного газу (витрати зведено до стандартних умов). Розрахункові витрати теплоти на потреби опалення будівлі становлять 420 кВт. Інші споживачі теплоти відсутні. Визначити, чи відповідають зазначені витрати газу реальним витратам теплоти на потреби опалення будівлі. Середню температуру внутрішнього повітря прийняти +17 ^{0}С. Теплоту згоряння природного газу прийняти 9,5 кВт · год / м^3 (за стандартних умов).

<Найменування вищого навчального закладу>

ЗВІТ

З ПРОВЕДЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО АУДИТУ

<призначення будівлі та її адреса>

<Фото будівлі>

<Місто, рік>

ЗМІСТ

1 Резюме **139**

2 Стандарти та правила. **141**

3 Загальні дані **141**

4 Характеристика будівлі **143**
4.1 Будівельні конструкції 143
4.2 Система опалення 144
4.3 Система холодного і гарячого водопостачання 145
4.4 Система вентиляції. 145
4.5 Система освітлення. 146
4.6 Система обліку ресурсів 146
4.7 Обсяги споживання ресурсів та тариф 147

5 Характеристика теплового комфорту та визначення базової лінії енергоспоживання **151**

6 Енергоефективні заходи **151**
6.1 Перелік енергозберігальних заходів 151
6.2 Описання заходів 152
6.2.1 Заміна теплової ізоляції трубопроводів ГВП, що проходять у неопалювальних приміщеннях 152
6.2.2 Встановлення регулятора споживання тепла з погодною корекцією 152
6.2.3 Встановлення регулятора температури гарячої води 154
6.2.4 Встановлення світильників з люмінесцентними лампами 154
6.2.5 Встановлення зарадіаторних віддзеркалювальних екранів 155
6.2.6 Заходи з термореновації 155

7 Основні засади енергомоніторингу **157**

Передумови

Енергетичний аудит виконано (склад групи з виконання енергетичного аудиту будівлі). Метою проведення енергоаудиту є дослідження реального стану споживання енергоносіїв і води у будівлі (назва будівлі та її адреса) та розробка енергозберігальних заходів з метою скорочення витрат паливно-енергетичних ресурсів і поліпшення екологічних параметрів у районі розташування будівлі ВНЗ.

1. Резюме

Об'єктом енергетичного обстеження є _____ (назва об'єкта) _____

Технічні характеристики будинку такі:

– рік побудови ..... _____ р.;
– кількість поверхів ..... _____ пов.;
– загальна опалювальна площа ..... _____ м^2;
– опалювальний об'єм за зовнішніми обмірами ..... _____ м^3;
– кількість мешканців (для гуртожитків) ..... _____ осіб;
– кількість студентів у навчальному корпусі ВНЗ ..... _____ осіб;
– кількість викладачів, які працюють у навчальному корпусі ..... _____ осіб;
– кількість обслуговуючого персоналу у будівлі ..... _____ осіб.

Усереднене за період 2008…2010 рр. річне енергоспоживання будинку склало _____ кВт · год (_____кВт · год / м^2 або _____ кВт · год / м^3), у т.ч. теплова енергія _____%. Річне споживання гарячої води_____м^3, річне споживання холодної води_____м^3.

Під час проведення енергоаудиту розглядалось споживання енергоресурсів, що використовуються на потреби (опалення, вентиляції гарячого водопостачання (ГВП), освітлення та технологічні потреби будівлі), а також споживання (холодної, гарячої води і природного газу).

Спостерігається (відхилення, дотримання) температури внутрішнього повітря в житлових приміщеннях від нормативного значення під час найбільш холодних періодів опалювального сезону – до значень_____ ^{0}С, що відповідає середній температурі по будинку на рівні ____^{0}С (з врахуванням температури на сходовій клітці, коридорах). Дійсна середня температура в (житлових приміщення, аудиторіях) протягом опалювального періоду становила_____^{0}С.

Для розрахунку економії витрат паливно-енергетичних ресурсів у результаті впровадження енергозберігальних заходів прийнято нормовану температуру (в кімнатах гуртожитків, аудиторіях ВНЗ) на рівні _____^{0}С відповідно до вимог нормативної документації_____.

Щорічний розмір видатків на ресурсо- і енергозабезпечення будинку становив близько _____ тис. грн (у цінах, що діють з _____). Величини видатків за окремими видами використаних ресурсів наведено (у таблиці 1, на рисунку 1). Як видно із наведених даних, основні платежі здійснюються за такі ресурси: опалення____% загального розміру видатків, освітлення_____%, гаряче водопостачання _____%,електропостачання_____%).

<Рисунок 1 – Розподіл витрат за енергоносії або

Таблиця 1

Розподіл витрат за енергоносії>

Виявлений потенціал зниження теплової енергії в будівлі становить _____ кВт · год / рік (_____ГДж за рік), (_____% реального рівня споживання теплової енергії).

Виявлений потенціал зменшення витрат холодної води в будівлі становить_____$м^3$ за рік (_____% реального рівня споживання холодної води).

Виявлений потенціал зменшення витрат гарячої води в будівлі становить_____$м^3$ за рік (_____% реального рівня споживання гарячої води).

Виявлений потенціал зменшення витрат електричної енергії в будівлі становить_____МВт · год за рік (_____% реального рівня споживання електричної енергії).

За умови реалізації енергоефективних і ресурсосберігальних заходів на інженерних системах будівлі із загальними інвестиціями близько _____грн можливе зниження річних витрат за енергоносії і воду на _____грн в рік (____% реального рівня). Це відповідає періоду окупності в _____ років.

Впровадження енергозберігальних заходів дає можливість скоротити річні витрати первинного палива для одержання теплової енергії на _____$м^3$ природного газу з теплотою згоряння _____ кВт · год / $м^3$ (_____кДж / $м^3$), або _____ т умовного палива (палива з теплотою згоряння 8,1 кВт · год / кг, або 29400 кДж / кг).

Скорочення витрат первинної енергії і палива дає можливість досягти такого екологічного ефекту:

- зменшення річних витрат повітря на процеси горіння палива на _____$м^3$ (_____% порівняно з реальним рівнем споживання повітря на процеси горіння);
- скорочення річних витрат кисню, який вилучається із повітря для використання його у процесах горіння на _____ $м^3$ (_____% реального рівня);
- зменшення річних викидів в атмосферу діоксиду вуглецю, CO_2 (парникового газу) на _____т (_____% реального рівня викидів CO_2);
- скорочення річних викидів у атмосферу шкідливих інгредієнтів загалом на _____ т (_____% реального рівня викидів) у тому числі:
- оксидів азоту на _____ т;
- монооксиду вуглецю на _____т;
- діоксину сірки на _____т;
- дисперсної фази на _____ т;
- інших речовин залежно від виду палива на _____т.

Запобігання шкоди атмосфері в результаті скорочення шкідливих викидів у атмосферу може бути оцінене величиною _____грн за рік. Основні економічні показники заходів наведено у табл. 2.

Таблиця 2

Економічні показники впровадження заходів з енергозбереження і скорочення витрат води

Заходи	Первинні інвестиції, [грн]	Скорочення витрат теплоти, кВт · год за рік	Скорочення витрат води, м^3 за рік	Економічний ефект впровадження, [грн]	Термін окупності, років
Встановлення енергозберігальних світильників					
Ізоляція трубопроводів систем опалення в неопалювальних приміщеннях					
Встановлення аераторів на змішувачах системи гарячого водопостачання					
Реконструкція вузла змішування в тепловому вузлі вводу і встановлення обладнання для автоматичного регулювання відпуску теплоти					
Встановлення тамбура і ремонт вхідних дверей до будівлі					
Влаштування додаткової теплової ізоляції на перекритті будівлі					
Ущільнення стулок віконних рам і заміна розбитих віконних шибок					
Усього					

2 Стандарти та правила.

Визначення розрахункових витрат енергії у будівлях здійснювалось відповідно до вимог щодо рівня комфорту в приміщеннях, зазначених у ДБН В.2.2-15-2005 «Житлові будинки. Основні положення», ДБН В.2.2-9-99 «Громадські будинки і споруди», а також ДБН В.2.2-3-97 «Будинки та споруди навчальних закладів».

Під час визначення термічного опору огороджувальних конструкцій при розробці заходів з термомодернізації враховано вимоги ДБН В.2.6-31:2006 «Теплова ізоляція будівель» і СНиП 2-3-8-79 * «Строительная теплотехніка».

3 Загальні дані

Об'єктом енергетичного обстеження є <назва і призначення будівлі >. Будівля належить <назва ВНЗ >. Адреса будівлі <_____>. Технічну експлуатацію інженерних комунікацій будівлі здійснює <назва організації

або відділу ВНЗ _____>. Будинок складається із <кількість секцій, прибудов _____>. Головний фасад будівлі зорієнтовано на <сторона горизонту, на яку зорієнтовано головний фасад>.

Технічні характеристики будинку такі:

– рік побудови ..... _____ р.;
– кількість поверхів ..... _____пов.;
– загальна опалювальна площа ..... _____$м^2$;
– корисна площа будівлі ..... _____$м^2$;
– опалювальний об'єм за зовнішніми обмірами ..... _____$м^3$;
– кількість проживаючих (для гуртожитків) ..... _____осіб;
– кількість обслуговуючого персоналу(для гуртожитків) ..... _____осіб;
– кількість студентів у навчальному корпусі ВНЗ ..... _____осіб;
– кількість викладачів, які працюють у навчальному корпусі ..... _____осіб;
– кількість обслуговуючого персоналу у будівлі ..... _____осіб

Забезпечення будинку тепловою енергією на потреби опалення здійснюється від <системи централізованого опалення; від місцевого джерела теплоти у вигляді (газифікованих котлів, електрокотла, котла на твердому паливі та ін.); від автономної системи теплопостачання у вигляді_____>.

Подача холодної води до будинку здійснюється від водогону.

Забезпечення будинку гарячою водою здійснюється від <системи централізованого опалення; від центрального теплового пункту ВНЗ; від індивідуального теплового пункту, який розташований у будівлі ВНЗ; від місцевих установок для приготування гарячої води – електричних бойлерів, проточних водонагрівачів; від місцевого джерела теплоти шляхом нагрівання води у котлі; відбір гарячої води здійснюється із системи опалення будівлі>.

Під час енергоаудиту розглядалися такі шляхи економії енергоресурсів і води:

– скорочення споживання теплової енергії на потреби <опалення, вентиляції, кондиціювання повітря і гарячого водопостачання, інші потреби>;

– скорочення споживання електроенергії на потреби <внутрішнього і зовнішнього освітлення, приготування їжі на електричних плитах, генерування теплоти в електричних котлах, приведення до дії вентиляторів систем вентиляції або іншого обладнання, інших потреб>;

– споживання природного газу на потреби <приготування їжі на газових плитах, гарячої води, генерування теплоти в автономних і місцевих джерелах теплової енергії, інші потреби>;

– споживання води на санітарно-гігієнічні і технологічні потреби.

Поліпшення екологічних характеристик досягалось за рахунок:

– непрямого екологічного ефекту, спричиненого зменшенням споживання первинних енергоносіїв (палива, електричної енергії) і води, а також пов'язаного з цим скороченням викидів забруднювальних речовин у довкілля <атмосферу, воду, ґрунт>;

– прямого екологічного ефекту, який має місце у разі впровадження <ефективних систем очистки, нових технологічних процесів отримання енергії, озеленення території, збереження зелених насаджень, впровадження нових ефективних систем збору і утилізації відходів та інше>.

4 Характеристика будівлі

4.1 Будівельні конструкції

Будинок складається із <вказати кількість секцій або прибудов>. Стіни будинку виконані з <цегли, залізобетонних панелей, керамзитобетонних блоків, інше _____ _____ з товщиною стіни _____м. Дати характеристику інших шарів конструкції стінки>.

Зовнішні дефекти стіни – <не виявлено, обсипання облицювальної плитки, порушення цілісності тинькування, наявність місточків холоду, неякісні зовнішні відкоси вікон, наявність нещільностей у місцях встановлення світлопрозорих конструкцій і зовнішніх дверей, інше>. Коефіцієнт теплопровідності основного конструктивного матеріалу стіни – _____ Вт / м · град.

Будівля має вікна з <одинарними притворами, подвійними притворами; одинарним, подвійним заскленням у дерев'яних рамах, у вигляді одинарних, подвійних склопакетів у металопластикових рамах. Якщо будівля має різне заповнення світлопрозорих прорізів, то необхідно вказати відсоток кожного із видів засклення>.

Зовнішні дефекти заповнення світлопрозорих прорізів – <не виявлено, наявність значних нещільностей у місцях стулок, нещільності в місцях примикання скла до рами, відсоток розбитого скла і скла з тріщинами чи іншими дефектами, якість ущільнення і вид матеріалу, який було використано у ході ущільнення, кількісна оцінка неякісного ущільнення стулок, інші характеристики>.

Для розрахунків прийнято такі значення термічного опору конструкції вікон – для вікон з <подвійними одинарними стулками – _____ $м^2 \cdot {}^0C$ / Вт, для вікон у металопластикових рамах з одинарним склопакетом -_____ $м^2 \cdot {}^0C$ / Вт, для вікон з подвійним склопакетом--_____ $м^2 \cdot {}^0C$ / Вт>.

Будинок має балкони, а також лоджії, вбудовані в об'єм будівлі, та такі, що виступають з об'єму будівлі. Характеристика огороджувальних конструкцій лоджій і балконів, наявність засклення лоджій і балконів.

Фундамент будинку з <залізобетонних конструкцій, які одночасно є огороджувальними конструкціями неопалювального підвалу з земляною підлогою, інше – наявність опалювального підвалу, характеристика конструкцій огороджень підвалу аналогічно опису зовнішніх стін. Величина коефіцієнта теплопровідності>.

Будівля має <не має технічного поверху, горища. Характеристика перекриття і покриття верхнього поверху, конструкція, наявність утеплення, характеристика шару утеплення, товщина окремих шарів конструкції, оцінювання коефіцієнта теплопровідності матеріалів. Дефекти і недоліки покриття і перекриття, оцінка стану, дата останнього ремонту покрівлі, необхідність ремонту. Величини коефіцієнтів теплопровідності основних конструктивних шарів конструкції>.

Зовнішні двері будівлі – <матеріал дверей, розміри дверей, їх конструкція (подвійні, одинарні), дефекти і недоліки, наявність нещільностей. Наявність тамбура, пристроїв автоматичного закривання, теплової або повітряної завіси. Оцінка величини коефіцієнта теплопровідності>.

Наявність секційних дверей у коридорах будівлі, які розділяли б сходову клітку і коридори для зниження втрат теплоти.

Наявність технічного паспорта будівель_____.

Узагальнену характеристику кількісних показників огороджувальних конструкцій опалювального та неопалювального об'ємів будинку наведено у додатку А.

Теплотехнічні характеристики огороджувальних конструкцій будинку визначено в додатку Б.

Розподіл розрахункових теплових втрат через будівельні конструкції будівлі та інфільтрацію наведено у таблиці 3. У разі визначення розрахункових втрат теплоти в цілому по будівлі з використанням укрупнених показників потреби будівлі у теплоті на опалення або вентиляцію подають відповідні результати розрахунків.

Таблиця 3

Структура теплових втрат будівельних конструкцій

Складова теплових витрат	Втрати теплоти, кВт	%
Стіни		
Вікна та двері		
Дах		
Підлога		
Інфільтрація		
Разом		

4.2 Система опалення

Будинок обладнано <однотрубною, двотрубною, горизонтальною, вертикальною системою опалення з нижнім, верхнім розведенням. Опалювальні прилади – чавунні радіатори, конвектори, регістри, інше. Подавальний трубопровід системи і відгалуження від нього проходять через приміщення неопалювального горища, підвалу, верхнього, нижнього опалювального поверху будівлі. Зворотний трубопровід системи і відгалуження від нього проходять через приміщення неопалювального підвалу, нижнього опалювального поверху будівлі, інше. До зовнішньої двотрубної, чотиритрубної теплової мережі, до автономного чи місцевого джерела теплоти будинок приєднано по залежній, незалежній схемі. Теплову ізоляцію трубопроводів у неопалювальних приміщеннях здійснено за допомогою мінеральної вати; теплова ізоляція відсутня. ККД трубопроводів системи опалення становить_____%. Розрахунок теплових втрат в трубопроводах системи опалення, що проходять у неопалювальних приміщеннях, наведено у додатку В. Недоліки у конструкції і експлуатації систем опалення з урахуванням побажань експлуатаційного персоналу. Наявність схем і креслень систем опалення>.

Відпуск теплоти до будівлі здійснюється за температурним графіком <95 / 70 ºС, 105 / 70 ºС, 115 / 70 ºС, інше>. Розрахунковий перепад температур у системі опалення будівлі 95 / 70 ^{0}С.

У тепловому вузлі вводу будівлі встановлено таке обладнання: <запірна арматура – засувки діаметром _____мм, відмулювачі, фільтр тонкого очищення,

лічильник теплоти на подавальному, зворотному трубопроводах, змішувальний вузол у вигляді елеватора, змішувального насоса; регулятор витрат, регулятор температури води у системі опалення, теплообмінник для нагрівання води у системі опалення, теплообмінник для нагрівання води у системі гарячого водопостачання. Вузли автоматичного регулювання відпуску теплоти на систему опалення і систему гарячого водопостачання в індивідуальному тепловому пункті залежно від температури зовнішнього повітря відсутні, що спричинює надлишкову подачу теплоти на потреби опалення у періоди зрізу температурного графіка (за умови наявності в індивідуальних теплових пунктах теплообмінників гарячого водопостачання). Схему індивідуального теплового пункту у тепловому вузлі вводу наведено на рис. 2. Недоліки у конструкції і експлуатації теплового пункту з урахуванням побажань експлуатаційного персоналу>.

<Рисунок 2 – Принципова схема індивідуального теплового пункту>

За наявності центрального теплового пункту (ЦТП) на території ВНЗ подати принципову схему ЦТП з експлікацією обладнання (рис. 3).

<Рисунок 3 – Принципова схема центрального теплового пункту ВНЗ>

4.3 Система холодного і гарячого водопостачання

Будинок підключено до <системи централізованого гарячого водопостачання, до місцевої системи приготування гарячої води, до автономної системи гарячого водопостачання. В індивідуальному тепловому пункті, центральному тепловому пункті встановлено кожухотрубний, пластинчастий теплообмінник, у якому здійснюється нагрівання холодної води з міського водогону, інше. Сталевий, пластиковий подавальний трубопровід гарячого водопостачання середнім діаметром_____мм прокладено у підвальному приміщенні. Циркуляційний сталевий, пластиковий трубопровід діаметром_____мм прокладено в _____. Характеристика ізоляції трубопроводів (товщина ізоляції, вид теплоізоляційного матеріалу, коефіцієнт теплопровідності). Недоліки ізолювання трубопроводів, близько _____% трубопроводів не ізольовані. ККД розподільних трубопроводів системи ГВП становить_____%. Опис системи регулювання температури гарячої води, опис роботи системи гарячого водопостачання. Режим подачі гарячої води з_____год по _____год у робочі дні, те саме у святкові дні_____. Тиск води на вводі до будинку за показаннями манометра у вузлі вводу водогону. Опис основних споживачів холодної і гарячої води – змішувачів, кранів, змивних бачків, басейнів тощо).

Недоліки у конструкції і експлуатації систем холодного і гарячого водопостачання з урахуванням побажань експлуатаційного персоналу. Наявність схем і креслеників холодного і гарячого водопостачання>.

4.4 Система вентиляції

Будинок облаштовано системою <природної, примусової вентиляції. Видалення вентильованого повітря з кухонь та санвузлів здійснюється через вентиляційні кана-

ли, що знаходяться в будівельних конструкціях. Видалення повітря із аудиторій виконується механічними системами вентиляції. Припливне свіже повітря систем примусової вентиляції нагрівається у калориферах припливних камер і подається у приміщення. Припливне повітря систем природної вентиляції надходить через нещільності світлопрозорих конструкцій огороджень і зовнішні двері. Розрахункові витрати теплоти на потреби вентиляції будівлі становлять_____кВт. Тривалість роботи механічних систем вентиляції_____год за добу у робочі дні (системи механічної вентиляції у неробочому стані і не працюють, вентиляційні отвори систем витяжної і припливної вентиляції відкриті і працюють у режимі природної вентиляції, що спричинює значні втрати теплоти з інфільтрацією, вентиляційні отвори систем механічної вентиляції герметично закриті, витяжні отвори систем природної вентиляції у аудиторіях відсутні, як наслідок вентиляція аудиторій відсутня. Наявність схем і креслеників систем примусової і природної вентиляції>.

4.5 Система освітлення

Приміщення обладнано світильниками з <лампами розжарювання, люмінесцентними лампами, інше. За умови використання різних ламп вказати кількість ламп кожного виду і їх потужність. Наявність лічильників з датчиками руху (фотореле). Характеристика зовнішнього освітлення. Наявність системи контролю за спрацюванням автоматики керування освітленням. Загальна потужність систем внутрішнього і зовнішнього освітлення. Річна тривалість роботи систем зовнішнього освітлення. Наявність відокремленого обліку електричної енергії і систем керування внутрішнім і зовнішнім освітленням.

Недоліки у конструкції і експлуатації систем внутрішнього і зовнішнього освітлення з урахуванням побажань експлуатаційного персоналу>.

Характеристика інших енергоспоживальних систем будівлі.

4.6 Система обліку ресурсів

Облік теплової енергії, яку отримують із системи централізованого теплопостачання, здійснюється <тепловим лічильником, який встановлено на трубопроводах теплового вводу в будівлі. Зняття показників лічильника виконується з періодичністю не частіше одного разу на місяць, одного разу на 10 днів, щоденно, інше. Облік теплової енергії за умови відсутності лічильника теплоти здійснюється за нормованими питомими показниками витрат теплоти на опалення або вентиляції на одиницю об'єму будівлі. Наявність споживачів теплоти, які здійснюють відокремлений облік теплової енергії. Обсяги спожитої ними енергії>.

За наявності автономних або місцевих систем теплопостачання облік теплової енергії здійснюється за показаннями лічильників природного газу або іншого палива, яке використовується для отримання теплоти.

Облік споживання електроенергії на потреби внутрішнього освітлення, зовнішнього освітлення, приготування їжі, генерування теплоти, технологічні потреби в лабораторіях здійснюється <окремими лічильниками (одним лічильником)>. Зняття показників лічильника виконується з періодичністю <не частіше одного разу на місяць, одного разу на 10 днів, щоденно, інше. Наявність споживачів,

які здійснюють відокремлений облік електричної енергії. Обсяги спожитої ними енергії>.

Облік споживання гарячої води здійснюється <згідно з показаннями лічильника гарячої води, встановленого у вузлі вводу будівлі. Зняття показань лічильника виконується з періодичністю не частіше одного разу на місяць, одного разу на 10 днів, щоденно, інше. Наявність споживачів, які здійснюють відокремлений облік гарячої води. Обсяги спожитої ними води. За умов відсутності лічильника гарячої води облік здійснюється за укрупненими нормованими показниками витрат гарячої води на одного споживача>.

Облік споживання холодної води здійснюється <за показаннями лічильника холодної води, встановленого у вузлі вводу будівлі. Зняття показань лічильника виконують з періодичністю не частіше одного разу на місяць, одного разу на 10 днів, щоденно, інше. Наявність споживачів, які здійснюють відокремлений облік холодної води. Обсяги спожитої ними води. За умов відсутності лічильника холодної води облік здійснюють за укрупненими нормованими показниками витрат холодної води води на одного споживача>.

Облік споживання природного газу на потреби <приготування гарячої води, опалення і вентиляції в місцевих і автономних системах теплопостачання, а також приготування їжі здійснюється за відокремленими вузлами обліку газу. Облік витрат газу у місцевих джерелах теплоти здійснюється за лічильником, який обладнано манометрами для визначення тиску газу у вузлі обліку, термометрами, коректором. Перерахування заміряних витрат газу до стандартних умов здійснюється за показаннями коректора-обчислювача, розрахунками представників газорозподільної організації, розрахунками працівників ВНЗ.

Зняття показників лічильника виконують з періодичністю не частіше одного разу на місяць, одного разу на 10 днів, щоденно, інше. Наявність споживачів газу, які здійснюють відокремлений облік природного газу. Обсяги спожитого ними газу>.

4.7 Обсяги споживання ресурсів та тариф

Річне споживання енергоносіїв і води за 2..3 останні роки наведено у табл. 4.

Таблиця 4

Ресурсоспоживання за 20___ ... 20___ рр.

Найменування ресурсу	Од. вим.	Обсяги споживання за роками		
		20____	20____	20____
Теплова енергія із централізованих систем теплопостачання на потреби опалення	ГДж			
Теплова енергія із централізованих систем теплопостачання (ГДж · 278), див. табл. 2.1	кВт · год			
Гаряча вода	$м^3$			
Холодна вода	$м^3$			
Теплова енергія, яка витрачена для приготування гарячої води за умови отримання гарячої води із централізованих систем теплопостачання	кВт · год			

Продовження таблиці 4

Найменування ресурсу	Од. вим.	Обсяги споживання за роками		
		20____	20____	20____
Природний газ на опалення, вентиляцію і гаряче водопостачання за наявності місцевих і автономних систем	$м^3$			
Природний газ на побутові потреби	$м^3$			
Загальні витрати природного газу	$м^3$			
Теплова енергія, яка отримана на потреби опалення, вентиляції і гарячого водопостачання в автономних і місцевих системах теплопостачання, ($м^3$) · (9,9 квт · год / $м^3$)	кВт · год			
Електроенергія на внутрішнє освітлення	кВт · год			
Електроенергія на зовнішнє освітлення	кВт · год			
Електроенергія на технологічні потреби	кВт · год			
Електроенергія на приготування їжі	кВт · год			
Електроенергія на інші потреби	кВт · год			
Загальні витрати електроенергії	**кВт · год**			
Загальні витрати теплової і електричної енергії	**кВт · год**			

Питоме загальне річне енергоспоживання будівлею за роками становить:

– за 20____ рік -_____ кВт · год / $м^2$;
– за 20____ рік -_____ кВт · год / $м^2$;
– за 20____ рік -_____ кВт · год / $м^2$.

Дані про тарифи на енергоносії, споживання яких є об'єктом енергетичного обстеження, наведено у додатку Д.

Помісячні витрати теплової енергії на потреби опалення і води, а також значення середньомісячних температур зовнішнього повітря і градусо-діб за місяцями опалювального періоду року наведено у таблиці додатка Г.

На рис. 4 і 5 показано графіки витрат теплової енергії на потреби опалення і кількості градусо-діб, а також витрат води за місяцями року. Графіки побудовано за результатами аналізу дійсних помісячних витрат теплоти на потреби опалення, витрат холодної і гарячої води, які були визначені у вузлах обліку води, а також аналізу середньомісячних температур зовнішнього повітря. Кількість градусо-діб визначалась як добуток кількості діб за кожний місяць опалювального періоду на перепад температур внутрішнього повітря та середньомісячної дійсної зовнішнього повітря:

$$ГД = Д \cdot (t_в - t_{сер.}),$$

де

Д – кількість діб у місяці;

$t_в$ – дійсна середньомісячна температура внутрішнього повітря у будівлі, ^0C;

$t_{сер.}$ – дійсна середньомісячна температура зовнішнього повітря, ^0C, визначається за даними метеостанцій для місця розташування будівлі.

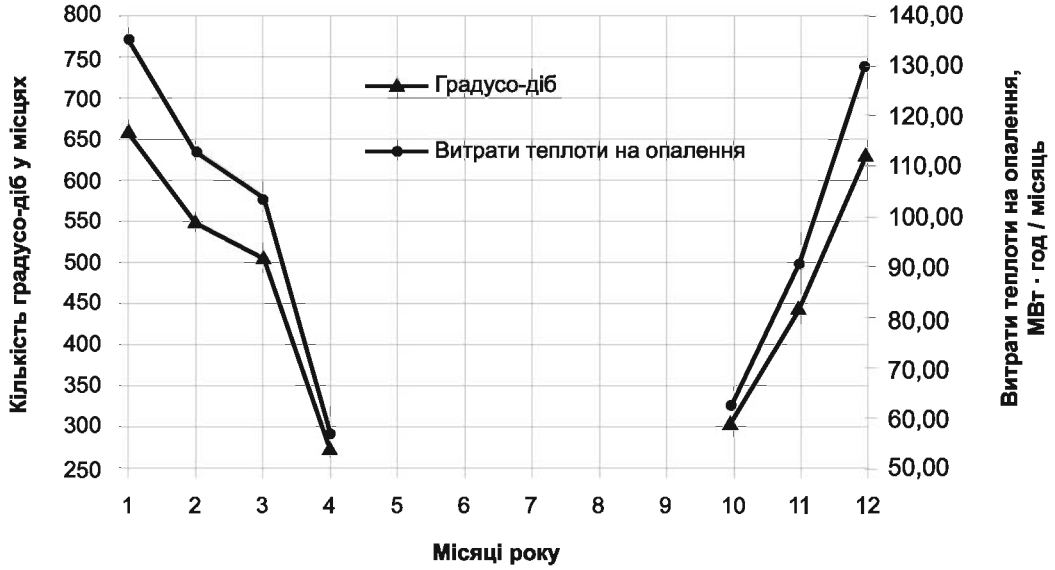


Рисунок 4 – Графіки витрат теплоти на потреби опалення і градусо-діб за місяцями року

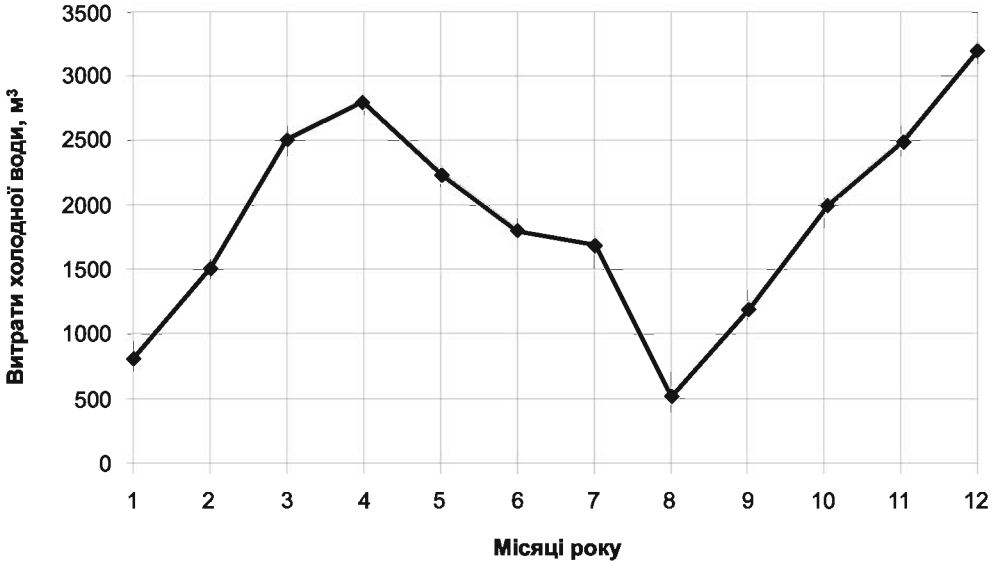


Рисунок 5 – Графік витрат холодної (гарячої) води за місяцями року

Витрати теплоти на потреби опалення залежать від температури зовнішнього повітря і кількості градусо-діб. Збільшення кількості градусо-діб має спричинювати відповідне зростання витрат теплової енергії на опалення.

Як свідчить аналіз рис. 4, регулювання відпуску теплоти на потреби опалення <відповідає (не відповідає) зміні градусо-діб, що свідчить про відсутність (наявність) певного (значного, незначного) потенціалу енергозбереження за рахунок впровадження заходів з регулювання відпуску теплоти у тепловому пункті споживача>. Результати визначення дійсних річних витрат теплоти використано для обрахунку дійсних показників витрат теплоти на опалення $q_{буд.}$ і порівняння їх з нормованими максимально можливими тепловитратами будівель ВНЗ згідно з вимогами ДБН В.2.6-31:2006 «Теплова ізоляція будівель»>.

Значення фактичних питомих тепловитрат на опалення за опалювальний період $q_{буд.}$ в кВт · год / м^2 або в кВт · год / м^3 становлять:

– за 20____ р $q_{буд.}$ = _____;
– за 20____ р $q_{буд.}$ = _____;
– за 20____ р $q_{буд.}$ = _____.

Нормативна максимально можлива величина тепловтрат будівлі _____згідно з вимогами, які набули чинності з 2006 року, становлять $E_{мах}$ = _____. Порівняння нормованої величини тепловтрат і дійсних тепловтрат показує, що <будівля відповідає, не відповідає вимогам чинної нормативної документації>.

Порівняння дійсних питомих тепловтрат з максимально допустимими згідно з вимогами ДБН В.2.6-31:2006 дає можливість комплексної оцінки теплозахисних характеристик будівель і ефективності процесів регулювання відпуску теплоти на сучасному рівні вимог.

Витрати води у гуртожитках і навчальних корпусах залежать від кількості мешканців у гуртожитках, розкладу занять і графіку навчального процесу. Аналіз графіків зміни витрат води по місяцям року показує <відповідність, не відповідність витрат води графіку навчального процесу>. За відомими величинами місячних витрат води і відомій кількості мешканців у гуртожитках визначено питомі показники витрат холодної і гарячої води на одну особу за добу, які можна порівняти з нормативними величинами споживання холодної і гарячої води на одну особу відповідно до вимог СНиП 2.04.01-85 «Внутренний водопровод и канализация зданий».

Значення фактичних питомих витрат гарячої і холодної води в л / особу за добу становлять:

– за 20____ р. _____;
– за 20____ р. _____;
– за 20____ р. _____.

Норма витрат води для будівлі _____становить_____.

Порівняння норми витрат води і дійсних величин витрат показує, що <дійсні витрати перевищують, не перевищують нормованих>.

Порівняння дійсних витрат води з нормованими можна виконувати також і за окремими місяцями року. Порівняння дає можливість оцінити потенціал заходів із скорочення витрат води.

5 Характеристика теплового комфорту та визначення базової лінії енергоспоживання

Спостерігається відхилення температури в приміщеннях від нормативного значення під час найбільш холодних періодів опалювального сезону – до +_____^{0}С, що відповідає середній температурі по будинку на рівні _____^{0}С (з уврахуванням температури на поверхових сходах). Середня температура в кімнатах (навчальних аудиторіях) протягом опалювального сезону становила ____^{0}С (_____^{0}С в середньому по будинку). Значного розбалансування окремих стояків системи опалення не було виявлено, проте виявлене розбалансування системи опалення, що призводить до значної нерівномірності тепловіддачі опалювальних приладів.

Порівняння зафіксованих та розрахункових обсягів споживання енергоносіїв наведено в табл. 5:

Таблиця 5

Порівняльна таблиця зафіксованих та розрахункових обсягів енергоспоживання

Стаття витрат енергоносіїв	Од.вим.	Зафіксовано	Розрахунок	Відхилення
Опалення	кВт · год / рік			
Гаряче водопостачання	кВт · год / рік			
Освітлення (в т. ч. зовнішнє)	кВт · год / рік			

Примітка. Без врахування втрат у внутрішньобудинкових системах.

6 Енергоефективні заходи

6.1 Перелік енергозберігальних заходів

Запропоновано такі енергоефективні заходи:

Заходи на інженерних системах будівлі (приклад):

– заміна теплової ізоляції трубопроводів системи гарячого водопостачання (ГВП);
– встановлення автоматизованого індивідуального теплового пункту у будівлі з відпуском теплоти з корекцією;
– встановлення регулятора температури гарячої води в тепловому пункті;
– встановлення зарадіаторних екранів;
– заміна світильників з лампами розжарювання на антивандальні світильники з енергозберігальними лампами для освітлення сходових клітин.

Заходи з термореновації будівлі (приклад):

– заміна вікон у дерев'яних рамах на металопластикові;
– збільшення термічного опору зовнішніх стін будівлі;
– збільшення термічного опору перекриття.

6.2 Описання заходів

6.2.1 Заміна теплової ізоляції трубопроводів ГВП, що проходять у неопалювальних приміщеннях.

Передбачена заміна теплоізоляції із скловолокна на теплоізолювальні циліндри з базальтового волокна, які являють собою готову до застосування конструкцію. Вироби складаються із шару жорстко формованого базальту та покрівельного шару алюмінієвої фольги, що армована склосіткою. Зиґзаґоподібний проріз вздовж виробу дає можливість його монтажу безпосередньо на трубопровід. Теплопровідність матеріалу складає 0,04 Вт / м · град. Теплову ізоляцію запірної арматури та кріплень трубопроводів пропонується виконати з того самого матеріалу. Рекомендована товщина теплової ізоляції для даного діаметра трубопроводів – 40 мм. Упровадження такого заходу уможливить знизити теплові втрати на _____ кВт · год / рік (або на _____% порівняно з наявною ситуацією). Економічний строк служби обладнання та матеріалів – 25 років.

6.2.2 *Встановлення регулятора споживання тепла з погодною корекцією.*

На теперішній стан у тепловому вузлі вводу будинку відсутні будь-які засоби регулювання і відпуску теплоти на потреби опалення залежно від температури зовнішнього повітря. У таких умовах єдиним способом регулювання відпуску теплоти на опалення будинку є зміна температури теплоносія у котельні, яка здійснюється регулюванням витрат палива.

Аналіз дійсних температур теплоносія на вводі до будинку протягом опалювального періоду свідчить, що температурний графік не відповідає задекларованим параметрам. Це призводить до значних перевитрат теплоти у періоди підвищення температури зовнішнього повітря і дефіциту теплоти у періоди зниження температури зовнішнього повітря (періоди похолодання).

В наявній системі опалення будинку відсутні балансувальні крани як на стояках системи опалення, так і на окремих розгалуженнях системи по окремих фасадах і напрямках, що призводить до теплового і гідравлічного розбалансування системи опалення, особливо в умовах кількісного регулювання.

Одним із фасадів будівля зорієнтована на південний схід, а іншим – на північний захід. Це спричиняє різні значення сумарної сонячної радіації на вертикальні поверхні огороджень, що у свою чергу призводить до більш інтенсивних теплонадходжень приміщень, які розміщені по одній із сторін фасаду. При цьому відбуваються відповідні зміни температури внутрішнього повітря: перегрівання одних приміщень і недогрівання інших. Відповідно виникають непродуктивні втрати теплоти. Так, якщо сумарна сонячна радіація (пряма і розсіяна) на 1 м^2 вертикальної поверхні огороджувальних конструкцій південно-східної орієнтації у грудні при безхмарному небі становить 305 МДж / м^2, то на вертикальні поверхні 1 м^2 огороджень північно-західної орієнтації – тільки 27 МДж / м^2. Для січня це співвідношення становить 371 і 32 МДж / м^2, а для лютого – 424 і 41 МДж / м^2, відповідно (згідно з СНиП 23-01-99).

Облаштування у тепловому вузлі вводу будинку автоматизованого вузла пофасадного відпуску теплоти на потреби опалення з погодним регулюванням і корекцією по температурі внутрішнього повітря в приміщеннях південно-східного і північно-західного фасадів дасть можливість забезпечити економію теплової енергії і урахувати теплонадходження від сонячної радіації. Крім того, встановлення балансувальних клапанів дасть можливість уникнути теплового і гідравлічного розрегулювання системи, що також підвищує ефективність тепловіддачі системи і має енергозберігальний ефект.

З огляду на значну теплоємність будівлі після збільшення термічного опору зовнішніх огороджень в автоматизованих вузлах вводу стає можливою реалізація переривчастого опалення із зменшенням кількості теплоти, яка подається на опалення у вихідні, святкові дні і період канікул, до 50 % розрахункової. Загальна кількість таких днів за опалювальний період становить до 60 діб. Функцію переривчастого опалення можна також реалізувати протягом 4...5 нічних неробочих годин у робочі дні. Це ще 4 · (189 – 60) = 516 год, або 21,5 повної доби. 189 діб – тривалість опалювального періоду. Всього тривалість періоду впровадження функції зменшеної подачі теплоти на опалення:T_2 = 60 + 21,5 = 81,5 діб = 1956 год.

Впровадження автоматизованого індивідуального теплового пункту з функцією погодного регулювання дасть можливість запобігти надмірному споживанню тепла, яке обумовлене нелінійністю графіка температур відпуску теплоти із котельні, що пов'язане з необхідністю забезпечення нормативної температури гарячої води для санітарно-гігієнічних потреб. Автоматизація процесу відпуску теплоти до будівлі в індивідуальному тепловому пункті (ІТП) дає можливість оперативно реагувати на зміну потреби будинку в теплоті на опалення, що обумовлене значною динамікою теплонадходжень у будинку від людей, освітлення, обладнання та сонячної інсоляції.

Для будівлі_____ прорізів такий захід дає можливість отримати економію теплової енергії в обсягах до 25...30 % існуючого рівня, що становить _____ кВт · год за опалювальний період.

На рис. 6 показано принципову схему облаштування автоматизованого індивідуального теплового пункту із змішувальним насосом на перемичці.

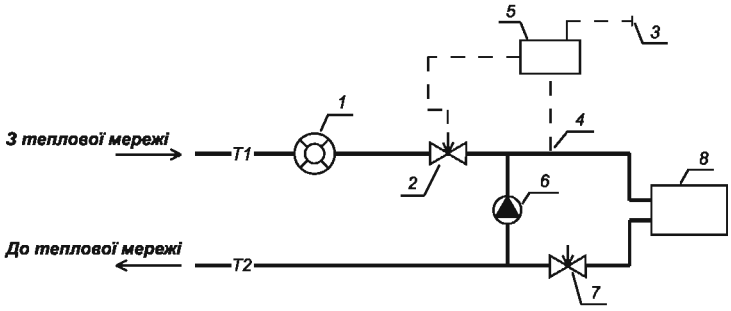


Рисунок 6 – Принципова схема автоматизованого індивідуального теплового пункту із змішувальним насосом:
1 – тепловий лічильник; 2 – регулятор температури ; 3 – датчик температури зовнішнього повітря; 4 – датчик температури гарячої води у подавальному трубопроводі системи опалення; 5 – управляючий пристрій ; 6 – підмішувальний насос; 7 – регулятор витрат води; 8 – система опалення

Економічний строк служби обладнання та матеріалів – 10 років. Упровадження заходу потребує періодичного (не менш як один раз на рік) обслуговування та проведення налагоджувальних робіт.

6.2.3 Встановлення регулятора температури гарячої води.

За відсутності регулювання температури подачі гарячої води спостерігається підвищення температури води у найбільш холодний період опалювального періоду, коли температура теплоносія на виході з котельної і в тепловій мережі досягає найбільших значень відповідно до температурного графіка відпуску теплоти. Це спричиняє відповідні перевитрати теплової енергії на гаряче водопостачання. Для запобігання зазначеним явищам пропонується здійснювати автоматичне регулювання температури гарячої води, яка подається споживачам, за рахунок встановлення регулятора температури. Орієнтовне скорочення споживання теплової енергії на потреби гарячого водопостачання становитиме близько 5 %.

Економічний термін служби обладнання та матеріалів – 10 років. Упровадження заходу потребує періодичного обслуговування та проведення налагоджувальних робіт.

6.2.4 Встановлення світильників з люмінесцентними лампами.

Рекомендується продовжити подальшу заміну ламп розжарювання для освітлення <сходових клітин, житлових кімнат, аудиторій> на люмінесцентні лампи. Економія електричної енергії за умови впровадження цього заходу становитиме близько 50 % наявного рівня споживання електроенергії на освітлення, що складе _____ кВт · год протягом року.

Економічний строк служби обладнання та матеріалів – 10 років. Потрібні експлуатаційні витрати на заміну джерел світла – один раз на три роки.

6.2.5 Встановлення зарадіаторних віддзеркалювальних екранів.

З метою зменшення втрат теплоти у довкілля через ділянки огороджувальних конструкцій, які містяться за конвективно-радіаційними опалювальними приладами систем опалення, слід передбачити зарадіаторні віддзеркалювальні екрани із теплоізоляційного матеріалу завтовшки 5…10 мм, вкритого шаром алюмінієвої фольги. Встановлення такого екрана відбувається за допомогою клею безпосередньо на ділянку стіни, що знаходиться за опалювальним приладом. Такий захід запобігає втратам теплоти у довкілля і перевитратам теплоти опалювальними приладами за умови додержання чистої дзеркальної поверхні екрана протягом усього терміну експлуатації.

Кількість теплоти, яка віддається приладом у приміщення для створення у ньому необхідних теплових умов, має бути рівною розрахунковим втратами теплоти із такого приміщення. Використання того чи іншого приладу і спосіб його встановлення не повинні призводити до перевитрат теплоти, порівняно з її розрахунковими втратами у довкілля.

Відношення кількості теплоти, яка віддається приладом, до втрат теплоти називають опалювальним ефектом. Найменша величина опалювального ефекту у панельно-променевих приладів, які встановлюються у верхній зоні приміщення. За даними деяких авторів вона становить 0,9…0,95. Тобто тепловіддача панельних опалювальних приладів може бути навіть меншою за величину втрат теплоти приміщенням без погіршення умов комфортності. У нагрітої поверхні «теплої підлоги» опалювальний коефіцієнт дорівнює приблизно 1,0.

Найбільш розповсюджені опалювальні прилади – радіатори зазвичай розташовують біля поверхні зовнішньої стіни або у нішах. Поверхня за радіатором перегрівається і теплота посилено втрачається через цю ділянку зовнішньої стіни. Опалювальний коефіцієнт радіаторів оцінюють величиною 1,04…1,06. Опалювальний коефіцієнт конвектора лише 1,03. Влаштування зарадіаторного віддзеркалювального екрана дає можливість збільшити корисну тепловіддачу радіатора на 3…4 % і запобігти відповідним втратам теплоти.

Загальна площа зарадіаторних екранів складає _____ (____шт.). Економічний строк служби обладнання та матеріалів – 25 років. Економія теплоти становить _____ кВт · год протягом опалювального періоду.

6.2.6 Заходи з термореновації.

З метою забезпечення сучасних вимог щодо теплотехнічних характеристик огороджувальних конструкцій будівлі необхідно таке:

– утеплити зовнішні стіни будівлі шаром пінополістиролу щільністю не більш як 25 кг / м^3 завтовшки_____ мм за методом скріпленої теплоізоляції. З метою зменшення впливу теплових містків та запобігання руйнування конструкцій будівлі за рахунок нерівномірних теплових деформацій при зміні температури навколишнього середовища утепленню також підлягають:

– бокові огороджувальні конструкції лоджій;

– несвітлопрозорі огороджувальні конструкції технічного поверху.

Загальна площа поверхонь, що підлягають утепленню за зазначеною методикою, складає _____ м^2;

– виконати утеплення горищного перекриття будівлі мінеральною ватою завтовшки не менш як_____мм. Коефіцієнт теплопровідності мінераловатних плит не менш як 0,046 Вт / м · град, щільність – не менш як 110 кг / м^3 (відповідна міцність на стиснення – 60 кПа), щоб мати можливість перебування людей на технічному поверсі. Поверхня покриття _____ м^2;

– збільшити термічний опір огороджень цоколю поверхнею_____ м^2 за рахунок нанесення на них екструдованого пінополістиролу завтовшки _____ мм;

– утеплити горищне перекриття. Для утеплення застосувати мінераловатні плити завтовшки 50 мм теплопровідністю 0,046 Вт /м · град та щільністю 110 кг / м^3 (відповідна міцність на стиснення – 60 кПа) з метою забезпечення можливості перебування людей на технічному поверсі. Для монтажу утеплювача слід зняти шар керамзитового гравію з ділянки горищного покриття, заслати шар паробар´єру, укласти на нього утеплювач;

– загальна площа поверхонь, що підлягають утепленню за зазначеною методикою, складає _____ м^2;

– заміна вікон у дерев'яних рамах на сучасні металопластикові. Пропонується встановлювати двокамерні склопакети з м'яким енергозберігальним покриттям, що вмонтовані в 3-камерному металопластиковому профілі завтовшки не менш як 24 мм. Рекомендоване значення термічного опору конструкції вікна складає 0,6 м^2 · град / Вт. Вікна мають бути обладнані мікрощільовим провітрювачем з метою забезпечення необхідної кратності повітрообміну в житлових приміщеннях будинку. Зазначена норма не поширюється на вікна поверхових сходів.

Загальна площа вікон, що підлягають заміні, становить _____м^2 та має бути уточнена перед замовленням шляхом індивідуальних замірів.

Економічний термін служби обладнання та матеріалів – 25 років.

Заходи з термореновації дають можливість отримати економію теплоти у межах _____кВт · год за опалювальний період.

Загальна економія електричної енергії за рахунок впровадження енергозберігальних заходів становить _____ кВт · год за рік (_____ % наявного рівня споживання електричної енергії), що еквівалентно зменшенню витрат природного газу на _____ м^3 на рік (з урахуванням коефіцієнта перетворення первинної енергії для ТЕЦ).

Загальна економія теплової енергії за рахунок упровадження енергозберігальних заходів становить _____кВт · год на рік (_____ % наявного рівня споживання теплової енергії), що еквівалентно зменшенню витрат природного газу на _____ м^3 на рік (з урахуванням коефіцієнта перетворення первинної енергії для котельні).

Загальна економія холодної води за рахунок упровадження заходів з економії води становить_____м^3 на рік (_____ % наявного рівня споживання холодної води).

За умови реалізації ресурсозберігальних заходів на системах гарячого водопостачання будівлі можливе зниження річних витрат гарячої води на _____м^3 на рік (____% наявного рівня споживання гарячої води).

Впровадження енергозберігальних заходів дає можливість скоротити річні витрати первинного палива для одержання теплової і електричної енергії на _____м^3 природного газу з теплотою згоряння _____ кВт · год / м^3 (_____кДж / м^3), або _____ т умовного палива (палива з теплотою згоряння 8,1 кВт · год / кг, або 29400 кДж / кг).

Реалізація енергоефективних і ресурсосберігальних заходів на огороджувальних конструкціях і інженерних системах будівлі спричинить зниження річних витрат за енергоносії і воду на _____грн в рік (____% наявного рівня).

Скорочення витрат первинної енергії і палива дає можливість досягти такого екологічного ефекту:

– зменшення річних витрат повітря на процеси горіння палива на _____м^3 (_____% порівняно з існуючим рівнем споживання повітря на процеси горіння);

– скорочення річних витрат кисню, який вилучається із повітря для використання його у процесах горіння на _____ м^3 (____% наявного рівня);

– зменшення річних викидів в атмосферу діоксиду вуглецю CO_2 (парникового газу) на _____т (_____% наявного рівня викидів CO_2);

– скорочення річних викидів у атмосферу шкідливих інгредієнтів загалом на _____т (_____% наявного рівня викидів) у тому числі:

– оксидів азоту на _____ т;

– монооксиду вуглецю на _____ т;

– діоксиду сірки на _____ т;

– дисперсної фази на _____ т;

– інших речовин залежно від виду палива на _____т.

Запобігання шкоди довкіллю у результаті скорочення шкідливих викидів у атмосферу може бути оцінене величиною _____грн на рік.

7 Основні засади енергомоніторингу

Для забезпечення правильної експлуатації встановленого обладнання протягом терміну його роботи і мінімізації витрат на експлуатацію (включаючи витрати енергії) рекомендується впровадити належні процедури для експлуатації і обслуговування обладнання та інженерних систем. Такі роботи виконуються спеціалізованими організаціями відповідно до специфіки обладнання (контрольно-вимірювальні прилади, паливоспалювальне обладнання, тепломеханічне обладнання тощо).

Необхідно також упровадити заходи з постійного поточного контролю за рівнем споживання паливно-енергетичних ресурсів на об’єкті. Для вирішення цієї проблеми слід упровадити системні процедури енергомоніторингу.

Енергетичний моніторинг – це системні процедури постійної реєстрації і контролю енергоспоживання та умов експлуатації обладнання і інженерних систем у будівлях. Отримані дані про споживання паливно-енергетичних ресурсів порівнюються з нормативними і у разі відхилення від нормативів більш як на 10…15 % необхідно виявити причини такої невідповідності та усунути її.

Для впровадження системи енергомоніторингу у звіті подаються графічні розрахункові залежності для визначення нормативних величин витрат паливно-енергетичних ресурсів (теплової енергії або природного газу) залежно від факторів впливу (наприклад, температури зовнішнього повітря для кількості теплоти на потреби опалення). На рис. 7 подано приклад побудови такого графіка.

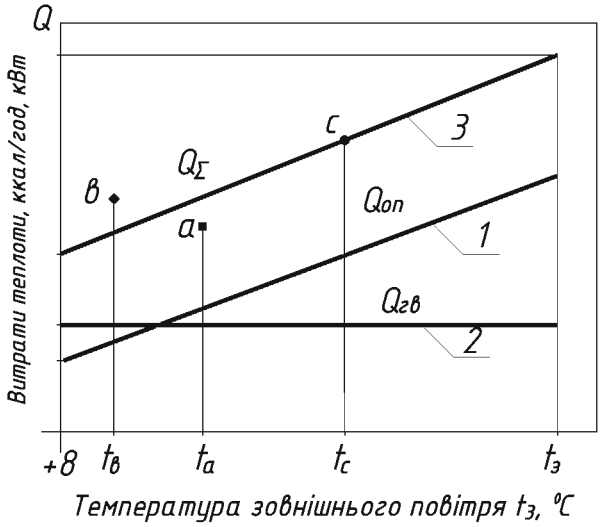


Рисунок 7 – Графіки витрат теплоти: 1 – на опалення; 2 – на гаряче водопостачання; 3 – сумарний. Можливі результати поточних спостережень: a – дійсна кількість відпускаємої теплоти менша за необхідну нормовану (дефіцит теплоти); b – дійсна кількість теплоти, яка відпускається споживачам, більша за необхідну нормовану (перевитрати теплоти); c – відпуск теплоти споживачам відповідає нормативам в умовах існуючих теплозахисних характеристик огороджень

Графіки витрат теплоти дають можливість контролювати відпуск теплоти до споживачів залежно від температури зовнішнього повітря. Періодичний контроль дійсних витрат теплоти згідно з показаннями теплових лічильників дає можливість контролювати відповідність таких витрат розрахунковому графіку витрат теплоти. У разі відхилення поточних даних від графіка необхідно прийняти відповідні заходи і скоригувати відпуск теплоти. Знімання показань лічильників теплоти необхідно здійснювати за умов, максимально наближених до стаціонарних, або усереднювати результати вимірювань протягом 5…6 днів.

Для контролю за величиною параметрів теплоносія, який отримують із централізованих систем теплопостачання або місцевих джерел теплоти, подається графік розрахункових температур теплоносія. Такий графік доцільно побудувати, і в ході експлуатації контролювати його додержання як для теплоносія, що надходить із теплової мережі (до вузла змішування), так і для теплоносія, що надходить у систему опалення (після вузла змішування).

Контроль за температурою теплоносія необхідно поєднувати з контролем за величиною витрат мережної води, яка надходить в абонентські системи опалення.

Розрахункова величина витрат води в системі опалення будівлі становить_____м^3 / год і повинна бути сталою. Зміна зазначеної величини витрат теплоносія у часі свідчить про розрегульованість центральних теплових мереж або застосування кількісного регулювання відпуску теплоти. Дійсні витрати води визначаються за показаннями теплових лічильників. Знімання показань лічильників рекомендується виконувати не рідше одного разу на 7...10 діб.

Результати контролю за параметрами теплоносія рекомендується оформлювати у вигляді табл. 6. Приклад побудови графіка температур теплоносія подано на рис. 8.

Аналогічний контроль рекомендується виконувати за показаннями лічильників холодної і гарячої води.

Таблиця 6

Результати енергомоніторингу витрат теплоти на потреби опалення

Дата визначення показників	Середня температура зовнішнього повітря за період спостережень, ^{0}C	Температура теплоносія в тепловій мережі, ^{0}C		Поточні показання лічильників		Температура теплоносія в системі опалення, ^{0}C		Витрати за період спостережень	
		подача	зворотна	мережної води, м^3	теплоти, МДж	подача	зворотна	мережної води, м^3	теплоти $Q_{пер.}$, МДж
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

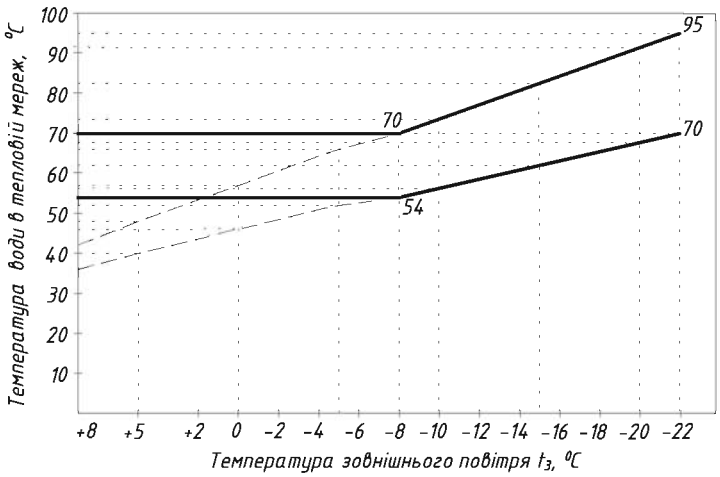


Рисунок 8 – Графік температур теплоносія при центральному якісному регулюванні закритої теплової мережі за опалювальним навантаженням і наявності потреби в теплоті для гарячого водопостачання

За поданими в табл. 6 показаннями вузла обліку витрат теплової енергії на опалення визначають усереднену в межах періоду вимірювання величину теплового потоку на опалення, яку наносять на графік залежності витрат теплоти від температури зовнішнього повітря.

Визначення усередненої величини теплового потоку здійснюється згідно з залежністю:

$$Q = Q_{пер.} \cdot 10^3 / (т_{пер.} \cdot 3600), \text{ кВт},$$

де

$Q_{пер.}$ – витрати теплоти за період спостережень, МДж;

$т_{пер.}$ – період часу між визначенням показань лічильників, год.

ДОДАТКИ

Додаток А

Кліматичні параметри холодного періоду року для деяких населених пунктів України

Населений пункт	Температура повітря найбільш холодної п'ятиденки – розрахункова для систем опалення, ^{0}C	Розрахункова температура для систем вентиляції, ^{0}C	Тривалість періоду із температурою <8 ^{0}C – тривалість опалювального періоду, діб	Середня температура опалювального періоду, ^{0}C
Вінниця	- 21	- 10	180	- 0,7
Луцьк	- 20	- 8	179	- 0,1
Дніпропетровськ	- 24	- 10	172	- 0,6
Кривий Ріг	- 17	- 7	170	- 0,2
Донецьк	- 22	- 9	176	- 0,9
Житомир	- 22	- 9	182	- 0,8
Ужгород	- 18	- 7	154	+ 1,5
Запоріжжя	- 21	- 7	166	+ 0,3
Івано-Франківськ	- 22	- 8	178	0
Київ	- 22	- 10	176	- 0,6
Кіровоград	- 22	- 10	175	- 0,7
Луганськ	- 25	- 10	172	- 0,8
Львів	- 19	- 9	179	0
Миколаїв	- 20	- 7	160	+0,9
Одеса	- 18	- 6	158	+ 1,7
Полтава	- 23	- 11	177	- 1,3
Рівне	- 21	- 9	181	- 0,5
Суми	- 25	- 13	185	- 1,9
Тернопіль	- 20	- 9	183	- 0,7
Харків	- 23	- 11	179	- 1,5
Херсон	- 19	- 7	163	+ 1
Хмельницький	- 21	- 9	181	- 0,5
Умань	- 20	- 8	177	- 0,8
Чернігів	- 23	- 10	185	- 1,4
Чернівці	- 20	- 9	173	0
Сімферополь	- 18	- 3	153	+2,6
Феодосія	- 17	- 2	140	+ 3,4
Ялта	- 7	+ 1	119	+ 5.1

Кліматичні параметри прийняті згідно із СНиП 23-01-99 «Строительная климатология», 2000.

Додаток Б

Таблиця Б.1

Норми щільності теплового потоку через ізольовану поверхню трубопроводів двотрубних водяних теплових мереж, за умови їх розташування в непрохідних каналах при кількості годин роботи за рік 5000 і менше, Вт / м, згідно з вимогами СНиП 2.04.14-88 «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов»

Умовний прохід трубопроводу, мм	Трубопровід					
	Подавальний	Зворотний	Подавальний	Зворотний	Подавальний	Зворотний
	Середньорічна температура теплоносія, ^{0}C					
	65	50	90	50	110	50
25	18	12	26	11	31	10
30	19	13	27	12	33	11
40	21	14	29	13	36	12
50	22	15	33	14	40	13
65	27	19	38	16	47	14
80	29	20	41	17	51	15
100	33	22	46	19	57	17
125	34	23	49	20	61	18
150	38	26	54	22	65	19
200	48	31	66	26	83	23
250	54	35	76	29	93	25
300	62	40	87	32	103	28
350	68	44	93	34	117	29
400	75	47	109	37	123	3О
450	77	49	112	39	135	32
500	88	54	126	43	167	33
600	98	58	140	45	171	35
700	107	63	163	47	185	38
800	130	72	181	48	213	42
900	138	75	190	57	234	44
1000	152	78	199	59	249	49
1200	185	86	257	66	300	54
1400	204	90	284	69	322	58

Примітки.

1. Величини середньорічної температури теплоносіїв у подавальній і зворотній магістралях визначаються за графіком температур відпуску теплоносія при середній температурі опалювального періоду (методику побудови графіка температур викладено в розділі 6 посібника «Енергозбереження в університетських містечках»). Для метеорологічних умов м. Полтави і графіка температур 95 / 70 ^{0}C середня за опалювальний період температура у подавальному трубопроводі становить 58 ^{0}C, а у зворотному 46 ^{0}C.

2. Загальні питомі втрати теплоти з поверхні трубопроводів теплових мереж визначаються за сумою втрат теплоти в подавальному і зворотному трубопроводах.

3. У таблиці зазначено мінімально допустиму величину питомих втрат теплоти на трубопроводах теплових мереж. Внаслідок тривалого терміну служби теплової ізоляції та її зволоження дійсні величини втрат теплоти можуть перевищувати нормативні.

Продовження додатка Б

Таблиця Б.2

Норми щільності теплового потоку за умови розташування трубопроводів теплових мереж у приміщеннях та тунелях при кількості годин роботи за рік 5000 і менше, Вт / м, згідно з вимогами СНиП 2.04.14-88 «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов»

Умовний прохід трубопроводу, мм	Середня температура теплоносія, ^{0}C						
	50	100	150	200	250	300	350
	Норми лінійної щільності теплового потоку, Вт / м						
15	9	20	31	44	57	72	87
20	10	22	35	49	64	80	97
25	11	25	39	54	70	87	106
40	13	29	46	64	83	103	124
50	15	32	49	68	89	110	132
65	17	37	57	78	101	124	149
80	20	41	62	84	108	133	160
100	22	45	69	93	119	146	175
125	25	51	77	102	135	165	196
150	28	56	85	114	149	181	215
200	36	70	103	137	179	216	256
250	42	81	118	155	201	242	287
300	48	92	133	174	225	270	319
350	53	103	147	193	248	299	350
400	60	113	162	210	269	324	379
500	71	132	183	243	314	373	435
600	81	152	215	277	357	423	492
700	91	170	239	309	394	467	541
800	102	190	265	342	436	515	596
900	114	209	292	375	478	563	650
1000	125	229	318	408	519	611	704

Примітки.

1. Величини середньорічної температури теплоносіїв у подавальній і зворотній магістралях визначаються за графіком температур відпуску теплоносія при середній температурі опалювального періоду (методику побудови графіка температур викладено в розділі 6 посібника «Енергозбереження в університетських містечках»). Для метеорологічних умов м. Полтави і графіка температур 95 / 70 ^{0}C середня за опалювальний період температура у подавальному трубопроводі становить 58 ^{0}C, а у зворотному 46 ^{0}C.

2. Загальні питомі втрати теплоти з поверхні трубопроводів теплових мереж визначаються за сумою втрат теплоти в подавальному і зворотному трубопроводах.

3. У таблиці вказано мінімально допустиму величину питомих втрат теплоти на трубопроводах теплових мереж. Внаслідок тривалого терміну служби теплової ізоляції і її зволоження дійсні величини втрат теплоти можуть перевищувати нормативні.

Додаток В

Таблиця В.1

Норми щільності теплового потоку через ізольовані поверхні трубопроводів при двотрубному підземному безканальному прокладанні водяних теплових мереж при кількості годин роботи на рік 5000 і менше, Вт / м, згідно з вимогами СНиП 2.04.14-88 «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов»

Умовний прохід трубопроводу, мм	Трубопровід			
	Подавальний	Зворотний	Подавальний	Зворотний
	Середньорічна температура теплоносія, °С			
	65	50	90	50
25	36	27	48	26
50	44	34	60	32
65	50	38	67	36
80	51	39	69	37
100	55	42	74	40
125	61	46	81	44
150	69	52	91	49
200	77	59	101	54
250	83	63	111	59
300	91	69	122	64
350	101	75	133	69
400	108	80	140	73
450	116	86	151	78
500	123	91	163	83
600	140	103	186	94
700	156	112	203	100
800	169	122	226	109

Примітки.

1. Величини середньорічної температури теплоносіїв у подавальній і зворотній магістралях визначаються за графіком температур відпуску теплоносія при середній температурі опалювального періоду (методику побудови графіка температур викладено в розділі 6 посібника). Для метеорологічних умов м. Полтави і графіка температур 95 / 70 ^{0}С середня за опалювальний період температура у подавальному трубопроводі становить 58 ^{0}С, а у зворотному 46 ^{0}С.

2. Загальні питомі втрати теплоти з поверхні трубопроводів теплових мереж визначаються а сумою втрат теплоти в подавальному і зворотному трубопроводах.

3. У таблиці вказано мінімально допустиму величину питомих втрат теплоти на трубопроводах теплових мереж. Внаслідок тривалого терміну служби теплової ізоляції і її ущільнення під дією ґрунту, дійсні величини втрат теплоти можуть перевищувати нормативні.

Продовження додатка В

Таблиця В.2

Величина коефіцієнта K_2, що враховує зміну норм щільності теплового потоку при застосуванні теплоізоляційного шару з пінополіуретану, полімербетону, фенольного поропласту ФЛ згідно з вимогами СНиП 2.04.14-88 «Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов»

Матеріал теплоізоляційного шару	Умовний прохід трубопроводу, мм			
	25… 65	80…150	200… 300	350… 500
	Коефіцієнт K_2			
Пінополіуретан, фенольний поропласт ФЛ	0,5	0,6	0,7	0,8
Полімербетон	0,7	0,8	0,9	1.0

Примітка.

Уточнені розрахунки втрат теплоти в теплових мережах рекомендується виконувати за формулою:

$$Q = q_n \cdot l \cdot \beta \cdot 10^{-6} \cdot \tau \cdot 3{,}6$$

де

Q – втрати теплоти, ГДж на рік;

q_n – норма теплових втрат, Вт / м;

l – протяжність трубопроводів, м;

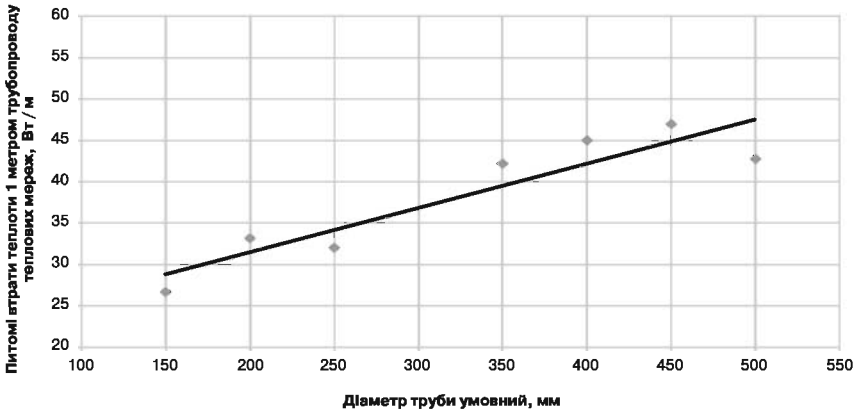
τ – кількість годин роботи, год;

β – коефіцієнт, який враховує втрату теплоти опорами, арматурою та компенсаторами, що приймається за безканального прокладання – 1,15; в тунелях та каналах – 1,2; за надземного прокладання – 1,25.

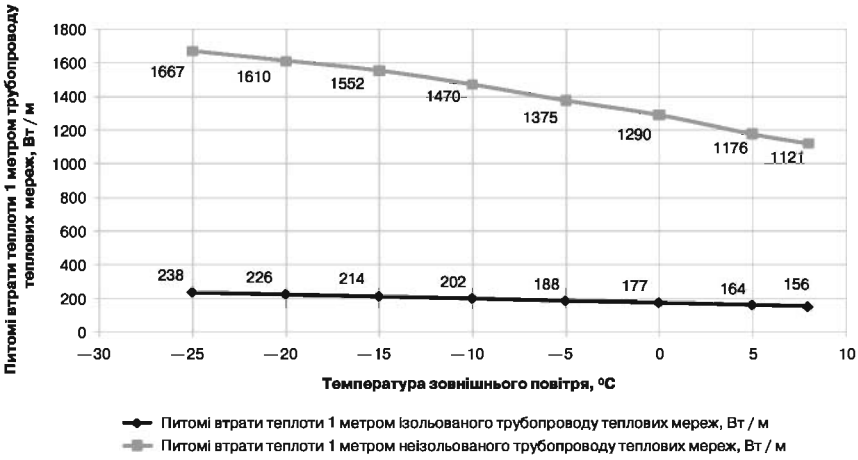
Додаток Г

Довідникові дані для визначення втрат теплоти в теплових мережах з охолодженням води в трубопроводах

Питомі витрати теплоти 1 метром попередньо ізольованого трубопроводу теплових мереж, Вт / м, при середній температурі опалювального періоду -1 ^{0}C



Питомі втрати теплоти 1 метром трубопроводу теплових мереж, Вт / м, при різних температурах зовнішнього повітря. Надземна прокладка



Додаток Д

Визначення втрат теплоти від неізольованих і ізольованих трубопроводів систем опалення, гарячого водопостачання і циркуляційних трубопроводів, які прокладені у приміщенні

Ізольовані трубопроводи				Неізольовані трубопроводи	
Зовнішній діаметр сталевого трубопроводу d, мм	Характеристика теплової ізоляції		Лінійний коефіцієнт теплопередачі K_l, Вт / м · град	Зовнішній діаметр сталевого трубопроводу, мм	Лінійний коефіцієнт теплопередачі K_l, Вт / м · град
	Товщина, м	Коефіцієнт теплопровідності, Вт / м · град			
15	10	0,07	0,513	15	0,68
20	20	0,07	0,500	20	0,86
25	20	0,07	0,590	25	1,08
32	20	0,07	0,712	32	1,38
40	30	0,07	0,653	40	1,56
50	30	0,07	0,779	50	1,96
65	30	0,07	0,929	65	2,4
80	40	0,07	1,07	80	2,94
100	40	0,07	1,99	100	3,57

Для визначення величини питомих втрат теплоти з 1 м ізольованого або неізольованого трубопроводу необхідно вказану у таблиці величину лінійного коефіцієнта теплопередачі помножити на різницю між середньорічною або середньою за опалювальний період температурою теплоносія у трубопроводі $t_{сер.}$ і середньою температурою зовнішнього повітря приміщення $t_з$, у якому прокладено трубопровід:

$$q_l = K_l \cdot (t_{сер.} - t_з), \text{ Вт / м},$$

де

q_l – питомі втрати теплоти з 1 м трубопроводу (для трубопроводів водяних систем опалення тепловіддачу 1 м неізольованих трубопроводів q_l у Вт / м наведено в «Справочнике проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства. Ч. 1. Отопление. Под редакцией И.Г. Староверова», с. 264). Тепловіддачу ізольованих трубопроводів наведено на с. 268 того самого довідника;

K_l – лінійний коефіцієнт теплопередачі із додатка Д залежно від наявності ізоляції і діаметра трубопроводу;

$t_{сер.}$ – середня температура теплоносія у трубопроводі, ^{0}C;

$t_з$ – середня температура повітря приміщення, у якому прокладено трубопровід, ^{0}C.

Втрати теплоти ділянкою трубопроводу довільної довжини L, м, діаметром d, визначаються за добутком величин довжини трубопроводу L на питому величину втрат теплоти q_l:

$$\Delta Q = L \cdot q_l, \text{ Вт.}$$

Додаток Е

Таблиця Е.1

Визначення питомих об'ємів води для наповнення трубопроводів теплових мереж, $V_{пит.}$, м^3 / км (дані наведено на один трубопровід – подавальний або зворотний)

Зовнішній діаметр труби, мм	Внутрішній діаметр труби, мм	Питомий об'єм води, м^3 / км
46	41	1,3
57	50	1,963
76	69	3,739
89	80	5,153
106	100	7,854
133	125	12,21
159	150	17,67
219	203	32,35
273	257	51,9
325	309	74,99
377	357	100,1
426	412	133,3
478	462	167,6
529	509	203,5
630	610	294,2

Витрати води для наповнення трубопроводів теплових мереж визначаються за величиною питомого об'єму $V_{пит.}$ і довжиною L трубопроводів певного діаметра в км згідно з залежністю: $M_{нап.}^{тм} = \Sigma(V_{пит.i} \cdot L_i)$ в м^3 (т). Густину води прийнято орієнтовно 1000 кг / м^3.

Таблиця Е.2

Питомий об'єм води для наповнення абонентських систем опалення, $V_{пит.}^{оп.}$, м^3 / ГДж за год, або (м^3 / Гкал за год)

Вид опалювальних приладів системи опалення	Питомий об'єм води для наповнення, $V_{пит.}^{оп.}$ при перепаді температур у системі, ^{0}C	
	95…70	110…70
Система опалення з радіаторами заввишки		
500 мм	4,66 (19,5)	4,2 (17,6)
1000 мм	7,4 (31)	6,64 (38,2)
з ребристими трубами	3,39 (14,2)	2,99 (12,5)
з регістрами із гладких труб	8,84 (37)	7,6 (32)

Витрати води для наповнення абонентських систем опалення визначаються за залежністю $M_{нап.}^{оп.} = Q_р \cdot V_{пит.}^{оп.}$, в м^3 (т), де $Q_р$ – розрахункове теплове навантаження систем опалення ГДж / год або Гкал / год.

Загальні витрати води на наповнення трубопроводів теплових мереж і абонентських систем опалення визначаються за залежністю $M_{нап.} = M_{нап.}^{оп.} + M_{нап.}^{тм}$, т (м^3).

Додаток Ж

Таблиця Ж.1

Температура води, що подається в систему опалення за температурним графіком 95 / 70 ^{0}C при температурі зовнішнього повітря $t_з$, ^{0}C та температурі в приміщенні $t_в$ = +18 ^{0}C

Розрахункова температура зовнішнього повітря, ^{0}C	Фактична температура зовнішнього повітря $t_з$, ^{0}C								
	10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30
-10	45,2	58,7	71,3	83,4	95,0	-	-	-	-
-11	44,5	57,6	69,8	81,5	92,8	-	-	-	-
-12	43,7	56,5	68,4	79,7	90,7	-	-	-	-
-13	43,1	55,4	67,0	78,1	88,7	-	-	-	-
-14	42,4	54,5	65,7	76,5	86,9	-	-	-	-
-15	41,8	53,5	64,5	75,0	85,2	95,0	-	-	-
-16	41,2	52,7	63,4	73,6	83,5	93,1	-	-	-
-17	40,7	51,8	62,3	72,3	82,0	91,3	-	-	-
-18	40,1	51,1	61,3	71,1	80,5	89,6	-	-	-
-19	39,6	50,3	60,3	69,9	79,1	88,0	-	-	-
-20	39,2	49,6	59,4	68,7	77,7	86,5	95,0	-	-
-21	38,7	48,9	58,5	67,6	76,5	85,0	93,4	-	-
-22	38,3	48,3	57,7	66,6	75,2	83,6	91,8	-	-
-23	37,9	47,7	56,9	65,6	74,1	82,3	90,3	-	-
-24	37,5	47,1	56,1	64,7	73,0	81,0	88,8	-	-
-25	37,1	46,5	55,4	63,8	71,9	79,8	87,5	95,0	-
-26	36,8	46,0	54,7	62,9	70,9	78,6	86,2	93,5	-
-27	36,4	45,5	54,0	62,1	69,9	77,5	84,9	92,1	-
-28	36,1	45,0	53,3	61,3	69,0	76,4	83,7	90,8	-
-29	35,8	44,5	52,7	60,5	68,1	75,4	82,5	89,5	-
-30	35,5	44,1	52,1	59,8	67,2	74,4	81,4	88,3	95,0

Продовження додатка Ж

Таблиця Ж.2

Температура води, що подається в систему опалення за температурним графіком 105 / 70 ^{0}C при температурі зовнішнього повітря $t_з$, ^{0}C та температурі в приміщенні $t_в$ = +18 ^{0}C

Розрахункова температура зовнішнього повітря, ^{0}C	Фактична температура зовнішнього повітря $t_з$, ^{0}C								
	10	5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30
-10	48,5	63,7	78,1	91,8	105,0	-	-	-	-
-11	47,6	62,4	76,3	89,6	102,5	-	-	-	-
-12	46,8	61,2	74,7	87,6	100,1	-	-	-	-
-13	46,0	60,0	73,2	85,7	97,9	-	-	-	-
-14	45,3	58,9	71,7	83,9	95,8	-	-	-	-
-15	44,6	57,9	70,3	82,3	93,8	105,0	-	-	-
-16	44,0	56,9	69,0	80,7	91,9	102,8	-	-	-
-17	43,3	56,0	67,8	79,2	90,1	100,8	-	-	-
-18	42,8	55,1	66,7	77,7	88,5	98,9	-	-	-
-19	42,2	54,2	65,6	76,4	86,9	97,0	-	-	-
-20	41,7	53,5	64,3	75,1	85,3	95,3	105,0	-	-
-21	41,2	52,7	63,5	73,9	83,9	93,6	103,1	-	-
-22	40,7	52,0	62,6	72,7	82,5	92,0	101,3	-	-
-23	40,2	51,3	61,7	71,6	81,2	90,5	99,6	-	-
-24	39,8	50,6	60,8	70,5	79,9	89,1	98,0	-	-
-25	39,4	50,0	60,0	69,5	78,7	87,7	96,4	105,0	-
-26	39,0	49,4	59,2	68,5	77,5	86,3	94,9	103,3	-
-27	38,6	48,8	58,4	67,6	76,4	85,1	93,5	101,7	-
-28	38,2	48,2	57,7	66,7	75,4	83,8	92,1	100,2	-
-29	37,8	47,7	57,0	65,8	74,3	82,7	90,8	98,7	-
-30	37,5	47,2	56,3	65,0	73,4	81,5	89,5	97,3	105,0

Додаток 3

Мінімально допустимі значення опору теплопередачі огороджувальних конструкцій для житлових та громадських будинків $R_{мін.}$, $м^2 \cdot град / Вт$ (для гуртожитків і навчальних корпусів ВНЗ)

№	Вид огороджувальної конструкції	Значення $R_{мін}$ для температур-ної зони України			
		I	II	III	IV
1	Зовнішні стіни	2,8	2,5	2,2	2,0
2а*	Покриття й перекриття неопалювальних горищ	4,95	4,5	3,9	3,3
2б		3,3	3,0	2,6	2,2
3	Перекриття над проїздами та холодними підвалами, що межують із холодним повітрям	3,5	3,3	3,0	2,5
4	Перекриття над холодними підвалами, що розташовані вище рівня землі	2.8	2,6	2,2	2,0
5а*	Перекриття над неопалювальними підвалами, що розташовані нижче рівня землі*	3,75	3,45	3,0	2,7
5б		2,5	2,3	2,0	1,8
6а*	Вікна, балконні двері, вітрини, вітражі, світлопрозорі фасади	0,6	0,56	0,5	0,45
6б		0,5	0,5	0,39	0,2
7	Вхідні двері в багатоквартирні житлові будинки та в громадські будинки	0,44	0,41	0,39	0,32
8	Вхідні двері в малоповерхові будинки та в квартири, що розташовані на перших поверхах багатоповерхових будинків	0,6	0,56	0,54	0,45
9	Вхідні двері в квартири, що розташовані вище першого поверху	0,25	0,25	0,25	0,25

* Для будинків садибного типу і будинків до 4 поверхів включно

Додаток И

Теплотехнічні характеристики деяких матеріалів

Пор.№	Матеріал	Характеристики матеріалу в сухому стані		Характеристики матеріалу в умовах експлуатації Б	
		Щільність γ, кг / м³	Теплоємність С, кДж / (кг · ⁰С)	Коеф. тепло-провідності λ, Вт / м · ⁰С	Коеф. тепло-засвоєння S, Вт / м² · ⁰С
	Бетони на природних щільних заповнювачах				
1	Залізобетон	2500	0,84	2,04	16,95
2	Бетон на гравії чи щебені	2400	0,84	1,86	17,88
3	Туфобетон	1800	0,84	0,99	12,79
4	Пемзобетон	1600	0,84	0,68	9,3
5	Пемзобетон	1400	0,84	0,54	7,76
6	Пемзобетон	1200	0,84	0,43	6,41
7	Пемзобетон	1000	0,84	0,34	5,2
8	Керамзитобетон на керамзит. піску	1600	0,84	0,79	10,77
9	Керамзитобетон на керамзит. піску	1200	0,84	0,52	7,57
10	Керамзитобетон на керамзит. піску	800	0,84	0,31	4,77
11	Керамзитобетон на керамзит. піску	500	0,84	0,23	3,25
12	Газо- та пінобетон	1000	0,84	0,47	7,09
13	Газо- та пінобетон	800	0,84	0,37	5,63
14	Газо- та пінобетон	600	0,84	0,26	3,36
15	Газо- та пінобетон	400	0,84	0,15	2,42
16	Газо- та пінобетон	300	0,84	0,13	1,95
	Цементні, вапняні та гіпсові розчини				
17	Цементно-піщаний	1800	0,84	0,93	11,09
18	Вапняно-піщаний	1600	0,84	0,81	9,76
19	Цементно-шлаковий	1400	0,84	0,64	8,11
20	Плити з гіпсу	1200	0,84	0,47	6,7
21	Листи гіпсові для обшивки	800	0,84	0,21	3,66
	Цегляна кладка				
22	Глиняна повнотіла цегла на цементно-піщаному розчині	1800	0,88	0,81	10,12
23	Керамічна пустотна цегла щільністю1400 кг/м³	1600	0,88	0,58	7,56
24	Керамічна пустотна цегла щільністю1300 кг/м³	1400	0,88	0,58	7,56
25	Керамічна пустотна цегла щільністю1000 кг/м³	1200	0,88	0,52	6,62
26	Силікатна цегла на цементно-піщаному розчині	1800	0,88	0,87	10,9

Продовження додатка И

Пор.№	Матеріал	Характеристики матеріалу в сухому стані		Характеристики матеріалу в умовах експлуатації Б	
		Щільність γ, кг / м³	Теплоємність С, кДж / (кг · ⁰С)	Коеф. тепло-провідності λ, Вт / м · ⁰С	Коеф. тепло-засвоєння S, Вт / м² · ⁰С
	Цегляна кладка				
27	Шлакова цегла на цементно-піщаному розчині	1500	0,88	0,7	8,76
28	Керамічна порожниста цегла на цементно-піщаному розчині	1600	0,64	0,58	8,481
29	Силікатна 11-порожниста цегла на цементно-піщаному розчині	1500	0,88	0,81	9,63
	Природний камінь				
30	Граніт	2800	0,88	3,49	25,04
31	Мармур	2800	0,88	2,91	22,86
32	Вапняк	2000	0,88	1,16	12,77
33	Туф	2000	0,88	1,05	12,92
	Дерево, вироби з дерева та інших природних органічних матеріалів				
34	Сосна та ялина впоперек волокон	500	2,3	0,18	4,54
35	Сосна та ялина вздовж волокон	500	2,3	0,35	6,33
36	Дуб впоперек волокон	700	2,3	0,23	5,86
37	Дуб вздовж волокон	700	2,3	0,41	7,83
38	Фанера клеєна	600	2,3	0,18	4,73
39	Картон облицювальний	1000	2,3	0,23	6,75
40	Плити ДВП та ДСП	1000	2,3	0,29	7,7
41	Плити очеретяні	300	2,3	0,14	2,99
	Теплоізоляційні матеріали				
42	Мати мінераловатні прошивн і(125кг/м³)	125	0,84	0,07	0,82
43	Мати мінераловатні прошивні (75кг/м³)	75	0,84	0,064	0,48
44	Мати мінераловатні прошивні (50кг/м³)	50	0,84	0,06	0,48
45	Плити м'які та жорсткі мін-ватні (350кг/м³)	350	0,84	0,11	1,72
46	Плити м'які та жорсткі мін-ватні (300кг/м³)	300	0,84	0,09	1,44
47	Плити м'які та жорсткі мін-ватні (200кг/м³)	200	0,84	0,08	1,11
48	Плити м'які та жорсткі мін-ватні (100кг/м³)	100	0,84	0,06	0,48
49	Плити м'які та жорсткі мін-ватні (50кг/м³)	50	0,84	0,076	1,01
50	Плити із скловолокна на синтет. в'яжучому	50	0,84	0,064	0,50
51	Мати із скловолокна	150	0,84	0,07	0,9

Продовження додатка И

Пор.№	Матеріал	Характеристики матеріалу в сухому стані		Характеристики матеріалу в умовах експлуатації Б	
		Щільність γ, кг / м³	Теплоємність С, кДж / (кг · ⁰С)	Коеф. тепло-провідності λ, Вт / м · ⁰С	Коеф. тепло-засвоєння S, Вт / м² · ⁰С
52	Пінополістирол (150кг / м³)	150	1,34	0,06	0,99
53	Пінополістирол (100кг / м³)	100	1,34	0,052	0,82
	Теплоізоляційні матеріали				
54	Пінопласт	125	1,26	0,064	0,99
55	Пінополіуретан (80кг / м³)	80	1,47	0,05	0,7
56	Пінополіуретан (40кг / м³)	40	1,47	0,04	0,42
	Сипучі матеріали				
57	Гравій керамзитовий (800кг / м³)	800	0,84	0,23	3,6
58	Гравій керамзитовий (600кг / м³)	600	0,84	0,20	2,91
59	Гравій керамзитовий (400кг / м³)	400	0,84	0,14	1,99
60	Гравій керамзитовий (300кг / м³)	300	0,84	0,12	1,66
61	Гравій керамзитовий (200кг / м³)	200	0,84	0,12	1,3
62	Пісок для будівельних робіт	1600	0,84	0,58	7,91
	Покрівельні матеріали, для оздоблювальних робіт та інше				
63	Піноскло та газоскло	400	0,84	0,14	1,94
64	Листи азбестоцементні плоскі	1800	0,84	0,52	8,12
65	Бітуми нафтові будівельні та покрів.	1400	1,68	0,27	6,8
66	Асфальтобетон	2100	1,68	1,05	16,43
67	Руберойд	600	1,68	0,17	3,53
68	Лінолеум полівінілхлоридний	1800	1,47	0,38	8,56
69	Те саме на тканинній основі	1800	1,47	0,35	8,22
	Метали та скло				
70	Сталь стрижнева арматурна	7850	0,482	58	126,5
71	Чугун	7200	0,482	50	112,5
72	Алюміній	2600	0,84	221	187,6
73	Мідь	8500	0,42	407	326
74	Скло віконне	2500	0,84	0,76	10,79

Примітка

Теплотехнічні показники будівельних матеріалів і конструкцій наведено для вологісних умов експлуатації «Б». Повний перелік теплофізичних характеристик будівельних матеріалів див. у додатку Л

ДБН В.2.6-31:2006 «Теплова ізоляція будівель».

Додаток К

Питомі опалювальні та вентиляційні характеристики навчальних будівель ВНЗ q_o, $q_в$ у кДж / м^3 · год · град; (ккал / м^3 · год · град)

Об'єм будинків за зовнішніми обмірами, тис. м^3	Опалювальні характеристики q_0 для районів із зовнішньою температурою -30 ^{0}С		Питомі вентиляційні характеристики $q_в$	
	до 1980 р.	після 1980 р.	до 1980 р.	після 1980 р.
до 10	1,46; (0,45)	1,55; (0,37)	0.42; (0,1)	2,13; (0,51)
10…15	1,38; (0,33)	1,42; (0,34)	0.42; (0,1)	2,13; (0,51)
15…20	1,25; (0,30)	1,3; (0,31)	0,33; (0,08)	2,22; (0,53)
понад 20	1,01; (0,24)	1,13; (0,27)	0,33; (0,08)	2,22; (0,53)

Додаток Л

Нормативні максимальні тепловитрати будівель ВНЗ, $E_{мах}$, кВт · год / м^2; (кВт · год / м^3) станом на 2006 р.

Поверховість будинку	Значення $E_{мах}$ для температурної зони			
	1	2	3	4
1	(44)	(38)	(32)	(26)
2	(40)	(34)	(29)	(24)
3	(39)	(33)	(28)	(23)
від 4 до 5	94; (35)	81; (31)	69; (26)	56; (21)
від 6 до 7	89; (33)	77; (29)	65; (24)	53; (20)
від 8 до 9	83; (31)	72; (27)	61; (23)	50; (19)
від 10 до 11	79; (29)	69; (25)	58; (21)	48; (17)
12 і більше	77; (28)	67; (24)	57; (20)	46; (17)

Додаток М

Опитувальні листи для обстеження будівель ВНЗ
Загальні відомості

Найменування параметра	од. вим.	значення	
Адреса будівлі (місто, вулиця, номер будинку)			
Призначення			
Власник будівлі			
Рік зведення будівлі і рік останнього капітального ремонту			
Наявність технічної документації на будівлю:		є	відс.
Проектна документація, рік виконання проекту			
Плани БТІ і паспорт на будівлю			
Будівельні плани по окремих поверхах			
Ескізні безмасштабні кресленики по окремих поверхах			
Кресленики інженерних мереж (опалення, гарячого водопостачання,			
холодного водопостачання, вентиляції, теплових вузлів вводу)			
Наявність документації на інженерні системи будівлі:		**є**	**відс.**
Паспорта систем вентиляції			
Паспорта на обладнання кухні			
Паспорта на інше обладнання			
Проект вузла обліку теплової енергії			
Паспорт теплового лічильника і лічильників обліку води			
Паспорта на інше обладнання теплового вузла вводу			
Проект вузла обліку електричної енергії			
Проект вузла обліку гарячої води Проект вузла обліку холодної води			
Проект вузла обліку природного газу			
Загальна характеристика будівлі та її використання			
Кількість студентів / викладачів	осіб		
Кількість годин використання будівлі після завершення занять	год / рік		
Кількість обслуговуючого персоналу у будівлі	осіб		
Середньомісячний фонд робочого часу для персоналу	особа · год		
Режим работи будівлі у робочі дні		почат.	завер.
1-ша зміна			
2-га зміна			
Режим роботи протягом тижня			
Режим роботи протягом року (канікулярний період)			
Кількість поверхів			
Об'єм будівлі за зовнішніми обмірами	$м^3$		
Опалювальна площа будівлі	$м^2$		
Орієнтація головного фасаду будівлі за сторонами горизонту			
Кліматичні дані			
Початок і завершення опалювального періоду			
Розрахункова температура зовнішнього повітря	^0C		
Середня нормована температура опалювального періоду	^0C		
Переважний напрям вітру			
Кількість градусо-діб опалювального періоду (температурна зона)	гр.- діб		
Інші дані			

Продовження додатка М

Найменування параметра	од. вим.	значення
Дані про джерело опалення		
Система централізованого теплопостачання		
Автономне або місцеве джерело теплопостачання (вид палива)		
Графік температур відпуску теплоносія від джерела теплоти		
Дані про джерело теплоти для приготування гарячої води		
Система централізованого теплопостачання		
Електричний водонагрівач		
Нагрівання води в ІТП чи ЦТП		
Дані про джерело теплоти для нагрівання повітря систем припливної вентиляції		
Система централізованого теплопостачання		
Автономне або місцеве джерело теплопостачання		
Електрокалорифер		
Графік температур відпуску теплоносія від джерела теплоти	^{0}C	
Візуальне оцінювання стану вікон		
Всі у задовільному стані		
Переважно в незадовільному стані		
Великі нещільності у притулах і біля скла. Ефективне ущільнення маловірогідне		
Значна кількість розбитих шибок. Необхідний ремонт		
Повністю зношені. Підлягають заміні		
Інші варіанти		
Експертна оцінка роботи системи опалення		
Задовільна робота		
Дефіцит теплоти, параметри внутрішнього повітря - не дотримуються		
Надлишки теплоти, підвищена температура, відчинені кватирки		

Експлікація приміщень

Позначення або номер згідно з планом	Найменування приміщення	Геометричні розміри, м			Площа засклiння
		Довжина	Ширина	Висота	м^2
1	2	3	4	5	6

Продовження додатка М

Дані про геометричні розміри будівлі

Найменування параметра	Од. вим.	Секція 1			
		Північ	Схід	Південь	Захід
Загальні дані					
Загальна площа	м^2				
Опалювальна площа	м^2				
Висота поверхів будівлі					
підвал	м				
1-й поверх	м				
2-й поверх	м				
3-й поверх	м				
4-й поверх	м				
5-й поверх	м				
тех. поверх (горище)	м				
Геометрія огороджувальних конструкцій					
Загальна площа зовніш. стін разом з вікнами і дверима	м^2				
Довжина	м				
Висота (без цоколя і горища)	м				
Висота цоколя	м				
Вікна і двері					
Загальна площа вікон, у т.ч:	м^2				
Тип 1	м^2				
Тип 2	м^2				
Тип 3	м^2				
Тип 4	м^2				
Площа зовнішніх дверей, у т.ч:	м^2				
Тип 1	м^2				
Тип 2	м^2				
Тип 3	м^2				
Тип 4	м^2				
Покрівля і горище					
Тип покрівлі:					
Пласка, суміщена з перекриттям останнього поверху					
Пласка, але є технічний поверх заввишки…	м				
Скатна покрівля (вказати площу покрівлі)	м^2				
Площа горищного перекриття	м^2				
Подвальні приміщення					
Площа підлоги 1-го поверху	м^2				
Площа підлоги опалювального підвалу разом із стінами до рівня землі	м^2				
Будівельний об'єм будівлі					
Будівельний об'єм надземної частини	м^3				
Опалювальний об'єм за зовнішніми обмірами будівлі від рівня землі	м^3				

Продовження додатка М

Результати досліджень параметрів внутрішнього повітря

Номер позначення за планом	Найменування приміщення	Дата проведення вимірювань: час, день, місяць, рік	Результати вимірювань у опалювальний період року, ^{0}C				Результати вимірювань у неопалювальний період, ^{0}C	
			Дійсна середня температура у приміщенні	Температура зовнішнього повітря	Нормована температура у приміщенні	Температура теплоносія у подавальному і зворотному трубопроводах системи опалення	Температура зовнішнього повітря	Дійсна середня температура у приміщенні
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Характеристики огороджувальних конструкцій
Стіни зовнішні

Конструкція стіни	Характеристики огороджень				
	матеріал	товщина, м	щільність, кг / м^3	коефіцієнт теплопровідності λ, Вт / м · град	опір теплопровідності R, м^2 · град / Вт
Перший шар					
Другий шар					
Третій шар					
Загальна характеристика					

Покрівля

Конструкція стіни	Характеристики огороджень				
	матеріал	товщина, м	щільність, кг / м^3	коефіцієнт теплопровідності λ, Вт / м · град	опір теплопровідності R, м^2 · град / Вт
Перший шар					
Другий шар					
Третій шар					
Загальна характеристика					

Перекриття над неопалювальним підвалом

Конструкція стіни	Характеристики огороджень				
	матеріал	товщина, м	щільність, кг / м^3	коефіцієнт теплопровідності λ, Вт / м · град	опір теплопровідності R, м^2 · град / Вт
Перший шар					
Другий шар					
Третій шар					
Загальна характеристика					

Продовження додатка М

Зовнішні двері

Параметри дверей	Од. вим.	Тип 1	Тип 2	Тип 3	Тип 4	Тип 5
Висота	м					
Ширина	м					
Площа	$м^2$					
Кількість дверей одного типу	шт.					
Основний матеріал						
Товщина основного матеріалу	м					
Вид утеплювача						
Товщина утеплювача	м					

Вікна

Параметри вікон	Од. вим.	Тип 1	Тип 2	Тип 3	Тип 4	Тип 5
Ширина вікна	м					
Висота вікна	м					
Площа віконних прорізів	$м^2$					
Кількість вікон одного типу у будівлі	шт.					
Периметр стулок, які відкриваються	м					
Вікна у дерев'яних рамах:						
одинарне скління						
Подвійне скління у спарених рамах						
Подвійне скління у роздільних рамах						
Вікна у металопластикових рамах						
Кількість скла у склопакеті	шт.					
Кількість камер у склопакеті	шт.					
Відстань між склом у першій камері	мм					
Відстань між склом у другій камері	мм					
Заповнення камер склопакету:						
інертним газом (вказати вид газу)						
інертним газом (вид газу невідомий)						
повітрям						
заповнення не визначене						
Наявність теплозахисного покриття скла:						
є						
відсутнє						
не визначене						
Наявність сертифікату на профіль						
Опір теплопровідності профілю	Вт / $м^2$ · град					
Наявність сертифікату на склопакет						
Опір теплопровідності склопакету	Вт / $м^2$ · град					
Загальний опір теплопровідності вікна	Вт / $м^2$ · град					
Коефіцієнт повітропроникності вікна	кг / $м^2$ · год					

Примітка.

У разі відсутності паспортних даних теплозахисних характеристик огороджень приймати нормативні параметри згідно з таблицею навчального посібника, СНиП II-А. 7-71 або СНиП II-А. 7-79* «Строительная теплотехника».

Продовження додатка М

Конструкція стін і підлога на ґрунті в опалювальних приміщеннях

Позначення	Призначення приміщення	Характеристика конструкцій, зовнішня поверхня яких контактує з ґрунтом по зонах							
		1-ша зона завширшки 2 м, R = 2,15 м² · град / Вт		2-га зона завширшки 2м, R = 4,3 м² · град / Вт		3-тя зона завширшки 2 м, R = 8,6 м² · град / Вт		4-та зона, решта площі, R = 14,22 м² · град / Вт	
		розмір	утеплювач	розмір	утеплювач	розмір	утеплювач	розмір	утеплювач

Примітка.

Дати характеристики утеплювача, що застосовується у конструкції стін і підлоги, зовнішня поверхня яких контактує з ґрунтом: вид утеплювача, його товщину і коефіцієнт теплопровідності.

Тарифи на енергоносії

Найменування енергоносія	Од. вим.	Тариф		
		чинний	що очікується, або чинний раніше, протягом періоду обстеження	дата введення
Теплота на потреби опалення	грн / Гкал			
Електроенергія	грн / кВт · год			
Природний газ	грн / тис. м³			
Холодна вода	грн / м³			
Водовідведення	грн / м³			
Підігрівання гарячої води	грн / м³			

Дані про прилади обліку

Найменування енергоносія	Об'єкт вимірювання*	Тип приладу обліку	Клас точності	Межі вимірювань		
				нижня	верхня	од. вим.
Теплота на потреби опалення						

Продовження додатка М

Найменування енергоносія	Об'єкт вимірювання*	Тип приладу обліку	Клас точності	Межі вимірювань		
				нижня	верхня	од. вим.
Електроенергія						
Гаряча вода						
Холодна вода						
Природний газ						
Інше (зазначити)						

*Об'єкт вимірювання – вся будівля чи її частина (наприклад, їдальня).

Дані про трубопроводи
Трубопроводи опалення у неопалювальних приміщеннях

Діаметр Ду	Довжина, м	Тип ізоляції		Оцінка стану ізоляції			Запірна арматура	
		без ізоляції	мінераловатні плити завтовшки, мм	задовільний	місцями відсутня	зволожена	діаметр Ду	кількість
Підвальні приміщення								
15					%			
20					%			
25					%			
32					%			
40					%			
50					%			
70					%			
100					%			
125					%			
150					%			
Горище і технічні поверхи								
15					%			
20					%			
25					%			
32					%			
40					%			

Продовження додатка М

Діаметр Ду	Довжина, м	Тип ізоляції		Оцінка стану ізоляції			Запірна арматура	
		без ізоляції	мінераловатні плити завтовшки, мм	задовільний	місцями відсутня	зволожена	діаметр Ду	кількість
Горище і технічні поверхи								
50					%			
70					%			
100					%			
125					%			
150					%			

Трубопроводи ГВП у неопалювальних приміщеннях

Діаметр Ду	Довжина, м	Тип ізоляції		Оцінка стану ізоляції			Запірна арматура	
		без ізоляції	мінераловатні плити завтовшки, мм	задовільний	місцями відсутня	зволожена	діаметр Ду	кількість
Підвальні приміщення								
15					%			
20					%			
25					%			
32					%			
40					%			
50					%			
70					%			
100					%			
125					%			
Горище і технічні поверхи								
15					%			
20					%			
25					%			
32					%			
40					%			
50					%			
70					%			
100					%			
125					%			

Продовження додатка М

Дані про кількість студентів, викладачів і обслуговуючого персоналу

Період	2008			2009			2010		
	студен.	персонал		студен.	персонал		студен.	персонал	
	осіб · год	осіб · год	осіб	осіб · год	осіб · год	осіб	осіб · год	осіб · год	осіб
січень									
лютий									
березень									
квітень									
травень									
червень									
липень									
серпень									
вересень									
жовтень									
листопад									
грудень									

Споживання паливно-енергетичних ресурсів

Період	Теплова енергія, Гкал або паливо, м^3			Електроенергія, тис. кВт · год			Вода холодна, м^3			Вода гаряча, м^3		
	2008	2009	2010	2008	2009	2010	2008	2009	2010	2008	2009	2010
січень												
лютий												
березень												
квітень												
травень												
червень												
липень												
серпень												
верес.												
жовтень												
листопад												
грудень												
усього												

Помісячна дійсна середня температура зовнішнього повітря протягом опалювального періоду, ^{0}C

Період року	2008 р.	2009 р.	2010 р.
січень			
лютий			
березень			
квітень (лише за дні опалювального періоду)			
травень			

Продовження додатка М

Період року	2008 р.	2009 р.	2010 р.
червень			
липень			
серпень			
вересень			
жовтень (лише за дні опалювального періоду)			
листопад			
грудень			
Середня за опалювальний період			

Примітка.

Під час визначення середньої температури опалювального періоду враховувати дійсну кількість днів за кожний місяць і величину температури визначати як середньозважену.

Характеристика санітарно-технічних приладів, які використовують холодну і гарячу воду

Приміщення	Санітарно-технічні прилади, які використовують воду			
Позначення за планом	Найменування	Найменування приладу (кран мийки, кран умивальника, змішувач душа, змішувач умивальника, унітаз та ін.)	Кількість	Кількість годин використання за добу

Електрообладнання їдальні

Найменування електрообладнання	Потужність, кВт	Кількість годин роботи за добу

Електрообладнання пральні

Найменування електрообладнання	Потужність, кВт	Кількість годин роботи за добу

Продовження додатка М

Характеристика електроводонагрівачів для приготування гарячої води

Приміщення		Електроводонагрівач		
Позначення за планом	Найменування	Потужність, кВт	Ємність, л	Кількість годин роботи за добу

Характеристика обладнання кухонь

Приміщення						Обладнання кухні			
Позначення за планом	Поверх	Найменування	Об'єм, м^3	Наявність вентиляції	Працездатність вентиляції	Назва і тип	Характеристика обладнання, потужність, кВт	Кількість встановленого обладнання	Кількість годин використання за добу

Характеристика лабораторного та іншого енерговикористовувального обладнання (включаючи персональні комп'ютери)

Приміщення						Енерговикористовувальне обладнання			
Позначення за планом	Поверх	Найменування	Об'єм, м^3	Наявність вентиляції	Працездатність вентиляції	Назва і тип	Характеристика обладнання, потужність, кВт	Кількість встановленого обладнання	Кількість годин використання за добу

Обладнання теплового вузла вводу

Найменування та характеристика обладнання	Од. вим.	Величина	Примітка
Елеватор			
Тип (номер)			
Міжфланцева довжина	мм		
Діаметр горловини	мм		
Діаметр сопла	мм		
Відмулювач			
Наявність (є/відсутній)			
Діаметр	мм		
Висота (наявність дренажного трубопроводу і байпасу)	мм		

Продовження додатка М

Найменування та характеристика обладнання	Од. вим.	Величина	Примітка
Фільтр сітчастий			
Ду (Діаметр умовного проходу, розмір комірки сітки)	мм		
Теплообмінник ГВС			
Кожухотрубний швидкісний теплообмінник:			
Тип			
Поверхня нагрівання	$м^2$		
Діаметр корпусу	мм		
Кількість секцій і довжина однієї секції	м		
Кількість теплообмінників			
Спосіб підключення до теплових мереж (парал., послідовний)			
Теплова потужність	кВт		
Ємнісний теплообмінник			
Тип			
Ємність			
Теплова потужність	кВт		
Пластинчастий теплообмінник			
Тип			
Теплова потужність	кВт		
Поверхня нагрівання	$м^2$		
Теплообмінник системи опалення (для незалежної схеми підключення системи опалення)			
Тип			
Теплова потужність	кВт		
Поверхня нагрівання	$м^2$		
Інше обладнання			

Продовження додатка М

Результати обстеження систем примусової вентиляції

Приміщення		Призначення вентиляції (загальнообмінна, локальна, теплова завіса)	Працездатність		Тип системи			Характеристика систем				Тип калорифера		Кількість год роботи за добу			Теплопродуктивність калорифера, кВт	Наявність СКВ і їх характеристика
Позначення за планом	Найменування		Працює	Не працює	Припливна	Витяжна	Припливно-витяжна з рекуперацією	Продуктивність по повітрю, м³ / год	Тип вентилятора	Кількість обертів/ тиск повітря, кПа	Потужність двигуна, кВт	Вода, пара	Електрокалор.	робочі дні	вихідні дні	середньомісячн		

Результати обстеження систем освітлення

Приміщення		Прилади освітлювання										
Позначення за планом	Найменування	З лампами розжарювання			Лінійні люмінесцентні лампи			Компактні люмінесцентні лампи			Тривалість роботи за добу, год	
		Кількість світильників	Потужність одного, кВт	Загальна потужність, кВт	Кількість світильників	Потужність одного, кВт	Загальна потужність, кВт	Кількість світильників	Потужність одного, кВт	Загальна потужність, кВт	Літо	Зима

Продовження додатка М

Характеристика опалювальних пристроїв

Приміщення		Чавунні секційні			Конвектори			Регістри			Сталеві пласкі нагрівальні прилади			Інше
Позначення за планом	Найменування	Тип	Кількість секцій	Висота між центрами пробок, мм	Тип	Довжина, м	Форма оребрення		Діаметр, мм	Довжина, м	Кількість	Висота, м	Довжина, м	Кількість
							Пласкі пластини	П-подібне						

Продовження додатка М

Результати обстеження місцевого або автономного джерела теплоти

Адреса котельні і перелік опалювальних удівель_____

Характеристика теплогенерувального обладнання

№ котла	Тип котла	Теплова потужність (за паспортом), ккал / год (кВт)	ККД (за режимною картою), %		Тривалість роботи за рік, год	Рік запуску
			мінімальний	максимальний		

Споживання паливно-енергетичних ресурсів за місяцями року

Вид ресурсу та од. вим.	Місяць 200 р.			Місяць 200 р.			
	10	11	12	01	02	03	04
Газ, м^3							
Вода, м^3							
Електроенергія, кВт · год							
Вироблена теплота, ГКал*							

Вид ресурсу та од. вим.	Місяць 200 р					Усього
	05	06	07	08	09	
Газ, м^3						
Вода, м^3						
Електроенергія, кВт · год						
Вироблена теплота, ГКал*						

☐ азати спосіб визначення виробленої теплоти: ☐

За лічильником теплової енергії у котельні Розрахунковий

Річне споживання паливно-енергетичних ресурсів

Вид ресурсу	Од. вим.	2008	2009	2010
Газ	тис. м^3			
Вода	тис. м^3			
Електроенергія активна	тис. кВт · год			
Електроенергія реактивна	кВар · год			
Вироблення теплоти	Гкал			

Графік відпуску теплоти _____^{0}С / _____^{0}С

Продовження додатка М

Обстеження обладнання ЦТП (ІТП)

ЦТП (ІТП) № _____ за адресою _____

1. **Загальні дані.**
   Джерело отримання первинного теплоносія: _____
   Приєднане розрахункове теплове навантаження на опалення_____ГКал / год (МВт)
   Приєднане середнє теплове навантаження на систему ГВП _____ГКал / год (МВт)
   Графік температур первинного енергоносія _____^{0}С
   Графік температур теплоносія на потреби опалення_____^{0}С

2. **Теплообмінне обладнання**
   Спосіб підключення теплообмінника до внутрішніх комунікацій котельні _____

Позначення	Призначення	Тип теплообмінника, його поверхня, інші характеристики	Кількість теплообмінників	Теплопродуктивність, ккал за год (кВт)	ККД, %

Насосне обладнання

Позначення	Призначення	Насос			Двигун	
		Тип, марка	Витрати води, м^3 / год	Циркуляційний тиск, ат	Потужність, кВт	Кількість обертів, об. / хв

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Білявський Г. О. Основи екологічних знань / Білявський Г. О., Падун М. М., Фурдуй Р. С. — К. : Либідь, 2000.
2. Энергосбережение. Введение в проблему / [Данилов Н.Н., Евпланов А.Н., Михайлов В.Ю., Щелоков Я.М.]. – Екатеринбург : «Сократ», 2001. — 208 с.
3. Екологія людини: Підруч. для вищ. навч. закл. / [О.М. Микитюк, О.З. Злотін, В.М. Бровдій та ін.]. — Х. : Ранок, 1998.
4. Еремкин А.И. Тепловой режим зданий : Учебное пособие / Еремкин А.И., Королева Т.И. – М. : Издательство АСВ, 2000. – 368 с.
5. Маляренко В.А. Енергетика і навколишнє середовище: Монографія / Маляренко В.А. — Харків: «Видавництво «САГА», 2008. – 363 с.
6. Маляренко В.А. Основи теплофізики будівель та енергозбереження: Підручник / Маляренко В.А. – Харків : «Видавництво «САГА», 2006. — 484 с.
8. Паливно-енергетичний комплекс України на порозі третього тисячоліття / за заг. ред. А.К. Шидловського, М.П. Ковалка. – К. : Українські енциклопедичні знання, 2001. — 400 с.
9. Прокопенко В.В. Енергетичний аудит з прикладами та ілюстраціями: Навчальний посібник / Прокопенко В.В., Закладний О.М., Кульбачний П.В. — К. : Освіта України, 2008. — 438 с.
10. Сафранов Т.А. Екологічні основи природокористування: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів / Сафранов Т.А. – [3-тє вид., стереотип]. – Львів: «Новий Світ-2000», 2006. – 248 с.
11. Фокин В.М. Основы енергосбережения в вопросах теплообмена / Фокин В.М., Бойков Г.П., Видин Ю.В. – М. : Машиностроение-1, 2005. – 172 с.
12. Внутренняя среда помещений: эколого-гигиенические аспекты [Чесанов Л.Г., Шапарь А.Г., Кораблева А.И., Чесанов В.Л.]. – Днепропетровск, 2001. – 164 с.
13. Энергетический менеджмент / под общей редакцией А.В. Праховника. – К. : ІЕЕ НТУУ «КПИ», 2001. – 472 с.
14. Методика проведення енергетичного аудиту закладів освіти. Загальні положення. Порядок проведення. — К.: Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”, Інститут енергозбереження та енергоменеджменту, 2009. — 74 с.
15. Типове положення про запровадження енергетичного менеджменту в навчальних закладах та установах Міністерства освіти і науки України. – К.: Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”, Інститут енергозбереження та енергоменеджменту, 2010. — 14 с.

Навчальне видання

Сафіуліна Кадрія Рашитівна
канд. техн. наук, доцент Харківського державного університету харчування та торгівлі, директор департаменту соціологічних досліджень та зв'язків з громадськістю Інституту місцевого розвитку

Колієнко Анатолій Григорович
канд. техн. наук, професор Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка, консультант з технічних питань Інституту місцевого розвитку

Тормосов Руслан Юрійович
канд. екон. наук, доцент Київського національного університету будівництва та архітектури, консультант з питань муніципального енергетичного планування Інституту місцевого розвитку

ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В УНІВЕРСИТЕТСЬКИХ МІСТЕЧКАХ

Збірник задач для студентів вищих закладів освіти

Редактор: Любов Дрофань

Відомості про друкарню
Свідоцтво суб'єкта видавничої діяльності _____ від _____