

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
МИКОЛАЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-енергетичний факультет

Кафедра електроенергетики, електротехніки та електромеханіки

Основи енергозбереження

методичні рекомендації

для виконання практичних робіт для здобувачів початкового рівня
(короткий цикл) вищої освіти ОПП «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка» денної форми здобуття вищої освіти

Миколаїв

2023

УДК 620.9

О-75

Рекомендовано до друку науково-методичною комісією інженерно-енергетичного факультету Миколаївського національного аграрного університету від 30.03.2023., протокол №8

Укладачі:

Ілона БАЦУРОВСЬКА – д-р. пед. наук, професор кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Миколаївський національний аграрний університет;

Руслан ЧУРИЛО – асистент, кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Миколаївський національний аграрний університет.

Рецензенти:

Василь ГРУБАНЬ канд. техн. наук, доцент кафедри тракторів та сільськогосподарських машин, експлуатації і технічного сервісу;

Андрій СТАВИНСЬКИЙ д-р техн. наук, професор кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, Миколаївського національного аграрного університету.

© Миколаївський національний аграрний університет, 2023

Зміст

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. ЕНЕРГІЯ ТА ЕНЕРГОКОРИСТУВАННЯ: ІСТОРІЯ, СУЧАСНІСТЬ. ПРОГНОЗИ НА МАЙБУТНЄ	5
Теоретичні відомості.....	5
Задачі з розв’язанням.	6
Задачі для самостійного розв’язання.	9
РОЗДІЛ 2. КОМУНАЛЬНА ЕНЕРГЕТИКА ТА ПРОБЛЕМИ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	10
Теоретичні відомості.....	10
Задачі з розв’язанням.	14
Задачі для самостійного розв’язання.	22
2.1. Економічний аспект енергозбереження. Аналіз ефективності заходів з енергозбереження.	24
Теоретичні відомості.....	24
Задачі з методичними вказівками та розв’язанням.	34
Задачі для самостійного розв’язання.	41
2.2. Потенціал енергозбереження в комунальній теплоенергетиці	42
Задачі з розв’язанням.	42
Задачі для самостійного розв’язання.	46
2.3. Екологічний аспект енергозбереження.....	46
Задачі з розв’язанням.....	49
Задачі для самостійного розв’язання.	55
РОЗДІЛ 3. ОСНОВИ ТЕПЛОФІЗИКИ БУДІВЕЛЬ	55
3.1. Способи передачі теплоти.....	55
Задачі з розв’язанням.	59
Задачі для самостійного розв’язання.	68
Список літератури	71

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 1. ЕНЕРГІЯ ТА ЕНЕРГОКОРИСТУВАННЯ: ІСТОРІЯ, СУЧАСНІСТЬ. ПРОГНОЗИ НА МАЙБУТНЄ

Теоретичні відомості

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 :

$$Q_{отр.} = \Delta U; \text{кДж}; \text{ккал}; \text{кВт}\cdot\text{год} \quad (1.1)$$

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

Підведена кількість теплоти Q_n визначається за відомими величинами витрат V палива і його теплоти згоряння $Q_{нр}$ - тобто кількості теплоти, яка виділяється у процесі повного згоряння одиниці (масової чи об'ємної) палива:

$$Q_n = Q_{нр} \cdot V \quad (1.2)$$

Якщо теплоту згоряння виражати у кВт·год / кг або у кВт·год / м³, а витрати палива у кг / год або ум³ / год, то коефіцієнт корисної дії (ККД) η будь-якого процесу або пристрою для трансформації теплоти визначиться за залежністю (1.3):

$$\eta = Q_{отр} / (Q_{нр} \cdot V), \text{ част, од.}; \% \quad (1.3)$$

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.

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 M за умови відсутності зміни фазового стану, витрачається на зміну температури тіла від t_1 до t_2 :

$$Q_{\text{отр.}} = C \cdot M \cdot (t_2 - t_1), \text{ кДж; ккал; кВт}\cdot\text{год}, (1.4)$$

де C - 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:

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

де 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 i .

Задачі з розв'язанням.

Задача 1. У котельні автономної системи тепlopостачання гуртожитку Херсонського аграрного університету протягом опалювального періоду було спалено 150 тис. м³ природного газу (визначено за показаннями лічильника газу) з теплою згоряння газу 9,5 кВт·год / м³ (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 тепlopостачання 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: $Q_n = Q_n^p \cdot V = 9,5 \cdot 150 \cdot 10^3 = 1425 \cdot 10^3$ кВт·год (1225,5 Гкал).

2. Середня теплопродуктивність котельні (кількість теплоти, яка вироблена і передана гарячій воді для опалення) буде меншою за величину теплового потенціалу палива на величину втрат теплоти в котельні і визначається за величиною ККД котельні (q_k) згідно із залежністю:

$$Q_k = Q_n \cdot \eta_k = 1425 \cdot 10^3 \cdot 0,87 = 1239,8 \cdot 10^3 \text{ кВт·год.}$$

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

Задача 2. Теплота згоряння природного газу становить $Q_n^p = 35700$ кДж / м³, торфу $Q_n^p = 10600$ кДж / кг, соломи або соняшникового лушпиння $Q_n^p = 15750$ кДж / кг. Річна потреба у теплоті на опалення п'ятиповерхової будівлі гуртожитку університету економіки і торгівлі у м. Суми становить $Q_{on} = 1500$ Гкал ($1500 \cdot 10^6$ ккал). Визначити річну потребу у різних видах палива автономної котельні гуртожитку за умови ефективності її роботи $\eta_k = 75$ % незалежно від виду палива. Середні протягом опалювального періоду втрати теплоти у теплових мережах становлять $\Delta q_r = 5$ % 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:

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

$$Q_n^p = 35700 \text{ кДж / м}^3 = 35700 / 4,187 = 8526 \text{ ккал / м}^3 = 9,91 \text{ кВт·год / м}^3 \text{ (природний газ);}$$

$$Q_n^p = 15750 \text{ кДж / кг} = 15750 / 4,187 = 3762 \text{ ккал / кг} = 4,37 \text{ кВт·год / кг} \text{ (торф);}$$

$$Q_n^p = 10600 \text{ кДж / кг} = 10600 / 4,187 = 2532 \text{ ккал / кг} = 2,94 \text{ кВт·год / кг} \text{ (солома або соняшникове лушпиння).}$$

Таким чином, теплота згоряння 1 м³ 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_K . Для цього необхідно до кількості теплоти, яку відпущено споживачам на потреби опалення $Q_{on} = 1744,5$ МВт·год, долучити втрати теплоти у теплових мережах:

$$Q_K = Q_{on} + \Delta Q_r \text{ МВт}\cdot\text{год}, (1.6)$$

де ΔQ_r - 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 (1.6) у вигляді (1.7):

$$Q_{on} = Q_K - \Delta q_r \cdot Q_K \quad (1.7)$$

або

$$1745,5 = Q_K - 0,05 \cdot Q_K$$

Розв'яжемо (1.7) відносно Q_K :

$$Q_K = Q_{on} / (1 - \Delta q_r),$$

де

Δq_r - втрати теплоти у теплових мережах у част. од.

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

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 $Q_{on} = 1744,5$ МВт·год з урахуванням втрат у теплових мережах і втрат на етапі вироблення теплоти. Для цього виконаємо розрахунки за залежністю (2.3):

$$Q = Q_H^p \cdot B = Q_K / \eta_K = 1836,3 / \eta_K = 1836,3 / 0,75 = 2448,4 \text{ МВт}\cdot\text{год},$$

де η_K - ККД котельні у част. од., який характеризує ефективність вироблення теплоти.

Висновок.

Для отримання споживачами річної кількості теплоти на потреби опалення $Q_{\text{оп}} = 1744,5$ 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 (1.2):

річні витрати природного газу $V_{\text{пг}} = Q / Q_{\text{н}}^{\text{п}} = 2448,4 \cdot 10^3 / 9,91 = 247063$ м³;

річні витрати торфу $V_{\text{т}} = Q / Q_{\text{н}}^{\text{п}} = 2448,4 \cdot 10^3 / 2,94 = 832789$ кг;

річні витрати соломи $V_{\text{с}} = Q / Q_{\text{н}}^{\text{п}} = 2448,4 \cdot 10^3 / 4,37 = 560274$ кг.

Щільність соломи становить близько 120 кг / м³, отже, на перевезення вказаної кількості соломи вантажівкою із спеціальним кузовом на 10 м³ необхідно буде зробити 694 поїздки за опалювальний період (до 6 поїздок за одну добу з температурою нижче -10 °С).

Задача 3. Визначити кількість теплоти, яку необхідно витратити на нагрівання 100 кг (л) води від температури $t_1 = +20$ °С до температури $t_2 = +60$ °С. Теплоємність води прийняти 4,2 кДж / кг - град. Вказати кількість теплоти, яка буде виділятися під час охолодження 100 кг води від температури $t_2 = +60$ °С до температури $t_1 = +20$ °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 (1.4):

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

Отже, джерело теплоти потужністю 4,65 кВт забезпечить нагрівання 100 кг води від +20 °С до +60 °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 °С і у зворотному - 70 °С, за

умови, що теплоносії 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 °С. Температура у зворотному трубопроводі залишається без змін. Втратами теплоти знехтувати.

Задача 5. До 10 кг (л) води з початковою температурою +5 °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 °С.

Задача 7. Визначити витрати природного газу із теплою згоряння 8500 ккал / м³ для перетворення 50 кг води з початковою температурою +10 °С у суху водяну пару під атмосферним тиском 1 атмосфера.

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

РОЗДІЛ 2. КОМУНАЛЬНА ЕНЕРГЕТИКА ТА ПРОБЛЕМИ ТЕПЛОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Теоретичні відомості

Відносна ефективність вироблення теплоти у джерелі теплоти оцінюється величиною ККД джерела теплоти (η_k), 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 $Q_k = Q$, до кількості теплоти, підведеної до джерела теплоти з первинним енергоносієм (паливом) - Q_n :

$$\eta_k = Q_k / Q_n, \text{ част. од.; \%}. \quad (2.1)$$

Величини Q_k і Q_n оцінюють у кВт·год, ккал або кДж.

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

$$\Delta q_k = 1 - \eta_k \text{ част. од.}; \%, \quad (2.2)$$

де

Δq_k - сумарні непродуктивні втрати теплоти під час її вироблення, част. од.; %;

η_k - ККД джерела теплоти у част. од.; %.

Абсолютну величину втрат теплоти ΔQ_k на етапі її вироблення можна визначити за відомим ККД η_k і кількістю підведеної теплоти (енергетичним потенціалом палива) Q_n відповідно до залежності (3.3):

$$\Delta Q_k = Q_n - Q_n \cdot \eta_k, \text{ кВт}\cdot\text{год}; \text{ ккал або кДж.} \quad (2.3)$$

Абсолютну величину Q_n у кВт·год, ккал або кДж визначають за відомими витратами палива V за певний проміжок часу (період спостережень) і питомою теплотою згоряння палива $Q_{н^p}$, яка вимірюється для природного газу у кВт·год / м³, кДж / м³ або ккал / м³ (одиниці вимірювання $Q_{н^p}$ повинні бути вивірені з одиницями вимірювання Q_n):

$$Q_n = V \cdot Q_{н^p}, \text{ кВт}\cdot\text{год}; \text{ ккал або кДж,} \quad (2.4)$$

де

$Q_{н^p}$ - теплота згоряння палива, у кВт·год / м³, кДж / м³ або ккал / м³;

V - витрати палива за період спостережень, м³.

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

$$\Delta Q_T = Q_{втр} + Q_{внт}, \text{ МВт}\cdot\text{год}; \text{ Гкал або ГДж,}$$

де

ΔQ_T - 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;

$Q_{внт}$ - втрати теплоти з витокami 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):

$$Q_{втр} = \sum (l_i \cdot q_i) \cdot \eta_{оп} \cdot 10^{-6} \text{ МВт}\cdot\text{год,} \quad (2.5)$$

де

$Q_{\text{втр}}$ - 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;

$\eta_{\text{оп}}$ - тривалість опалювального періоду або іншого звітнього періоду часу, год.

Втрати теплоти $Q_{\text{втр}}$ з витокami води із теплових мереж визначають за залежністю (3.6):

$$Q_{\text{втр}} = M_{\text{в}} \cdot C_{\text{в}} \cdot (t_{\text{сер}} - t_{\text{пв}}) \cdot 10^{-6}, \text{ ГДж}, \quad (2.6)$$

де

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

$C_{\text{в}}$ - масова теплоємність води, кДж / кг·град, $C_{\text{в}} = 4,2$ кДж / кг·град;

$t_{\text{сер}}$ - середня температура теплоносія у зворотному і подавальному трубопроводах протягом періоду часу $\eta_{\text{оп}}$, °С;

$t_{\text{пв}}$ - середня температура підживлювальної води із водогону, в холодний період року за відсутністю даних приймається рівною +5 °С.

Дійсна величина витoku води за звітний період визначається за показаннями лічильника води згідно з залежністю (2.7):

$$M_{\text{в}} = M_{\text{ліч}} - (M_{\text{нап}} + M_{\text{гв}}^{\text{від}}), \text{ т}; \quad (\text{м}^3), \quad (2.7)$$

де

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

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

$M_{\text{гв}}^{\text{від}}$ - 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, залежно від діаметра трубопроводів та їх протяжності, а об'єм внутрішніх абонентських систем - за величиною розрахункового теплового навантаження будинків за даними табл. 2.

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

$$\eta_{\text{т}} = Q_{\text{сп}} / Q_{\text{к}}, \text{ част. од.}; \%, \quad (3.8)$$

де

$\eta_{\text{т}}$ - теплова ефективність роботи теплових мереж;

$Q_{\text{сп}}$ - 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:

$$Q_{\text{сп}} = Q_{\text{к}} - \Delta Q_{\text{т}} \text{ МВт·год; Г кал або ГДж.}$$

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

$$\Delta q_{\text{т}} = 1 - \eta_{\text{т}} = \Delta Q_{\text{т}} / Q_{\text{к}}, \text{ част.од.}; \%, \quad (3.9)$$

де $\Delta q_{\text{т}}$ - сумарні непродуктивні втрати теплоти у ході її транспортування, част. од., %.

У табл. 2.1 наведено основні статті втрат теплової енергії на дійсний усереднений стан систем теплопостачання.

Втрати теплової енергії у системі централізованого теплопостачання в Україні

Таблиця 2.1

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. 2.5 і 2.6 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 $18 \text{ м}^3/\text{год}$ за стандартних умов. ККД котла № 1 відповідно до його режимної карти становив 85 %, а котла № 2 - 79 %. Теплота згоряння природного газу за стандартних умов - $9,9 \text{ кВт}\cdot\text{год}$. Втрати теплоти на власні потреби котельні $A_{q_{\text{вн}}} = 5 \%$. 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:

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

2. Визначаємо втрати теплоти під час роботи котлів:

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

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

$$\Delta q_{\text{к}} = \Delta q_{\text{кот}} + \Delta q_{\text{вн}} = 0,18 + 0,05 = 0,23 \quad (23\%).$$

4. Розраховуємо ефективність вироблення теплоти в котельні:

$$\eta_{\text{к}} = 1 - \Delta q_{\text{к}} = 1 - 0,23 = 0,77 \quad (77 \%).$$

5. Визначаємо теплову потужність котельні під час спалювання 18 м^3 природного газу з теплою згоряння $Q_{\text{н}}^{\text{п}} = 9,9 \text{ кВт}\cdot\text{год} / \text{м}^3$:

$$Q_{\text{н}} = V \cdot Q_{\text{н}}^{\text{п}} = 18 \cdot 9,9 = 178,2 \text{ кВт}.$$

За умови роботи з такою потужністю ступінь завантаження котельні відносно номінальних параметрів роботи становить: $178,2 / 2 \cdot 200 = 0,45$ (45 %).

6. Визначаємо теплопродуктивність котельні:

$$Q_k = Q_n \cdot \eta_k = 178,2 \cdot 0,77 = 137,2 \text{ кВт.}$$

Задача 2. У котельні автономної системи тепlopостачання гуртожитку університету садівництва у м. Умані протягом опалювального періоду спалено 120 тис. м³ природного газу (визначено за показаннями лічильника газу) з теплою згоряння газу 9,9 кВт·год / м³ (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 $\rho_{оп} = 178 \text{ діб} = 4272 \text{ год}$ (див. додаток А). Кількість теплоти, яку було підведено з первинним паливом протягом опалювального періоду:

$$Q_{он} = Q_n^p \cdot V = 9,9 \cdot 120 \cdot 10^3 = 1188 \text{ Ю}^3 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Середня за опалювальний період теплова потужність котельні становить:

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

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

За умови рівномірного завантаження котлів теплопродуктивність одного котла становила $208 / 2 = 104 \text{ кВт}$, а середня теплова потужність одного котла: $278 / 2 = 139 \text{ кВт}$, 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 $Q_n^p = 41900 \text{ кДж / кг}$, теплота згоряння торфу $Q_n^p = 10600 \text{ кДж / кг}$, а соломи або соняшникового лушпиння – $Q_n^p = 15750 \text{ кДж / кг}$. Річна потреба у теплоті на опалення п'ятиповерхової будівлі гуртожитку ВНЗ у м. Суми становить $Q_{он} = 967 \text{ Гкал}$ ($967 \cdot 10^6 \text{ ккал}$). Визначити річну потребу у паливі автономної котельні за умови ефективності її

роботи $\eta_k = 78 \%$ незалежно від виду палива. Втратами у теплових мережах знехтувати.

Розв'язання.

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

Визначаємо витрати палива за формулою (3.4):

$$B = Q_{оп} / (Q_H^P \cdot \Pi_k) \cdot \text{кг}.$$

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

Для торфу $B = 491,2 \text{ т}$.

За умови щільності торфу $280 \text{ кг} / \text{м}^3$ 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 $B = 257,9 \text{ т}$. Отже, для опалення одного гуртожитку у м. Суми необхідні витрати соломи становлять $257,9 \text{ т}$ за один опалювальний період. Для отримання такої кількості соломи необхідно здійснити підбирання і упакування її на площі посіву пшениці не менш як 172 га (вихід соломи становить до $1,5 \dots 2,0 \text{ т}$ 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 $150 \text{ кг} / \text{м}^3$. Разом з іншими видами відходів (лушпиння, пил) кількість відходів під час збирання пшениці становить близько $1,8 \text{ т}$ на кожну тонну зерна. Для кукурудзи кількість відходів (лише стебла і листя) становить до $2,4 \text{ т}$ 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 $34800 \text{ кДж} / \text{м}^3$. 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 °С. Середню за опалювальний період температуру води в подавальному трубопроводі теплових мереж прийняти рівною 58 °С, а у зворотному - 46 °С.

Розв'язання.

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

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

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

$$Q_{\text{п}} = V \cdot Q_{\text{н}}^{\text{р}} = 760000 \cdot 34800 = 26448 \cdot 10^6 \text{ кДж} = 26448 \text{ ГДж} = 6297 \text{ Гкал} = 7322 \text{ МВт} \cdot \text{год.}$$

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

$$\Delta Q_{\text{к}} = Q_{\text{п}} - Q_{\text{п}} \cdot \eta_{\text{к}} = 26448 - 26448 \cdot 0,84 = 26448 - 22216 = 4232 \text{ ГДж} = 1008 \text{ Гкал} = 1172 \text{ МВт} \cdot \text{год.}$$

Величина виробленої в котельні теплоти становитиме:

$$Q_{\text{к}} = Q_{\text{п}} \cdot \eta_{\text{к}} = 26448 \cdot 0,84 = 22216 \text{ ГДж} = 5289,5 \text{ Гкал} = 6150 \text{ МВт} \cdot \text{год.}$$

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 витокami 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 згідно з залежністю:

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

де 17,67 м³/ 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 опа-

лення $Q_p = 2,74$ Гкал / і год і виду опалювальних пристроїв - чавунних радіаторів з міжосьовою відстанню 500 мм:

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

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

$$V_{\text{нап}} = V_{\text{нап}}^{\text{ом}} + V_{\text{нап}}^{\text{тм}} = 106,02 + 53,4 = 159,42 \text{ т} (\text{М}^3)-$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\Delta q_{\text{т}} = \Delta Q_{\text{т}} / Q_{\text{к}} = 469,2 / 6150 = 0,076 \text{ част. од.} = 7,6 \% .$$

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

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

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 м³ природного газу. Загальна теплова ефективність вироблення і доставки теплової енергії до споживача становить:

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

Задача 5. Підготувати дані для побудови графіка температур мережної води в подавальному і зворотному трубопроводах двотрубної теплової мережі при температурі в приміщенні $t_b = 18 \text{ }^\circ\text{C}$ для котельні технічного університету у м. Тернополі. Теплообмінники гарячого водопостачання встановлено в індивідуальному тепловому пункті навчального корпусу університету. Температурний графік у мережах $t_1^p / t_2^p = 105 / 70 \text{ }^\circ\text{C}$. 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:

- розрахункова температура зовнішнього повітря для систем опалення $t_3 = -20 \text{ }^\circ\text{C}$;
- середня температура опалювального періоду $t_{\text{ср}} = -0,7 \text{ }^\circ\text{C}$;

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 $60 \text{ }^\circ\text{C}$. Для цього температура в подавальному трубопроводі не повинна зменшуватись нижче $65...70 \text{ }^\circ\text{C}$. Після досягнення таких значень температур здійснюється перехід на кількісне регулювання.

3. Згідно з даними табл. 2 за відомою величиною розрахункової температури зовнішнього повітря $t_3 = -20 \text{ }^\circ\text{C}$ 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. 2.2.

Таблиця 2.2

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

Розрахункова температура зовнішнього повітря, °С	Фактична температура зовнішнього повітря, Із, °С								
	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 $t'_3 = -1...-2$ °С температура води в подавальному трубопроводі наближається до $t_1 = 65...70$ °С, 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. 2.3):

Таблиця 2.3

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

Розрахункова температура зовнішнього повітря, °С	Фактична температура зовнішнього повітря, tg, °С								
	0			1	2,5	5	10	15	20
-20	9,7	9,7	9,7	9,7	9,7	5,1	5,3	5,3	05,0

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 $t_3 = -1$ °С 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 $= -0,7 \text{ }^\circ\text{C}$ визначають середню температуру у подавальному трубопроводі. Вона становитиме близько $= 69,7 \text{ }^\circ\text{C}$.

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

$$t_2 = t_1 - (t_1^P - t_2^P) \cdot [(t_B - t_3) / (t_B - t_3)], \text{ }^\circ\text{C}, \quad (3\text{-Ю})$$

де

T_B - температура внутрішнього повітря у приміщенні, $^\circ\text{C}$;

t_1^P - розрахункова температура у подавальному трубопроводі, згідно з умовою задачі $t_1^P = 105 \text{ }^\circ\text{C}$;

t_2^P - розрахункова температура у зворотному трубопроводі, згідно з умовою задачі $t_2^P = 70 \text{ }^\circ\text{C}$;

t_g - розрахункова температура зовнішнього повітря, для м. Тернополя $t_3 = -20 \text{ }^\circ\text{C}$ (додаток А);

t_3 - поточне значення температури зовнішнього повітря у межах опалювального періоду, $^\circ\text{C}$;

t_3 - поточне значення температури води у подавальному трубопроводі із табл. 3.2.

Розрахунок за залежністю 2.10 дає можливість отримати такі значення температури води у зворотному трубопроводі (табл. 2.4):

Таблиця 2.4

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

Розрахункова температура зовнішнього повітря, $^\circ\text{C}$	Фактична температура зовнішнього повітря, $t_3, \text{ }^\circ\text{C}$								
	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 $t_{\text{сер}} = -0,7 \text{ }^\circ\text{C}$, визначають середню температуру у зворотному трубопроводі. Вона становитиме близько $t_1^{\text{сер}} = 50,8 \text{ }^\circ\text{C}$. Отже, середня за опалювальний період температура води у подавальному і зворотному трубопроводі становитиме $(50,8 + 69,7) / 2 = 60,2 \text{ }^\circ\text{C}$ для температурного графіка $t_1^P / t_2^P = 105 / 70 \text{ }^\circ\text{C}$. Графік температур у подавальному і зворотному трубопроводах теплової мережі наведено на рис. 2.1.

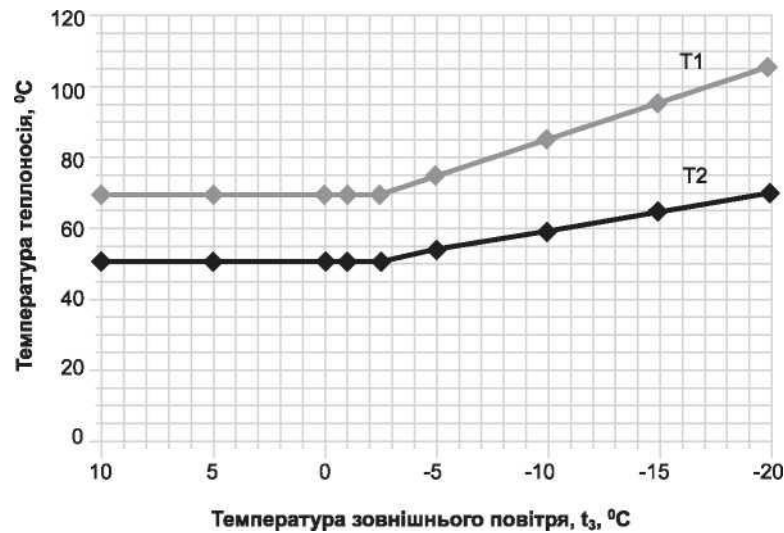


Рис 2.1 - Графік температур мережної води у подавальному і зворотному трубопроводах теплових мереж при центральному якісному регулюванні закритої теплової мережі за опалювальним навантаженням (температурний графік 105 / 70 °C. T1 - графік для подавального трубопроводу; T2 - графік для зворотного трубопроводу)

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 м³ за стандартних умов. Середня за опалювальний період теплота згоряння газу становила 8900 ккал / м³, 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 м³ природного газу з теплою згоряння $Q_{H^P} = 37600$ кДж / м³. Середній за опалювальний період ККД котельні становив 85 %.

Задача 8. Середньорічна за опалювальний період величина витрат газу в котельні медичного університету у м. Харкові становила 150 м³ / 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 - $8900 \text{ ккал } / \text{ м}^3$.

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 тепло- генераторної 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 $9,5 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{ м}^3$. Вартість 1 м^3 природного газу прийняти 2,8 грн.

Задача 10. Визначити втрати теплоти протягом опалювального періоду у теплових мережах каналного прокладання загальною протяжністю 0,5 км (у двотрубному обчисленні). Середній діаметр теплових мереж прийняти 89 мм, розрахункова температура теплоносія в теплових мережах $105 / 70 \text{ }^\circ\text{C}$, а у системі опалення - $95 / 70 \text{ }^\circ\text{C}$. 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 безканалного 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 $t_p I = 105 / 70 \text{ }^\circ\text{C}$, а у системі опалення - $95 / 70 \text{ }^\circ\text{C}$. 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 каналного 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 $t_b = 18 \text{ }^\circ\text{C}$ для котельні ВНЗ у м. Сімферополі. Теплообмінники гарячого водопостачання встановлено в індивідуальному тепловому пункті університету. Температурний графік у мережах $t_2 = 95 / 70 \text{ }^\circ\text{C}$. Результати подати у табличній формі. Визначити середні за опалювальний період температури теплоносія у теплових мережах.

2.1. Економічний аспект енергозбереження. Аналіз ефективності заходів з енергозбереження.

Теоретичні відомості

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:

- прями 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 уможливають 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 супроводжує 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:

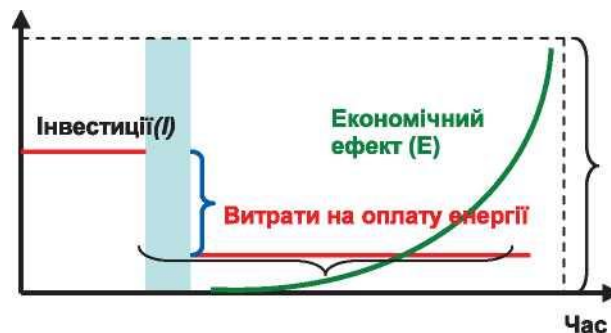
$$I = DI + CI + PI. (3.11)$$

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 (E) від проекту досягне суми інвестиційних витрат (I). 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 2.5.

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	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. 2.2).

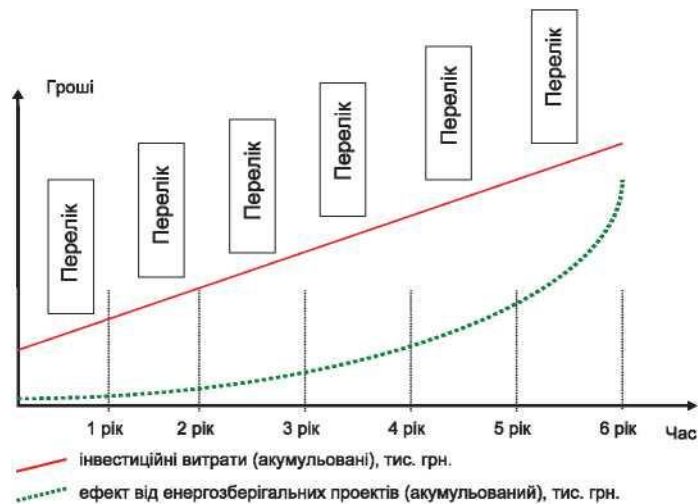


Рис 2.2 - Інвестиційна програма на основі здійсненого ранжирування проектів з енергозбереження
Визначення початкового стану та побудова базової лінії.

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 багатofакторних 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 *простой 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.

2.3 наведено приклад побудови базової лінії і лінії енергоефективності.

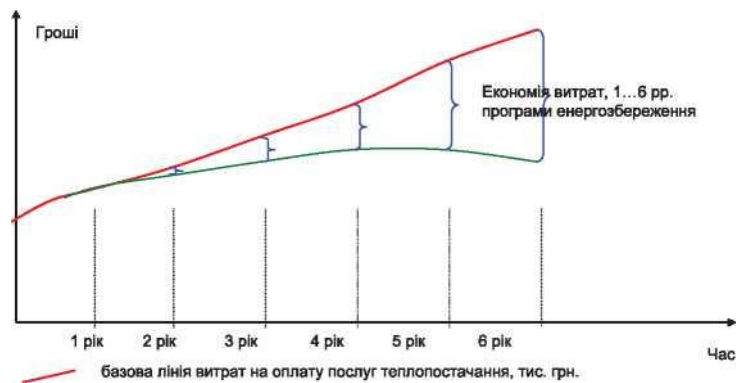


Рис. 2.3 - Порівняння базового та енергоефективного сценаріїв витрат на оплату енергії

Лінія витрат на оплату послуг теплопостачання за умови виконання програми енергозбереження (лінія енергоефективності), тис. грн.

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. 2.4. 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.

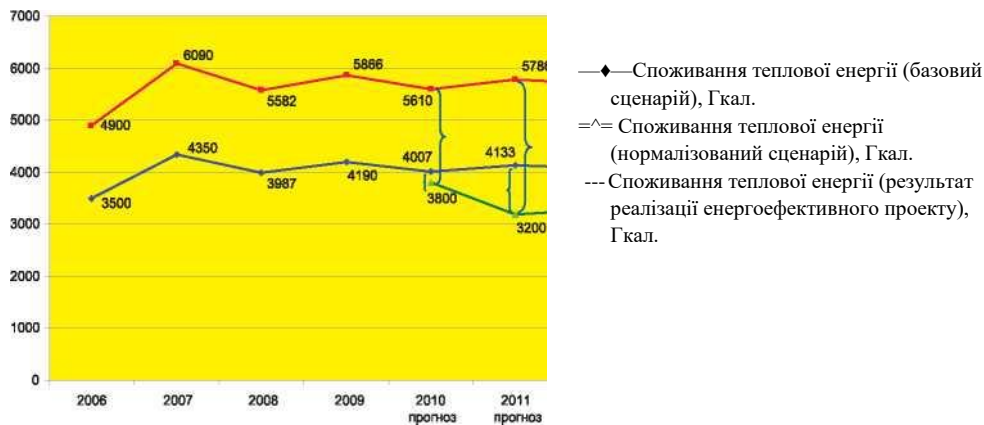


Рис. 3.4 - Порівняння економії від реалізації енергоефективного проекту з базовим та нормалізованим сценаріями відповідно (умовний приклад)

Фінансовий аналіз проекту з енергозбереження.

Показники оцінки ефективності інвестиційних проектів в сфері енергоефективності, що ґрунтуються на концепції часової вартості грошей: дисконтований період окупності ($T_{ок} TC$), 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 $CF_0, CF_1, CF_2, \dots, CF_n$.

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 ризику 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 2.6

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	3...5
Середній	Швидкоокупні, але витратні проекти, що виконуються з залученням позикових коштів. Середньострокові проекти, що виконуються без залучення позикових коштів. Наприклад, проект	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 ($T_{окTC}$) - 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, $T_{окTC}$ -індекс є надійнішим, ніж внутрішній коефіцієнт окупності (IRR), показником у випадках, коли потрібно зробити порівняльний аналіз доцільності інвестицій.

Розраховується дисконтований термін окупності за формулою:

$$T_{окTC} = n, \text{ при цьому } \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} > I_0. \quad (2.12)$$

де

$T_{окTC}$ - дисконтований термін окупності;

n - число періодів;

CF_t - грошовий потік у період t;

r - бар'єрна ставка;

I_0 - 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 приведенного ефекту (NPV) полягає в наступному:

1. Визначається поточна вартість витрат (I_0), 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):

$$PV = \sum_{t=1}^n PV_t = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} . \quad (2.13)$$

Поточна вартість інвестиційних витрат (I_0) порівнюється з поточною вартістю прибутків (PV). Різниця між ними складає чисту поточну вартість прибутків (NPV):

$$NPV = PV - I_0. \quad (3.14)$$

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:

$$NPV(IRR) = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+IRR)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{I_t}{(1+IRR)^t} = 0 \quad (2.15)$$

де

n - сумарне число періодів (інтервалів, кроків) $t = 0, 1, 2, \dots, n$;

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.

**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 уможлиблює 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:

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

де

$E_{\text{ел}}$ - економія електричної енергії, кВт·год;

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

$W_{\text{ез}}$ - потужність енергозберігальної лампи (0,02 кВт);

$T_{\text{ез}}$ - 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:

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

де

$E_{\text{зам.}}$ - економія витрат на заміну ламп розжарювання, грн;

$T_{\text{л.р.}}$ - термін служби лампи розжарювання, год;

$T_{\text{ез}}$ - термін служби енергозберігальної лампи, год;

$P_{\text{л.р.}}$ - 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 Перелік енергозберігальних заходів по гуртожитку інвестування енергозберігальних заходів, що враховує пріоритетність проектів,

Таблиця 2.8

з щорічним бюджетом 270 тис. грн. Зробіть висновки.

Енергоефективні заходи		Інвестиції [грн]	Чиста економія		Окупність [роки]
			[кВт год/ Рік]	[грн / Рік]	
1.	Впровадження системи енергетичного менеджменту та енерго моніторингу	6.600	32.508	4.791	1,4
2.	Заміна ламп розжарювання на сходових клітинах та в коридорах на компактні люмінесцентні	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 2.9

Інформація про енергоефективний проект

Сумарні інвестиції за проектом I_0 , тис. грн	11680
Горизонт планування, роки	10
Ставка дисконтування (бар'єрна), %	15
Загальна економія витрат за перший рік, тис. грн	1249
Загальна економія витрат за другий рік, тис. грн	3747
Загальна економія витрат за кожен наступний рік, тис. грн	4996

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

- дисконтований період окупності (T_{OKTC});
- чистий приведений ефект (NPV);
- внутрішній коефіцієнт окупності (IRR).

Розв'язання.

1. Розрахуємо дисконтований період окупності. Розрахунок наведено в табл. 2.10.

Розрахунок дисконтованого терміну окупності інвестиційного проекту

Таблиця 2.10

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 CF_t ,	-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 CF_t , тис. грн	-11680	1015	2477	2685	2183	1775	1443	1173	954	775	630
Дисконтований CF_t (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. 2.5 та 2.6.

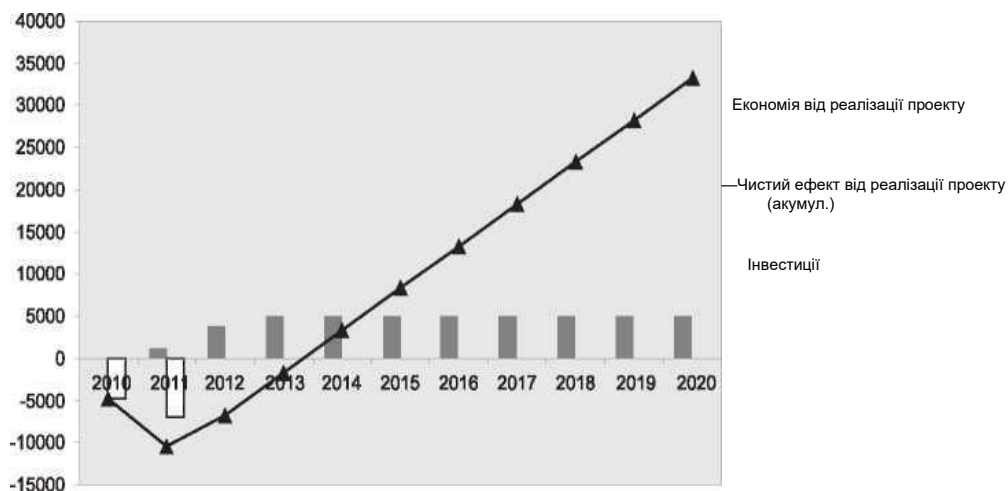


Рис. 2.5 - Оцінка окупності проекту без урахування часової вартост грошей

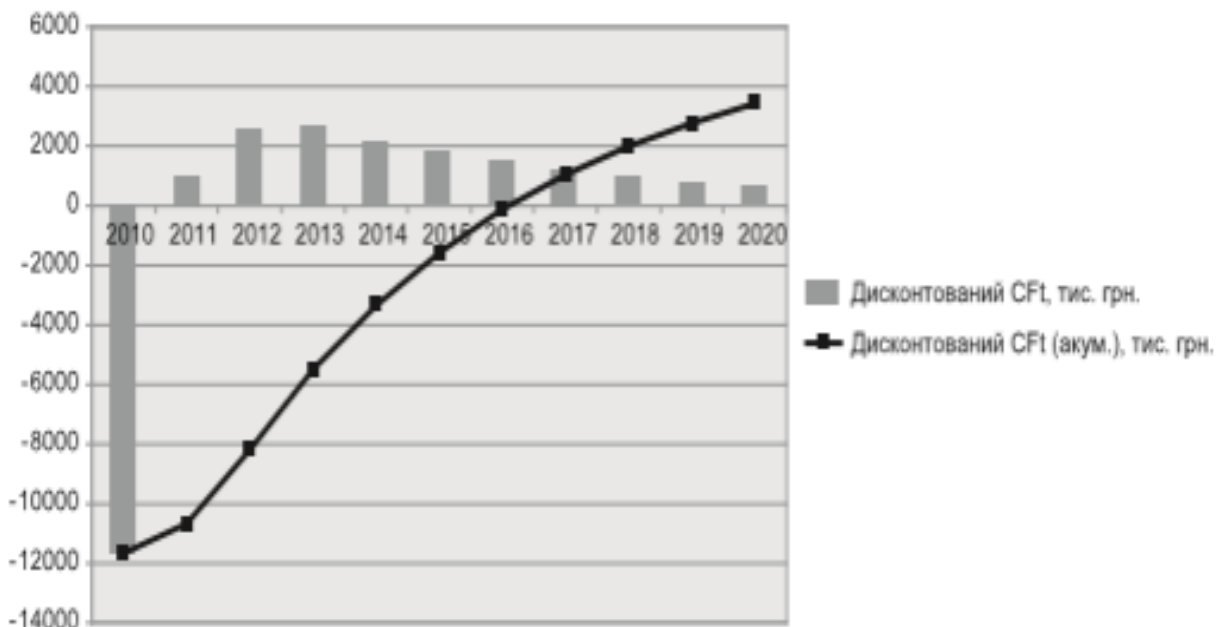


Рис.2.6 – Розрахунок дисконтованого терміну окупності інвестиційного проекту

2. Розрахуємо чистий приведений ефект. Розрахунок подано в табл. 2.11, яка є продовженням табл. 2.10.

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. 2.7.

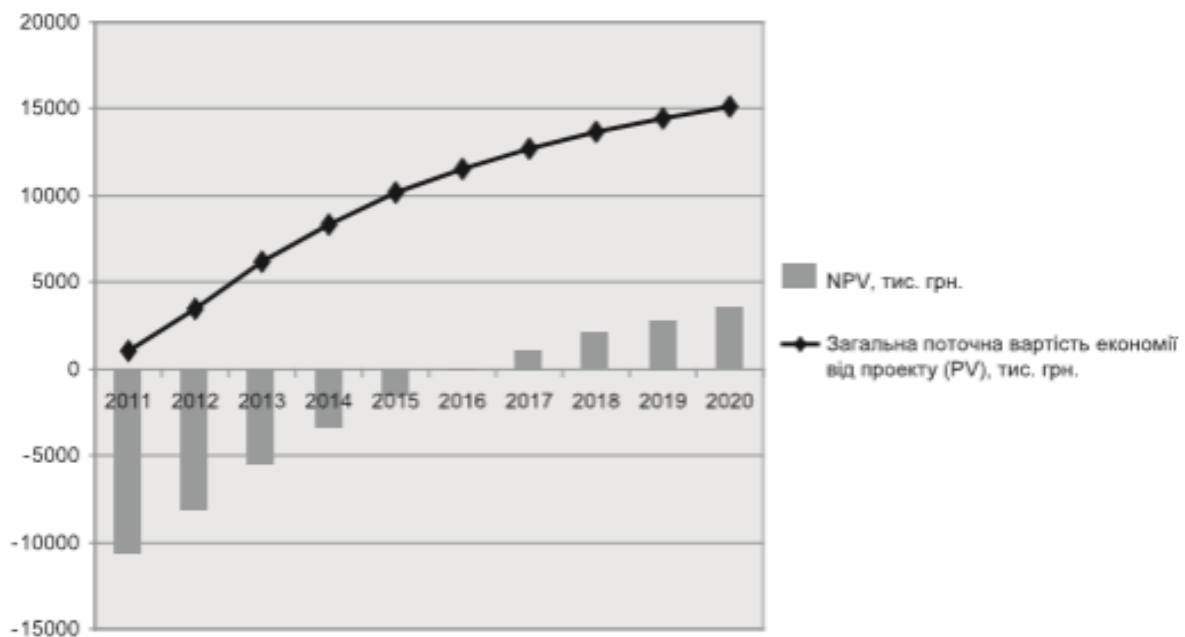


Рис.2.7 Розрахунок чистої поточної вартості інвестиційного проекту на 2011 ... 2020 рр.

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. 2.5. 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. 2.2.

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 ($T_{ок TC}$);
- 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.

2.2. 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 $Q_{on} = 950$ 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 $t_b = 18$ °С.

Розв'язання.

1. Визначимо за даними табл. 2.1 усереднену величину загальних втрат теплоти на шляху від джерела теплоти до споживача у % потенціалу палива. Вона становить $\Delta q_z = 28...32$ %, 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 Aq_z і теплову потужність джерела теплоти:

$$Q_{on} = Q_{cn} = Q_n - Q_n \cdot \Delta q_z - (2.16)$$

Де

Q_{cn} - розрахункова потреба у теплоті на опалення в умовах відсутності втрат теплоти у споживача, кВт;

Q_n - тепловий потенціал палива, або теплова потужність джерела теплоти, кВт;

Δq_z - узагальнені втрати теплоти від джерела теплоти до споживача, част. од.

Із (2.16) можна отримати залежність для визначення необхідної теплової потужності за прийнятих втрат теплоти:

$$Q_n = Q_{cn} / (1 - \Delta q_z) = 950 / (1 - 0,3) = 1357 \text{ кВт.}$$

3. Середній потенціал енергозбереження Π оцінюється згідно з рис. 3.5 і 3.6 посібника до $\Pi = 12$ % 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 з характеристиками клімату для м. Кіровограда:

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

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

$$Q_{\text{он}}^{\text{сер}} = Q_{\text{он}} \cdot [(t_{\text{в}} - t_{\text{сер}}) / (t_{\text{в}} - Y)]. \text{ кВт}, \quad (2.17)$$

де

$Q_{\text{он}}$ - розрахункові годинні витрати теплоти на опалення, кВт;

$t_{\text{сер}} \cdot t_{\text{з}}$ - дійсна середня за опалювальний період температура зовнішнього повітря, $^{\circ}\text{C}$ і розрахункова для систем опалення температура зовнішнього повітря, $^{\circ}\text{C}$, відповідно.

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

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

$$Q_{\text{рік}} = Q_{\text{он}}^{\text{сер}} \cdot n_{\text{оп}}, \text{ ккал; кДж; кВт} \cdot \text{год}, \quad (2.18)$$

де

$Q_{\text{он}}^{\text{сер}}$ - середні за опалювальний період витрати теплоти на опалення ккал / год, кДж / год, кВт;

$n_{\text{оп}}$ - тривалість опалювального періоду, год.

$$Q_{\text{рік}} = 444 \cdot 175 = 77700 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 77,7 \text{ МВт} \cdot \text{год} = 77,7 \text{ Гкал}.$$

Річну кількість теплоти, яку необхідно підвести до джерела теплоти у вигляді теплового потенціалу палива визначають з урахуванням наявних втрат теплоти на шляху до споживача: $Q_{\text{н}}^{\text{рік}} = 77,7 / (1 - 0,3) = 113,86 \text{ МВт} \cdot \text{год}.$

Річну економію теплоти у разі реалізації потенціалу енергозбереження визначимо за залежністю: $\Delta Q = \Pi \cdot Q_{\text{н}}^{\text{рік}} = 0,12 \cdot 113,86 = 13,66 \text{ МВт} \cdot \text{год}.$ Зазначена кількість теплоти еквівалентна енергії згоряння 31970 м^3 природного газу із теплотою згоряння $10 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^3.$

Задача 22. Оцінити середній потенціал енергозбереження, який може бути реалізованим на етапі споживання теплової енергії, у тому числі за

рахунок поліпшення теплозахисних характеристик огорожень 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. 2.4 посібника становлять близько 56 % теплової енергії, відпущеної до будинку.

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

За даними табл. 2.4, рис. 2.5 та рис. 2.6 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 неізолюваних 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 теплоакumuляційних властивостей будинку та ін.;
- решта втрат - 498 Гкал - мають місце внаслідок низьких теплозахисних характеристик огорожувальних 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 каналного 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 огорожень будівля спортивної зали повинна споживати за рік $Q_o = 1705$ Гкал теплоти.

Розв'язання.

1. За даними табл. 2.4 і рис. 2.5 та 2.6 посібника визначаємо середні по Україні величини втрат теплоти за вказаних в умові задачі обставин роботи системи. Втрати теплоти становитимуть:

- на етапі споживання теплоти - $\sum \Delta q_{cn} = 19$ % (0,19 част, од) кількості теплоти, яку було відпущено споживачам Q_{cn} (з урахуванням того, що

заходи із підвищення теплозахисних характеристик огорожень заплановано до впровадження і величину потреби теплоти задано з урахуванням чинних нормативів з теплової ізоляції будівель);

- на етапі транспортування теплоти $-\Delta q_T = 15...17\%$ (0,15...0,17 част, од.) кількості теплоти, виробленої у котельні і відпущеної до теплових мереж;
- на етапі вироблення теплоти - $\sum \Delta q_K = 16...19\%$ (0,16...0,19 част. од.).

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

$$Q_{cn} = Q_o / (1 - \sum \Delta q_{cn}) = 1705 / (1 - 0,19) = 2104,9 \text{ Гкал.}$$

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

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:

$$Q_k = Q_{cn} / (1 - \Delta q_T) = 2104,9 / (1 - 0,16) = 2505,8 \text{ Гкал.}$$

Отже, втрати теплоти на етапі транспортування теплоти становитимуть: $\Delta Q_T = Q_k - Q_{cn} = 2505,8 - 2104,9 = 400,9 \text{ Гкал.}$

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:

$$Q_n = Q_k / (1 - \sum \Delta q_K) = 2505,8 / (1 - 0,175) = 3037,3 \text{ Гкал.}$$

Отже, втрати теплоти на етапі вироблення теплоти становитимуть: $\Delta Q_K = Q_n - Q_k = 3037,3 - 2505,8 = 531,5 \text{ Гкал.}$

Таким чином, загальні втрати теплоти становитимуть: $399,9 + 400,9 + 531,5 = 1332,3 \text{ Гкал}$, виходячи із середнього рівня ефективності роботи системи тепlopостачання.

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 каналного підземного прокладання загальною довжиною 1,0 км. Середній коефіцієнт ефективності вироблення теплоти в котельні становить 79 %. Річне споживання теплоти будівлею становить 560 Гкал.

2.3. Екологічний аспект енергозбереження

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

$$V = \frac{Q_k}{Q_n^p \cdot \eta_k} \quad 2.19$$

Де

V - витрати енергоносія (палива) - для природного газу в м^3 , під тиском в 1 ат (101.3 кПа) і при температурі 0°C ;

Q_n^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_k - кількість теплоти, яку необхідно виробити у джерелі теплоти для забезпечення потреб життєдіяльності людини або здійснення виробничих процесів у ккал, кДж або кВт·год;

η_k - коефіцієнт корисної дії процесу вироблення теплоти у теплогенерувальному пристрої, част. од.

Визначення викидів шкідливих інгредієнтів у атмосферу можна здійснити за залежністю:

$$M_i = V \cdot C_i, \text{ г; кг; т, (2.20)}$$

де

V - витрати палива на генерування теплоти у паливоспалювальному обладнанні;

C_p - питома величина викиду шкідливого інгредієнта в атмосферу на одиницю спаленого палива (див. табл. 2.12).

Таблиця 2.12

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

Вид палива	Теплота згоряння палива	CO ₂	CO	CH ₄	N ₂ O	№ _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.,	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 %	4,17	359,0	1496	4,50	0,06	1,5	75,0	9,00	2,16	0,22

Дійсні витрати $V_{\text{д}}$ повітря на згоряння палива визначаються за залежністю (3.21):

$$V_{\text{д}} = a \cdot V_{\text{т}}^{\text{с}}, \text{ нм}^3 / \text{нм}^3; \text{ нм}^3 / \text{кг}, \quad (2.21)$$

де

a - коефіцієнт надлишку повітря, $a = 1,2 \dots 1,25$;

$V_{\text{т}}^{\text{с}}$ - теоретичні витрати повітря на згоряння палива, визначаються за залежністю (3.22):

$$V_{\text{т}}^{\text{с}} = 3600 \cdot Q_{\text{нр}} / 3770, \text{ нм}^3 / \text{нм}^3; \text{ нм}^3 / \text{кг}, \quad (2.22)$$

Де

$Q_{\text{нр}}$ - довідникова величина теплоти згоряння палива кВт·год / кг (м³),

приймається за даними табл. 3.12.

Питомий об'єм $V_{п3}$ продуктів згоряння палива у розрахунку на одиницю витрат палива в $\text{нм}^3 / \text{нм}^3$ палива або $\text{нм}^3 / \text{кг}$ палива можна визначити за такою орієнтовною залежністю:

$$V_{п3} = 1,032 \cdot Q_{н}^p + 0,25, \text{ нм}^3 / \text{нм}^3; \text{ нм}^3 / \text{кг} \quad (2.23)$$

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

$$V_{п}^{\text{рік}} = V_{д} \cdot V_{\text{рык}}^{\text{кот}} \cdot 10^{-6}, \text{ млн нм}^3 / \text{рік}, \quad (2.24)$$

де

$V_{\text{рык}}^{\text{кот}}$ - річні витрати палива для роботи котельні, $\text{нм}^3 / \text{рік}$, $\text{кг} / \text{рік}$.

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

$$V_{\text{рік}}^{\text{кот}} = V_{\text{рік}}^{\text{оп}} + V_{\text{рік}}^{\text{гв}}, \text{ нм}^3 / \text{рік}; \text{ кг} / \text{рік}. \quad (2.25)$$

Річні витрати палива на опалення визначаються за величиною середньогодинних за опалювальний період витрат газу на опалення $V^{\wedge p}$ і тривалістю опалювального періоду $n_{\text{оп}}$ згідно з формулою (3.26):

$$V_{\text{рік}}^{\text{оп}} = V_{\text{оп}}^{\text{сеп}} \cdot n, \quad (2.26)$$

де:

$V_{\text{оп}}^{\text{сеп}}$ - 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):

$$V_{\text{оп}}^{\text{сеп}} = V_{\text{оп}} \cdot [(t_{\text{в}} - t_{\text{сеп}}) / (t_{\text{в}} - t_3)] L \quad (2.27)$$

де

$V_{\text{оп}}$ - 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 $n_{\text{гв}}$ та величину середньогодинних витрат газу на приготування гарячої води $V_{\text{гв}}^{\text{сеп}}$ згідно з залежністю:

$$V_{\text{рік}}^{\text{ГВ}} = V_{\text{ГВ}}^{\text{ср}} \cdot n_{\text{ГВ}}, \quad (2.28)$$

де $V_{\text{ГВ}}^{\text{ср}}$ - 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):

$$k_i = M_i \cdot 10^3 / V_{\text{пз}} \cdot V = C_i \cdot 10^3 / V_{\text{пз}}, \text{ мг / м}^3, \quad (2.29)$$

де

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

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. 2.12);

V - витрати палива на генерування теплоти у паливоспалювальному обладнанні.

Величина секундних викидів, або потужність джерела викиду визначається за залежністю (2.30):

$$M_i^{\text{сек}} = C_i \cdot V_c \text{ г / с}, \quad (2.30)$$

де

V_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 °С. Тривалість роботи системи гарячого водопостачання $n_{\text{ГВ}} = 4320$ 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 $t_3 = -22$ °С;
- середня нормована температура опалювального періоду $t_{\text{сеп}} = 0$ °С;
- нормована тривалість опалювального періоду $n_{\text{оп}} = 178$ діб.

2. Зменшення теплопродуктивності котлів після впровадження заходів з енергозбереження:

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

3. Зменшення годинних витрат природного газу на котельні становить:

- на потреби опалення в розрахунковому режимі роботи $\Delta V^{\text{оп}} = \Delta Q^{\text{оп}} / Q_{\text{н}}^{\text{р}} \cdot \eta_{\text{к}} = 2041,6 / 9,9 \cdot 0,8 = 257,8$ м³ / год;
- на потреби гарячого водопостачання (середньогодинний режим роботи) $\Delta V_{\text{гв}}^{\text{сеп}} = \Delta Q_{\text{к}}^{\text{гв}} / Q_{\text{н}}^{\text{р}} \cdot \eta_{\text{к}} = 816,6 / 9,9 \cdot 0,8 = 103,1$ м³ / год;
- загальне зменшення годинних витрат природного газу на опалення і гаряче водопостачання $\Delta V = \Delta V^{\text{оп}} + \Delta V^{\text{гв}} = 257,8 + 103,1 = 360,9$ м³ / 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:

$$\Delta V_{\text{оп}}^{\text{сеп}} = \Delta V_{\text{оп}} \cdot [(t_{\text{в}} - t_{\text{сеп}}) / (t_{\text{в}} - t_3)] = 257,8 \cdot [(19 - 0) / (19 + 22)] = 257,8 \cdot 0,463 = 119,5 \text{ м}^3 / \text{год}.$$

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

- на потреби опалення (згідно з залежністю 3.26):

$$\Delta V_{\text{рік}}^{\text{оп}} = \Delta V_{\text{оп}}^{\text{сеп}} \cdot n_{\text{оп}} = 119,5 \cdot 178 \cdot 24 = 510504 \text{ м}^3 / \text{рік};$$

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

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

- загальна річна економія палива на потреби опалення і гарячого водопостачання: $\Delta V_{\text{рік}} = \Delta V_{\text{рік}}^{\text{оп}} + \Delta V_{\text{рік}}^{\text{гв}} = 510504 + 445392 = 955896$ м³ / 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 м³.

6. Визначимо, яким буде скорочення викидів забруднювальних речовин у складі продуктів згоряння. Для цього скористаємось залежністю (2.20):

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

- оксидів азоту $\Delta M_{\text{NO}_x} = 955896 - 1,68 \cdot 10^{-6} = 1,6 \text{ т / рік}$;
- монооксиду вуглецю $\Delta M_{\text{CO}} = 955896 \cdot 1,68 \cdot 10^{-6} = 1,6 \text{ т / рік}$;
- діоксиду вуглецю $\Delta M_{\text{CO}_2} = 955896 \cdot 1880 \cdot 10^{-6} = 1797 \text{ т / рік}$;
- органічних сполук $\Delta M_{\text{орг}} = 955896 \cdot 0,17 \cdot 10^{-6} = 0,16 \text{ т / рік}$;
- дисперсної фази $\Delta M_{\text{тч}} = 955896 \cdot 0,12 \cdot 10^{-6} = 0,11 \text{ т / рік}$;

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 м³ природного газу із теплою згоряння 9,9 кВт·год / м³ згідно з (2.22):

$$V_T^c = 3600 \cdot Q_H^p / 3770 = 3600 \cdot 9,9 / 3770 = 9,45 \text{ нм}^3 / \text{нм}^3;$$

потім дійсні питомі витрати повітря за умови підтримання коефіцієнта надлишку повітря на рівні $a = 1,2$ згідно з (2.21): $V_d = a \cdot V_T^c = 1,2 \cdot 9,45 = 11,3 \text{ нм}^3 / \text{нм}^3$ і питомий об'єм продуктів згоряння згідно з (2.23):

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

Об'єм повітря, котрий буде збережений протягом року, визначиться за формулою (2.24):

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

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

Висновок.

Економія 39 % палива на котельні теплопродуктивністю 7 Гкал / год дає можливість зберегти в атмосфері за рік до 2,26 млн нм³ / 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):

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

де

$V_{\text{пз}}$ - питомий об'єм продуктів згоряння, $V_{\text{пз}} = 10,5 \text{ м}^3 / \text{м}^3$;

C_i - питома величина викиду шкідливого інгредієнта в атмосферу на одиницю спаленого палива (див. табл. 2.12).

Результати розрахунків наведено у таблиці 2.13.

9. Обрахуємо секундні максимальні викиди в атмосферу забруднювальних речовин згідно з залежністю (2.30):

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

де V_c - секундні витрати палива на генерування теплоти у паливоспалювальному обладнанні.

Секундні витрати палива на котельні становлять $0,36 \text{ м}^3 / \text{с}$. Вони визначаються за відомими величинами теплопродуктивності котлів на потреби опалення $Q_k^{\text{оп}} = 5 \text{ Гкал / год}$ і на потреби гарячого водопостачання $Q_k^{\text{гв}} = 2 \text{ Гкал / год}$, а також відомою величиною теплоти згоряння природного газу $Q_H^{\text{р}} = 9,9 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^3 = 8514 \text{ ккал} / \text{м}^3$ (величину теплоти згоряння в залежність (3.31) підставляти у $\text{ккал} / \text{м}^3$). Величина максимальних секундних витрат природного газу визначиться за залежністю (2.31):

$$V_c = (Q_k^{\text{оп}} + Q_k^{\text{гв}}) \cdot 10^6 / (3600 \cdot \eta_k \cdot Q_H^{\text{р}}) = (5 + 2) \cdot 10^6 / (3600 \cdot 0,8 \cdot 8514) = 0,285 \text{ м}^3 / \text{с}. \quad (2.31)$$

Результати розрахунків секундних викидів наведено у таблиці 3.13.

Таблиця 2.13

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 / м ³	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 $V_{оп}^{сеп} = 130 \text{ м}^3/\text{год}$. 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 $t_3 = -23 \text{ }^\circ\text{C}$;
- середня нормована температура опалювального періоду $t_{сеп} = -1,5 \text{ }^\circ\text{C}$;
- нормована тривалість опалювального періоду $n_{оп} = 177 \text{ діб} = 4248 \text{ год}$.

2. Визначаємо теоретичні питомі витрати повітря на горіння:

$$V_T^c = 3600 \cdot Q_H^p / 3770 = 3600 \cdot 9,9 / 3770 = 9,45 \text{ нм}^3 / \text{нм}^3;$$

- дійсні питомі втрати повітря за умови підтримання коефіцієнта надлишку повітря на рівні $a = 1,2$ згідно з (2.21):

$$V_d = a \cdot V_T^c = 1,2 \cdot 9,45 = 11,3 \text{ нм}^3 / \text{нм}^3.$$

3. Питомий об'єм продуктів згоряння згідно з (2.23):

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

4. Річні витрати палива:

- до впровадження заходів з енергозбереження:

$$V_{рік}^{оп} = V_{оп}^{сеп} \cdot n_{оп} = 130 \cdot 4248 = 552240 \text{ м}^3/\text{рік};$$

- після впровадження заходів з енергозбереження:

$$V_{рік}^{оп} = 0,65 \cdot V_{оп}^{сеп} \cdot n_{оп} = 0,65 \cdot 130 \cdot 4248 = 358956 \text{ м}^3/\text{рік}.$$

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

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

де

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

C_i - питома величина викиду шкідливого інгредієнта в атмосферу на одиницю спаленого палива (див. табл. 2.12).

Результати розрахунків наведено у таблиці 2.14.

6. Обрахуємо секундні максимальні викиди забруднювальних речовин у

атмосферу згідно з залежністю (3.30):

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

де

V_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):

$$V_{оп} = V_{оп}^{сеп} \cdot [(t_b - t_3) / (t_b - t_{сеп})] = (120 / 3600) \cdot [(20 + 23) / (20 + 1,5)] = 0,066 \text{ м}^3 / \text{с.}$$

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

$$V_{оп} = 0,65 \cdot V_{оп}^{сеп} \cdot [(t_b - t_3) / (t_b - t_{сеп})] = 0,65 \cdot (120 / 3600) \cdot [(20 + 23) / (20 + 1,5)] = 0,043 \text{ м}^3 / \text{с.}$$

7. Величина валових викидів в атмосферу визначиться за залежністю (2.20):

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

Результати розрахунків наведено в таблиці 3.14.

Таблиця 2.14

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 / м ³	160	160	179048	16,2	11,4
Максимальні секундні викиди, г / с:	0,11	0,11	124,1	0,011	0,008
- до енергозберігальних заходів;	0,072	0,072	80,8	0,005	0,005
- після впровадження заходів					

Валові викиди, т / рік:					
- до енергозберігальних заходів;	0,927	0,927	1038,2	0,094	0,066
- після впровадження заходів;	0,603	0,603	674,8	0,061	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. 2.12.

Задача 29. Визначити зміну річних валових викидів CO₂ 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 огорожень витрати палива в котельні зменшилися до 97 т. Визначити екологічний ефект заходів з енергозбереження.

РОЗДІЛ 3. ОСНОВИ ТЕПЛОФІЗИКИ БУДІВЕЛЬ

3.1. Способи передачі теплоти

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

- теплопровідність;
- конвекція;
- променевий теплообмін.

Для багатопшарової пласкої стінки, яка складається із декількох

однорідних шарів, що щільно прилягають один до одного, визначення кількості теплоти, яка розповсюджується теплопровідністю, виконується за залежністю (3.1): λ

$$Q_T = \frac{t_{ct1} - t_{ct4}}{\frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3}} \cdot F \text{ ккал/год; кВт, (3.1)}$$

де

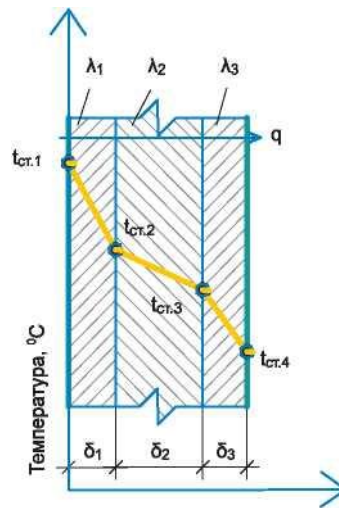
t_{ct1} - температура на внутрішній поверхні стіни, °С (див. рис 3.1);

t_{ct4} - температура на зовнішній поверхні стіни, °С (див. рис 3.1);

F - площа поверхні стіни, м²;

$\delta_1, \delta_2, \delta_3$ - товщина окремих шарів стіни, м;

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ - коефіцієнти теплопровідності окремих однорідних шарів стіни.



Товщина, мм

Рис 3.1 - Графік зміни температур по товщині багатшарової пласкої стіни

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

$$Q_k = a \cdot F \cdot (t_1 - t_{ct}), \text{ Вт; ккал / год, (4.2)}$$

де

F - площа поверхні стіни, м²;

t_1 - температура газу або рідини, яка омиває поверхню стіни (наприклад, температура зовнішнього повітря), °С;

t_{ct} - температура на поверхні стіни, (зовнішньої або внутрішньої), °С.

Коефіцієнт теплообміну a на зовнішній поверхні для вертикальних

поверхонь визначають за залежністю (4.3):

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

де

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

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

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

Ефективність процесу передачі теплоти характеризує коефіцієнт теплопередачі K. Він оцінює кількість теплоти (ккал або кВт), яка проходить через одиницю поверхні огороження (1 м^2), в одиницю часу (1 год або 1 с) за перепаду температур внутрішнього і зовнішнього повітря в $1 \text{ }^\circ\text{C}$.

Вказана величина визначається за залежністю (3.6):

$$K=1/R_0=1/[1/a_1 + \sum(\delta_i / \lambda_i) + 1 / a_2], \text{ Вт / м}^2 \cdot \text{град}; \text{ ккал / м}^2 \cdot \text{град} \cdot \text{год}. (3.6)$$

Величину, обернену коефіцієнту теплопередачі K, називають термічним опором теплопередачі R_0 :

$$R_0=1/K=1/a_1+ \sum(\delta_i / \lambda_i) + 1 / a_2, \text{ м}^2 \cdot \text{град} / \text{Вт}; \text{ м}^2 \cdot \text{град} \cdot \text{год} / \text{ккал}. (3.7)$$

У процесі переходу теплоти з приміщення у довкілля тепловий потік послідовно долає опір теплообміну на внутрішній поверхні огороження, який визначається як $R_b = 1 / a_1$, термічний опір теплопровідності матеріалу по товщині огороження $R_\Sigma = \sum(\delta_i / \lambda_i)$ та термічний опір переходу теплоти конвекцією на зовнішній стіні огороження $R_3 = 1 / a_2$.

Згідно з вимогами ДБН В.2.6-31:2006 «Теплова ізоляція будівель» величину a_1 для усіх будівель ВНЗ можна приймати рівною $8,7 \text{ Вт / м}^2 \cdot \text{град}$. Значення a_2 для зовнішніх огорожень, які розділяють зовнішнє повітря з опалювальним об'ємом приміщення, приймають $a_2 = 23 \text{ Вт / м}^2 \cdot \text{град}$. Для перекриття горищ і холодних підвалів, які сполучені із зовнішнім повітрям, $a_2 = 17 \text{ Вт / м}^2 \cdot \text{град}$. Для перекриття горища і над неопалювальними підвалами, які мають світлові прорізи у стінах, $a_2 = 12 \text{ Вт / м}^2 \cdot \text{град}$. Для перекриття над неопалювальними підвалами без світлових прорізів у стінах, які розташовані вище рівня землі, $a_2 = 6 \text{ Вт / м}^2 \cdot \text{град}$.

Загальна кількість теплоти, яка буде втрачатись огороженням будь-якої поверхні за будь-якого перепаду температур внутрішнього t_B і зовнішнього t_3 повітря, визначається за залежністю (3.9):

$$Q = K \cdot F \cdot (t_b - t_3) \text{ Вт; ккал / год. (3.9)}$$

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

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

$$\text{ГД} = n_{\text{оп}} \cdot (V t_{\text{сер}}) \text{- градусо-днів, (3.10)}$$

де

$n_{\text{оп}}$ - тривалість опалювального періоду для району забудови - нормована $n_{\text{опн}}$ (за даними додатку А), або дійсна $n_{\text{опд}}$ (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 °С);

t_b - нормована, або дійсна, усереднена в цілому по будівлі і за період спостережень температура внутрішнього повітря у будівлі, °С;

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

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

$$R_{\text{дод}} = R_{\text{мін}} - R_o \text{- м}^2 \cdot \text{град} / \text{Вт} \text{- (3.11)}$$

Величину дійсного термічного опору визначають за результатами енергетичного аудиту згідно з залежністю (3.7).

Товщину додаткового утеплювача, який необхідно нанести на огорожувальну конструкцію для досягнення сучасних вимог теплової ізоляції будівель ($\delta_{\text{дод}}$), визначають за залежністю (3.12).

$$\delta_{\text{дод}} = R_{\text{дод}} \cdot \lambda_{\text{ут}} \text{ (3.12)}$$

де

$\delta_{\text{дод}}$ - товщина утеплювача у конструкції огороження для досягнення необхідних теплозахисних характеристик огороження, м;

$\lambda_{\text{ут.}}$ - коефіцієнт теплопровідності матеріалу утеплювача у Вт / м·град визначається залежно від прийнятого виду утеплювача.

У якості утеплювача можна використати різноманітні теплоізоляційні матеріали: пінополіуретанове покриття з коефіцієнтом теплопровідності до $= 0,05$ Вт / м·град або жорсткі мінеральні плити з коефіцієнтом теплопровідності $= 0,1...0,15$ 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 $\delta = 250 \text{ мм}$ та щільність теплового потоку для неї, якщо на поверхнях стіни підтримувались температури $t_{\text{ст1}} = 17 \text{ }^\circ\text{C}$ і $t_{\text{ст2}} = -20 \text{ }^\circ\text{C}$. Визначити величину термічного опору теплопровідності стіни R .

Розв'язання.

1. Визначаємо за даними додатка И величину коефіцієнта теплопровідності червоної цегли $\lambda = 0,58 \text{ Вт / м}\cdot\text{град}$ 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 :

$$Q_{\text{T}} = F \cdot \lambda \cdot (t_{\text{ст1}} - t_{\text{ст2}}) / \delta = 5 \cdot 3 \cdot 0,58 \cdot (17 + 20) / 0,25 = 321,9 / 0,25 = 2200 \text{ Вт} = 2,2 \text{ кВт.}$$

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

$$q = Q_{\text{T}} / F = 2200 / 15 = 146,7 \text{ Вт / м}^2. \quad (3.13)$$

3. Термічний опір теплопровідності стінки із керамічної цегли завтовшки $0,25 \text{ м}$ визначається згідно із залежністю:

$$R = \delta / \lambda = 0,25 / 0,58 = 0,43 \text{ м}^2 \cdot \text{град} / \text{Вт}. \quad (3.14)$$

Задача 2. Визначити щільність теплового потоку і кількість теплоти, яка проходить крізь панель стіни завтовшки $\delta_1 = 0,2 \text{ м}$, заввишки $H = 3,5 \text{ м}$ і завдовжки $L = 6 \text{ м}$ із керамзитобетону щільністю 1600 кг / м^3 . Із зовнішньої сторони панель покрита утеплювачем - мінераловатними плитами щільністю 300 кг / м^3 завтовшки $\delta_2 = 0,1 \text{ м}$ декоративно-захисним покриттям. Температура зовнішньої поверхні конструкції становить $t_{\text{ст3}} = -15 \text{ }^\circ\text{C}$, температура внутрішньої поверхні стіни $t_{\text{ст1}} = 19 \text{ }^\circ\text{C}$. Вологісні умови експлуатації матеріалу - «Б». Визначити температуру на зовнішній поверхні панелі $t_{\text{ст2}}$ (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 $\lambda_1 = 0,79 \text{ Вт / м}\cdot\text{град}$;
- для мінераловатних плит щільністю 300 кг / м^3 $\lambda_2 = 0,09 \text{ Вт / м}\cdot\text{град}$.

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

- без шару утеплення $q_1 = (t_{\text{вн}} - t_{\text{зовн}}) / (\delta_1 / \lambda_1) = (19 + 15) / (0,2 / 0,79) = 34 / 0,253 = 134,38 \text{ Вт / м}^2$;
- з утепленням $q_2 = (t_{\text{вн}} - t_{\text{зовн}}) / [(\delta_1 / \lambda_1) + (\delta_2 / \lambda_2)] = (19 + 15) / [(0,2 / 0,79) + (0,1 / 0,09)] = 34 / 1,363 = 24,94 \text{ Вт / м}^2$. (3.15)

3. Кількість теплоти, яка проходить теплопровідністю крізь огородження:

- без шару утеплення $Q_{T1} = F \cdot q_1 = 134,38 \cdot 3,5 \cdot 6,0 = 2821,9 \text{ Вт}$;
- з утепленням $Q_{T2} = F \cdot q_2 = 24,94 \cdot 3,5 \cdot 6,0 = 523,7 \text{ Вт}$.

Висновок.

У результаті нанесення шару теплової ізоляції кількість теплоти, яка проходить крізь стіну теплопровідністю, зменшились з $2821,9 \text{ Вт}$ до $523,7 \text{ Вт}$ - у $5,4$ рази.

4. Температуру на внутрішній поверхні керамзитобетонної панелі (під ізоляцією) визначаємо за залежністю, яку можна отримати із залежності (3.15) за умови, що величина щільності теплового потоку через окремі шари огородження залишається сталою, $q_2 = \text{const}$.

$$t_{\text{вн2}} = t_{\text{вн}} - q_2 \cdot (\delta_1 / \lambda_1) = 19 - 24,94 \cdot (0,2 / 0,79) = 19 - 6,3 = 12,7 \text{ }^\circ\text{C}.$$

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

Розв'язання. Характеристика цегли залежно від її вологості

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

Примітка. Дані отримано за результатами експериментальних досліджень.

1. Величину необхідної товщини одержуємо із залежності для визначення опору теплопровідності одношарової стіни (3.14): $b = R \cdot A$.

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

Таблиця 3.2

Результати розрахунку необхідної товщини стіни із керамічної цегли (необхідний термічний опір теплопровідності $R = 2,0 \text{ м}^2 \cdot \text{град} / \text{Вт}$)

1	Вологість цегли	% мас.	0,1	0,7	1,4	4,0	9,0
2	Коефіцієнт теплопровідності, А	Вт / м·град	0,53	0,72	0,81	1,1	1,37
3	Необхідна товщина стінки, б	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 огорожень неможливе без використання в огорожувальних конструкціях ефективних теплоізоляційних матеріалів.

Задача 4. Визначити кількість теплоти, яка передається конвекцією із зовнішньої поверхні стіни площею поверхні $F = 20 \text{ м}^2$ у атмосферне повітря, якщо температура на зовнішній поверхні стіни становила $t_{\text{ст}} = -3 \text{ }^\circ\text{C}$, температура зовнішнього повітря $t_1 = -21 \text{ }^\circ\text{C}$, а середня швидкість зовнішнього

повітря за опалювальний період $W = 4,8$ м / с.

Розв'язання.

Кількість теплоти, яка передається конвекцією, визначається за формулою (3.2):

$$Q_k = a \cdot F (t_{ct} - t_1) \text{ ккал / год; кВт,}$$

де

F - площа поверхні стіни, 20 м^2 ;

t_1 - температура повітря, яке омиває зовнішню поверхню стіни, $t_1 = -21 \text{ }^\circ\text{C}$;

t_{ct} - температура на зовнішній поверхні стінки, $t_{ct} = -3 \text{ }^\circ\text{C}$.

Коефіцієнт теплообміну на зовнішній поверхні a для вертикальних поверхонь визначаємо за залежністю (3.3):

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

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

Задача 5. Коефіцієнт тепловіддачі від поверхні горизонтальних трубопроводів системи опалення гуртожитку зовнішнім діаметром $d_3 = 76$ мм, який прокладено у неопалювальному підвалі, становить $a = 6,5$ Вт / м²·град. Визначити втрати теплоти неізолюваними трубопроводами системи опалення у підвалі, якщо середня температура на поверхні подавального і зворотного трубопроводів $t_{ct} = +52$ °С. Загальна довжина трубопроводів, які прокладено у неопалювальному підвалі, $L = 290$ м. Температуру повітря у підвалі прийняти $t_1 = +6$ °С. Визначити втрати теплоти після теплової ізоляції трубопроводів за умови, що середня температура на поверхні ізоляції трубопроводів зменшиться до $t_{ct}^{iz} = 31$ °С. Зовнішній діаметр ізоляції трубопроводів $d_{iz} = 100$ мм.

Розв'язання.

1. Визначимо площу поверхні неізолюваних 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 неізолюваних трубопроводів у повітря неопалювального підвалу (втрати теплоти з охолодженням води у трубопроводах):

$$Q_k = a \cdot F_{iz} (t_{ct} - t_1) = 6,5 \cdot 69,20 \cdot (52 - 6) = 20690 \text{ Вт} = 20,69 \text{ кВт.}$$

3. Розрахуємо втрати теплоти після нанесення теплової ізоляції на

трубопроводи. Площа поверхні трубопроводів збільшиться за рахунок товщини теплової ізоляції: $F_{iz} = 3,14 \cdot d_{iz} \cdot L = 3,14 \cdot 0,096 \cdot 290 = 87,41 \text{ м}^2$.

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

$$Q_k = a \cdot F (t_{ct}^{iz} - t_1) = 6,5 \cdot 87,41 \cdot (31 - 6) = 14204 \text{ Вт} = 14,20 \text{ кВт}.$$

Висновок.

У результаті нанесення теплової ізоляції на трубопроводи системи опалення у неопалювальному підвалі посекундні втрати теплоти з охолодженням води зменшуються на $20,69 - 14,20 = 6,49 \text{ кВт}$. За умови тривалості опалювального періоду 180 діб це забезпечить річну економію теплоти у $6,49 \cdot 180 \cdot 24 = 28036 \text{ кВт} \cdot \text{год}$, або $24,11 \text{ Гкал}$, 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 $R_1 = \delta_1 / \lambda_1 = 0,17 \text{ м}^2 \cdot \text{град} / \text{Вт}$;
- насипний керамзит середньою товщиною $\delta_2 = 7 \text{ см}$.

Визначити відповідність вказаної конструкції нормативам теплозахисних характеристик огорожень 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 $F = 1920 \text{ м}^2$. 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 $t_3 = -21 \text{ }^\circ\text{C}$.

Нормована середня температура опалювального періоду $t_{ср}^H = -0,5 \text{ }^\circ\text{C}$.

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

2. За даними додатка И визначаємо коефіцієнт теплопровідності для керам-

зиту засипного щільністю 600 кг / м^3 , $\lambda_2 = 0,2 \text{ Вт / м} \cdot \text{°С}$.

3. Визначимо температурну зону, до якої належить м. Хмельницький. Для цього обчислимо розрахункову нормовану кількість градусо-днів згідно з залежністю (3.10):

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

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

4. Загальний термічний опір теплопередачі через перекриття визначимо за залежністю (3.7):

$$R_o = 1 / K = (1 / a_1 + \sum (\delta_i / \lambda_i) + 1 / a_2), \text{ м}^2 \cdot \text{град} / \text{Вт}; \text{ м}^2 \cdot \text{год} \cdot \text{град} / \text{ккал},$$

де величина опору теплообміну на внутрішній поверхні огороження $R_{\text{в}}$ становить:

$$R_{\text{в}} = 1 / a_1 = 1 / 8,7 = 0,115 \text{ м}^2 \cdot \text{град} / \text{Вт}.$$

Термічний опір переходу теплоти конвекцією на зовнішній поверхні перекриття визначається відповідно до залежності $R_3 = 1 / a_2 = 1 / 17 = 0,059 \text{ м}^2 \cdot \text{град} / \text{Вт}$ ($a_2 = 17 \text{ Вт} / \text{ м}^2 \cdot \text{град}$, 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:

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

Розрахунок загального термічного опору теплопередачі:

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

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 $R_{\text{мін}} = 3,3 \text{ м}^2 \cdot \text{град} / \text{Вт}$.

Висновок.

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

необхідних теплозахисних характеристик перекриття.

5. Визначимо величину необхідного опору теплопередачі додаткового утеплення перекриття R для досягнення нормованих вимог з енергозбереження. Для цього обчислимо різницю нормованої мінімальної $R_{\text{мін}}$ та дійсної на час проведення обстежень навчального корпусу R_o величин опору теплопередачі огорожень (3.11):

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

Товщину додаткового утеплювача, який необхідно нанести на огорожувальну конструкцію для досягнення сучасних вимог теплової ізоляції будівель $\delta_{\text{дод.}}$, визначають за залежністю (3.12):

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

де

$\delta_{\text{дод.}}$ - товщина утеплювача у конструкції огороження для досягнення необхідних теплозахисних характеристик огороження, м;

$\lambda_{\text{ут.}}$ - 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 $\lambda_{\text{ут.}} = 0,064$ Вт / м·град.

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

Таким чином, для досягнення необхідних, враховуючи актуальність проблеми енергозбереження теплозахисних характеристик огорожень, 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 $R_{\text{мін}}$ дозволяється приймати з коефіцієнтом 0,8 і дещо послабити вимоги до теплозахисних характеристик огороження. Відповідно, можливим є варіант нанесення мінеральної вати завтовшки 15 см. Але при цьому, природно, кількість теплоти, яка проходить 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:

$$R'_o = (1 / a_1 + \delta_1 / \lambda_1 + \delta_2 / \lambda_2 + \delta_{\text{дод.}} / \lambda_{\text{ут.}} + 1 / a_2) = (0,115 + 0,17 + 0,07 / 0,2 + 0,20 / 0,064 + 0,059) = 0,115 + 3,17 + 0,059 = 3,34 \text{ м}^2 \cdot \text{град} / \text{Вт.}$$

Умову $R'_o \geq R_{\min}$ або $3,34 \text{ м}^2 \cdot \text{град} / \text{Вт} > 3,3 \text{ м}^2 \cdot \text{град} / \text{Вт}$ 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:

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

- після нанесення додаткового шару теплової ізоляції:

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

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 проходить через перекриття із приміщення на горище до і після термомодернізації згідно із залежністю (3.9).

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. 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:

$$Q = K \cdot F \cdot 0,9 \cdot (t_b - t_3) = 1,44 \cdot 1920 \cdot 0,9 \cdot (20 + 21) = 102021 \text{ Вт} = 102,02 \text{ кВт}.$$

Розрахунок втрат теплоти після впровадження заходів із підвищення теплозахисних характеристик:

$$Q' = K' \cdot F \cdot 0,9 \cdot (t_b - t_3) = 0,299 \cdot 1920 \cdot 0,9 \cdot (20 + 21) = 21183 \text{ Вт} = 21,183 \text{ кВт}.$$

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

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

опалювальний період температури зовнішнього повітря. Для цього повторимо розрахунки за залежністю (4.9) за умови $t_3 = t_{\text{сер}}^H = -0,5 \text{ }^\circ\text{C}$:

- до утеплення перекриття:

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

- після утеплення:

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

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

Отже, річні втрати теплоти горищним перекриттям будуть такими:

- до реалізації заходів з утеплення:

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

- після реалізації заходів з утеплення:

$Q_{\text{рік}} = Q' \cdot n_{\text{оп.н}} = 10,59 \cdot 4344 = 46003 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 46,0 \text{ МВт} \cdot \text{год}$, 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:

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

Зниження платежів за природний газ для теплопостачальної організації становить:

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

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 $0,2 \text{ м}$ становить $1920 \cdot 0,2 = 384 \text{ м}^3$.

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 унеможливує 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 $1400 \text{ кг} / \text{м}^3$ завтовшки $0,37 \text{ м}$, шару утеплювача - мінерального матеріалу БЕТОЛЬ із коефіцієнтом теплопровідності $0,05 \text{ Вт} / \text{м} \cdot \text{град}$ і коефіцієнтом теплосвоєння $S = 2,0$, $\text{Вт} / \text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$, 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 - $980 \text{ грн} / \text{м}^3$. 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 / м³. На внутрішню сторону стіни нанесено вапняно-піщану штукатурку щільністю 1600 кг / м³ завтовшки 0,020 м. Умови експлуатації - Б. Визначити відповідність зазначеної конструкції нормативам теплозахисних характеристик огорожень 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 $t_1 = +18$ °С до внутрішньої поверхні стіни площею $F = 15$ м² з температурою $t_{ст} = +15$ °С.

Задача 10. Коефіцієнт тепловіддачі від поверхні горизонтальних трубопроводів системи опалення гуртожитку зовнішнім діаметром $d_3 = 100$ мм, які прокладено у неопалювальному підвалі, становить $a = 8,0$ Вт / м²·град.

Визначити втрати теплоти неізольованими трубопроводами системи опалення у підвалі, якщо середня температура на поверхні подавального і зворотного трубопроводів становить $t_{ст} = +46$ °С. Загальна довжина трубопроводів, які прокладено у неопалювальному підвалі $L = 210$ м. Температуру повітря у підвалі прийняти $t_1 = +3$ °С. Визначити втрати теплоти після теплової ізоляції трубопроводів за умови, що середня температура на поверхні ізоляції трубопроводів зменшиться до $t_{ст}^{із} = 35$ °С. 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 3м/с. Середню температуру у подавальному і зворотному трубопроводах теплових мереж прийняти +47 °С.

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

Задача 12. Здійснити побудову графіка залежності кількості градусо-днів від температури зовнішнього повітря для умов м. Кривого Рогу. Температуру внутрішнього повітря прийняти +18 °С. Повторюваність температур зовнішнього повітря прийняти згідно з даними довідника.

Таблиця 3.3

Повторюваність температур зовнішнього повітря для м. Кривого Рогу

Температура зовнішнього повітря, °С	-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

Список літератури

1. Doronina I. I. Трансформація енергетичного сектору ЄС та України: відновлювальні джерела енергії. *Scientific Papers of the Legislation Institute of the Verkhovna Rada of Ukraine*. 2019. № 4. С. 122–129. URL: <https://doi.org/10.32886/instzak.2019.04.12>
2. Богдан І. В. Енергозбереження в освітленні будівель / наук. кер. Ю. М. Пилипенко. *Наукові розробки молоді на сучасному етапі* : тези доповідей XVI Всеукраїнської наукової конференції молодих вчених та студентів (27-28 квітня 2017 р., Київ). Київ : КНУТД, 2017. Т. 2 : Мехатронні системи і комп'ютерні технології. Ресурсозбереження та охорона навколишнього середовища. С. 181-182. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/8312>.
3. Головка А. В. Енергозбереження та відновлювальна електроенергія. *Актуальні задачі сучасних технологій* : збірник тез доповідей IX Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів, 25-26 листопада 2020 року. Тернопіль : ТНТУ, 2020. Т. 2. С. 101-102. (Електротехніка та енергозбереження).
4. Головчук А. Ф. Енергозбереження в комунальному теплопостачанні. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія "Техніка та енергетика АПК"*. 2016. Вип. 256. С. 87–99.
5. Дешко В., Поклоненко В. Енергозбереження в університетських містечках. Київ : ТОВ "Поліграф плюс", 2011. 196 с.

Навчальне видання

Основи енергозбереження

Методичні рекомендації

Укладачі: **Бацуровська** Ілона Вікторівна

Чурило Руслан Євгенійович

Формат 60x84 1/16. Ум. друк. арк. 4,5.

Тираж 20 прим. Зам. № _____

Надруковано у видавничому відділі
Миколаївського національного університету
54020, м. Миколаїв, вул. Георгія Гонгадзе, 9

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4490 від 20.10.2013 р.