

Додаток 1  
01.03.2018 № 57

УДК 330.322.3:620.9  
УКПП  
№ держреєстрації 0117U006248  
Інв №

Міністерство освіти і науки України  
Запорізький національний технічний університет (ЗНТУ)  
69063, м. Запоріжжя, вул. Жуковського, 64;  
тел./факс (061) 224 42 36

ПОГОДЖЕНО  
Проректор з НР та МД  
д-р техн. наук, професор

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Директор Департаменту  
промисловості та розвитку  
інфраструктури Запорізької ОДА

\_\_\_\_\_ В.В. Наумик  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 р.

\_\_\_\_\_ А.М. Антонов  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 р.

м.п.

м.п.

ЗВІТ  
ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКІ ПОСЛУГИ З  
РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ КРИТЕРІЇВ ОЦІНКИ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ  
ПРОЕКТІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ З УРАХУВАННЯМ КРИТЕРІЇВ ОЦІНКИ  
ІНВЕСТИЦІЙНИХ ПРОЕКТІВ  
(остаточний)

Шифр НДР 2217

Науковий керівник НДР  
д-р техн. наук,  
професор

\_\_\_\_\_ Г.І. Слинько  
(підпис)  
(дата)

2017

## СПИСОК АВТОРІВ

Керівник НДР,

головний науковий

співробітник,

д-р техн. наук,

професор

(підпис)

(дата)

Г.І. Слинько

(вступ; реферат; розділ 8;

висновки; додатки)

Виконавці:

Провідний науковий

співробітник,

д-р екон. наук, професор

(підпис)

(дата)

Е.В. Прушківська

(підрозділ 2.3)

Старший науковий

співробітник

(підпис)

(дата)

В.В. Слинько

(розділи 1, 2)

Старший науковий

співробітник

(підпис)

(дата)

П.В. Цокотун

(розділи 3-7,9)

Науковий співробітник

(підпис)

(дата)

Р.Ф. Сухонос

(підрозділи 9.1, 9.2)

## РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 140 с., 11 табл., 9 рис., 4 дод., 39 джерел

ЕКОНОМІЯ, ЕНЕРГІЯ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ІНВЕСТИЦІЯ,  
КРИТЕРІЙ, ПАЛИВО, РОЗРАХУНОК, ТЕПЛО

Об'єкт дослідження – енергоефективність об'єктів комунальної власності.

Мета роботи – розробка системи критеріїв оцінки та обґрунтування проектів енергоефективності з урахуванням критеріїв оцінки інвестиційних проектів.

Методи дослідження – системний підхід; проектний метод; монографічний; статистико-імовірнісний; абстрактно-логічний метод; емпіричний метод; моделювання.

Розроблено рекомендації щодо впровадження комплексних заходів для забезпечення ефективного енергозбереження на рівні європейських стандартів.

Розроблено критерії визначення основних характеристик обладнання для опалення окремих будівель. Розроблено критерії визначення втрат тепла в теплових мережах при транспортуванні теплової енергії.

Розроблено критерії теплозабезпечення приміщень різних типів із врахуванням додаткових обігрівачів, типу будівельних матеріалів та утеплювачів стін, дахів, дверей та вікон із застосуванням сучасних матеріалів та технологій їх впровадження. Розроблено критерії оцінки інвестиційних проектів щодо забезпечення енергоефективності на об'єктах комунальної власності.

Розглянуто види різних палив та їх фізичні й теплотехнічні характеристики, надано рекомендації щодо особливостей використання палив у різних агрегатах.

Розроблено та запропоновано методику оцінки енергоефективності будівель комунальної власності. Впровадження та використання розроблених критеріїв, методик та заходів дасть можливість зекономити значні кошти на виробництво,

транспортування та використання теплової та інших видів енергії в сфері об'єктів комунальної власності Запорізької області.

## ЗМІСТ

	С.
Перелік скорочень, умовних позначок, одиниць і термінів . . . . .	8
Вступ . . . . .	10
1 Компаративний аналіз існуючих систем та методик оцінки енергоефективності енергетичних об'єктів в Україні та в світі . . . . .	12
1.1 Енергозбереження та енергоефективність в країнах ЄС . . . . .	13
1.2 Енергозбереження в Україні . . . . .	15
1.2.1 Законодавча база щодо енергозбереження . . . . .	15
1.2.2 Стан енергозбереження та енергоефективності в ЖКГ України . .	17
1.3 Критерії вибору схем теплопостачання . . . . .	21
1.4 Потенціал енергоефективності теплопостачання . . . . .	27
1.5 Енергоносії та джерела енергії в системах теплопостачання . . . . .	30
1.6 Загальна характеристика критеріїв . . . . .	33
1.7 Основні типи критеріїв і їх характеристика . . . . .	35
1.8 Висновки та визначення напрямків роботи . . . . .	38
2 Показники та критерії оцінки ефективності енергозбереження . . . . .	40
2.1 Склад та область використання показників енергозбереження . . . . .	40
2.2 Класифікація показників енергетичної ефективності . . . . .	43
2.3 Показники економічної ефективності інвестиційних проектів . . . . .	44
2.4 Методи оцінки ефективності інвестиційних проектів . . . . .	48
2.4.1 Термін окупності . . . . .	48
2.4.2 Коефіцієнт ефективності інвестиції . . . . .	49
2.4.3 Динамічні показники оцінки інвестиційного проекту . . . . .	51
2.4.3.1 Чистий дисконтований дохід інвестиційного проекту . . . . .	51
2.4.3.2 Індекс рентабельності інвестиційного проекту . . . . .	54

2.4.3.3	Внутрішня норма рентабельності інвестиційного проекту .	56
2.4.3.4	Модифікована внутрішня норма рентабельності інвестиційного проекту . . . . .	57
2.4.3.5	Дисконтований термін окупності інвестицій . . . . .	58
3	Показники та критерії оцінки інвестиційних проектів енергоефективності	59
3.1	Завдання оцінки ефективності інвестиційного проекту . . . . .	59
3.2	Етапи оцінки ефективності інвестиційного проекту . . . . .	61
3.3	Показники оцінки ефективності інвестиційного проекту і методи їх розрахунку . . . . .	62
3.4	Критерії оцінки ефективності інвестиційного проекту в енергозбереженні. . . . .	66
3.5	Критерії оцінки ефективності інвестиційного проекту в теплогенеруючих установках . . . . .	68
4	Характеристика та особливості експлуатації енергогенеруючих установок та устаткування . . . . .	70
4.1	Котли водогрійні та парові, особливості їх експлуатації . . . . .	70
4.2	Циркуляційні насоси та принципи їх підбору для опалення окремих будівель . . . . .	72
4.2.1	Розрахунок основних характеристик насосів . . . . .	72
4.2.2	Розрахунок продуктивності устаткування . . . . .	73
4.2.3	Розрахунок натиску системи . . . . .	75
4.2.4	Вибір електронасосної установки . . . . .	76
4.2.5	Додаткові фактори для вибору насосів . . . . .	77
5	Види палив та їх характеристики . . . . .	78
5.1	Види спалювання твердого палива . . . . .	78
5.2	Види палив, що використовуються в Запорізькій області . . . . .	79
5.3	Склад палива, та його технічні характеристики . . . . .	80
5.4	Види та характеристики органічного палива . . . . .	81

5.4.1 Тверде паливо . . . . .	81
5.4.2 Рідке паливо . . . . .	82
5.4.3 Газоподібне паливо . . . . .	83
6 Особливості транспортування теплової енергії . . . . .	90
6.1 Основні способи перенесення теплової енергії . . . . .	90
6.2 Теплові втрати . . . . .	91
6.3 Теплоізоляція . . . . .	91
6.4 Нормативні значення комфортних умов . . . . .	93
6.5 Розрахунок втрати тепла в теплових мережах при транспортуванні теплової енергії . . . . .	94
6.6 Втрати теплової енергії через ізоляції трубопроводів . . . . .	95
6.7 Гідравлічний розрахунок опалювальної системи . . . . .	96
6.7.1 Швидкість теплоносія . . . . .	97
6.7.2 Розрахунок швидкості теплоносія . . . . .	98
6.7.3 Найпростіший метод розрахунку кількості теплової потужності .	99
7 Особливості розрахунку опалення приміщень різних типів . . . . .	101
7.1 Розрахунок опалення приміщень з високими стелями . . . . .	101
7.2 Додаткові параметри, які треба враховувати при розрахунку опалювальної системи приміщень . . . . .	102
7.3 Вплив кліматичних зон на розрахунок опалення . . . . .	102
7.4 Специфіка та особливості приміщень, для яких проводиться розрахунок . . . . .	103
7.5 Підрахунки у виборі обігрівача . . . . .	103
7.6 Термомодернізація будівель . . . . .	104
8 Запропонована методика оцінки енергоефективності будівель комунальної власності . . . . .	106
9 Альтернативна енергетика . . . . .	113
9.1 Сонячна електроенергія . . . . .	113

9.2 Вітряна електроенергія . . . . .	115
9.3 Альтернативні органічні місцеві джерела енергії . . . . .	120
9.3.1 Лушпиння соняшнику . . . . .	120
9.3.2 Паливні брикети . . . . .	121
9.3.3 Солома . . . . .	122
9.4 Світлодіодне освітлення (LED) . . . . .	123
9.5 Будівництво котелень на альтернативному паливі . . . . .	125
Висновки . . . . .	126
Перелік джерел посилання . . . . .	128
Додаток А . . . . .	133
Додаток Б . . . . .	134
Додаток В. . . . .	137
Додаток Г. . . . .	139

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАК, ОДИНИЦЬ І ТЕРМІНІВ

АЕС – атомна електростанція

АТР – Азіатсько-Тихоокеанський регіон

ВЕУ – вітряна енергоустановка

ВДЕ – відновлювані джерела енергії

ВВП – валовий внутрішній продукт

ГЕС – гідроелектростанція

ДБН – державні будівельні норми України

ДСТУ – державний стандарт України

ЄБРР – Європейський банк реконструкції та розвитку

ЄС – Європейський Союз

ЖКГ – житлово-комунальне господарство

ККД – коефіцієнт корисної дії

МВФ – Міжнародний валютний фонд

ОСББ – об'єднання співвласників багатоквартирного будинку

ПЕР – паливно-енергетичні ресурси

СНД – Співдружність Незалежних Держав

ТЕН – тепловий нагрівач

ТЕР – теплоенергетичний енергоресурс

ТЕЦ – теплоелектроцентрально

у.п. – умовне паливо

ARR – коефіцієнт ефективності інвестицій

СС – ціна капіталу для проекту

DPP – дисконтований термін окупності інвестиції

IRR – внутрішня норма рентабельності



LED – світлодіодне освітлення

LPG – зріджений газ

MIRR – модифікована внутрішня норма рентабельності

NPV – чистий дисконтований дохід

PI – індекс рентабельності інвестиції

PP – термін окупності інвестицій

## ВСТУП

Проблема підвищення рівня енергетичної ефективності не є новою для України загалом і для Запорізької області зокрема. Країна залишається надзвичайно енерговитратною, від чого страждає конкурентоздатність української продукції, зменшуються можливості забезпечення енергетичної залежності, залишаються неякісними енергетичні послуги населенню.

У нових жорстких умовах протистояння країни з Російською Федерацією, коли кардинально зростають ціни на імпортовані енергетичні ресурси, в першу чергу, на природний газ, й обмежується його постачання актуальність вирішення проблеми енергоефективності значно зростає. Відсутність можливості суттєвої диверсифікації імпорту природного газу ставить економію енергетичних ресурсів в якості першочергового завдання, від вирішення якого залежить надійність функціонування та навіть виживання всієї країни.

У значному ступені вирішення цієї проблеми залежить від реалізації заходів енергоефективності в регіонах, на конкретних підприємствах, у тому числі й на підприємствах житлово-комунального господарства та будівель бюджетної сфери.

Одним із напрямків підвищення енергоефективності теплозабезпечення об'єктів бюджетної сфери є розроблення системи критеріїв оцінки та обґрунтування проектів енергоефективності з урахуванням критеріїв оцінки інвестиційних проектів, яким присвячена дана робота.

Із застосуванням сучасних методів дослідження таких як статистико-ймовірнісний, монографічний, емпіричний метод з використанням систематичних підходів розроблено ряд критеріїв.

Розроблено рекомендації щодо впровадження комплексних заходів для забезпечення ефективного енергозбереження на рівні європейських стандартів.

Розроблено критерії визначення основних характеристик обладнання для опалення окремих будівель. Розроблено критерії визначення втрат тепла в теплових мережах при транспортуванні теплової енергії.

Розроблено критерії теплозабезпечення приміщень різних типів із врахуванням додаткових обігрівачів, типу будівельних матеріалів та утеплювачів стін, дахів, дверей та вікон із застосуванням сучасних матеріалів та технологій їх впровадження.

Розроблено критерії оцінки інвестиційних проектів щодо забезпечення енергоефективності на об'єктах комунальної власності.

Розглянуто види різних палив та їх фізичні й теплотехнічні характеристики, надано рекомендації щодо особливостей використання палив у різних агрегатах.

Розроблено та запропоновано методику оцінки енергоефективності будівель комунальної власності.

Впровадження та використання розроблених критеріїв, методик та заходів дасть можливість зекономити значні кошти на виробництво, транспортування та використання теплової та інших видів енергії в сфері об'єктів комунальної власності Запорізької області.

## **1 КОМПАРАТИВНИЙ АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ ТА МЕТОДИК ОЦІНКИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ В УКРАЇНІ ТА В СВІТІ**

На початок 1990-х років в світі за споживанням енергії чітко виділилось чотири великі регіони: Північна Америка, Європа, Азіатсько-Тихоокеанський регіон (АТР) і СНД. Об'єм використання первинних енергоресурсів склав в 1990 році в Північній Америці більше 3,2 млрд. тон умовного палива (у.п.), в АТР – 2,56 млрд. тон у.п., у Європі – близько 2,5 млрд. тон у.п., в СНД – майже 2,0 млрд. тон у.п. В сукупності ці чотири регіони споживали більше 90 % всієї виробленої в світі енергії. В 1990-ті роки в усіх регіонах, крім СНД, продовжувалось зростання енергоспоживання. На фоні економічної кризи роль країн СНД у світовому споживанні енергії зменшилася з 17,5 % в 1990 році до 10,3 % в 2000 р.

В даний час основними регіональними центрами енергоспоживання є Північна Америка, АТР та Європа, в яких використовується близько 80 % всієї світової комерційної енергії. Це зумовлено, перш за все, рівнем економічного розвитку та чисельністю населення в цих регіонах.

Різке регіональне диференціювання енергоспоживання є характерною рисою сучасного світу, що відображає полярність, нерівномірність його розвитку. Існуюча регіональна структура використання первинної енергії відображає довгострокові процеси, що мали місце в світовому господарстві під впливом економічних, технологічних, геополітичних, демографічних, ресурсних, екологічних та природно-кліматичних факторів.

Рівень і структура енергоспоживання регіональних груп визначається показниками найбільших економічно розвинених країн. Цим зумовлена і висока поляризація світової системи енергозабезпечення. У 20 країнах, найбільших

споживачах, використовується 78,4 % всієї первинної енергії, причому споживання першої п'ятірки країн перевищує 50 % загальносвітового показника.

Узагальнено структуру споживання енергоресурсів в Україні і світі представлено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Структура споживання енергоресурсів в Україні і світі в %

Вид ресурсу	Світ в цілому	Україна	Країни ЄС-15	США
Природний газ	21,1	39,5	24	23
Нафта	33,1	11,8	36,4	38,9
Вугілля	27	28	18,3	23,7
Уран	5,8	18	13,4	9,3
ВДЕ	12,8	2,7	7,9	5,1

З аналізу наведеної структури споживання енергоресурсів видно, що в енергетичному балансі Україні невиправдано висока частка використання природного газу, майже в 2 рази вище, ніж в світі. А використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), до яких відносять енергію вітру, сонця, біомасу, гідро- і геотермальну енергію, невиправдано мале.

Використання електроенергії в країнах ЄС в останні роки тримається на рівні від 3200 ТВт·год до 3300 ТВт·год. На долю ВДЕ припадає близько 17 % від цієї кількості. З ВДЕ найбільший внесок у виробництво електроенергії забезпечує гідроенергія (57,7 % всіх ВДЕ), на II і III місцях – вітроенергія (20,9 %) і біомаса (19 %), відповідно. За різними оцінками, до 2030 року доля ВДЕ в загальному балансі споживання енергоресурсів складатиме 30 %.

## 1.1 Енергозбереження та енергоефективність в країнах ЄС

Коротко проаналізуємо, як здійснювалось енергозбереження та підвищувалася енергоефективність в Європейському Союзі (ЄС).

До кінця 1990-х років заходи з енергозбереження в Європі мали фрагментарний характер, що не давало відчутних результатів. У той же час вдалося розробити цілісну ідеологію економії енергії і було доведено, що для успішного вирішення проблем енергозбереження необхідно застосовувати комплексний підхід.

Відповідно до цього в ЄС з кінця 1990-х років був прийнятий цілий ряд документів, направлених на створення правової основи енергозбереження. Так, в Директиві «Про ефективність кінцевого споживання енергії та енергетичних послуг», прийнятої в 2006 році [1], були визначені планові завдання з економії на національному рівні і містилася вимога про вжиття заходів кожною державою-членом ЄС щодо виконання цих завдань. У 2012 році була прийнята Директива 2012/27 [2] про енергетичну ефективність, яка встановлює загальні рамки заходів, що сприяють підвищенню енергетичної ефективності в Європейському Союзі до 2020 року. Дана Директива стала першим нормативним актом, який передбачає комплексний підхід до політики енергозбереження на всіх стадіях виробництва, трансформації і споживання енергії [3].

Системний характер діяльності ЄС з енергозбереження та підвищення енергоефективності забезпечується також вирішенням фінансових та інформаційних проблем.

Одним з найбільших енергоспоживачів в країнах ЄС є житловий сектор (40 % всього споживання первинних енергоресурсів). Приблизно дві третини цієї енергії витрачається на житлові будівлі та одна третина – на нежитлові будівлі та споруди. При цьому дві третини енергії, що споживається, необхідні для роботи систем опалення, вентиляції та кондиціонування повітря.

За розрахунками Єврокомісії, обсяг споживання енергії будівлями і спорудами скорочується на 30 % при використанні економічно ефективних

заходів. Для досягнення цієї мети були вжиті відповідні заходи в сфері будівництва та ринку нерухомості.

В цілому, за період з 2005 року по 2013 рік в більшості країн ЄС зростання ВВП супроводжувалося скороченням споживання енергії в середньому на 2 %. Збільшення обсягів виробництва при підвищенні енергоефективності в ряді країн оцінюється в діапазоні від 0,25 % до 1 % ВВП. Інвестиції в енергоефективність здатні збільшувати податкові надходження, підвищувати прибутковість капіталовкладень і зменшувати витрати, пов'язані з безробіттям і виплатою соціальних допомог. Вивчення макроекономічного ефекту програм ремонту будівель показало, що щорічні капіталовкладення в розмірі 56 млрд. доларів приводили до створення 760 тисяч додаткових робочих місць на рік, безпосередньо приносячи в державні бюджети чистий річний дохід від 41 до 56 млрд. доларів; при обліку загальноекономічних вигод ця цифра більш ніж подвоюється, досягаючи від 91 до 174 млрд. доларів [4].

Найважливішою частиною енергетичної політики ЄС є збільшення частки енергії, що отримується з відновлюваних джерел. Європейський Союз поставив перед собою мету отримувати 20 % первинної енергії з відновлюваних джерел вже у 2020 році. Досягнення і проблеми в цій сфері заслуговують на окрему увагу.

## 1.2 Енергозбереження в Україні

### 1.2.1 Законодавча база щодо енергозбереження

Закон України «Про енергозбереження», прийнятий в 1994 році [5], дає наступне визначення поняття: «енергозбереження» – це діяльність, спрямована на раціональне використання та економне витрачання первинної та перетвореної енергії і природних енергетичних ресурсів в національному господарстві і яка реалізується з використанням технічних, економічних та правових методів.

Визначення енергоефективності в даному документі відсутня, але згадуються енергоефективні технології, проекти і т.д. Можна сказати, що енергоефективність являється основним критерієм ефективності використання енергії. Зазвичай основним індикатором енергоефективності служить енергоємність. Говорячи ще більш узагальнено, енергозбереження – це організаційний процес, а енергоефективність – технічний показник.

Як видно із вказаного закону, енергозбереженню в нашій державі приділяють увагу вже понад двадцять років. Природно, що в умовах економічної кризи і зростання цін на енергоносії дана проблема набула загальнодержавного значення і від її вирішення залежить національна безпека.

Українська економіка протягом останніх десятиліть є лідером енерговитратності серед європейських країн. Для порівняння, ВВП Німеччини в 2013 році перевищував відповідний показник України майже в 25 разів, при цьому витрати первинних енергоресурсів були більше українських всього лиш в 3,2 рази. Загальне енергоспоживання Польщі становило 96 % від українського, а ВВП був у 3,6 разів більше. Енергоємність економіки України перевищує показники Росії і Білорусі, найближчих конкурентів на пострадянському просторі [6].

Україна – одна з перших країн в СНД, що прийняла закон про енергозбереження, який з поправками діє і в даний час. Суттєвим недоліком цього закону є відсутність чітко визначених методів правового регулювання в сфері енергоефективності та засобів його впровадження. Багаторічні спроби вдосконалення законодавства в сфері енергозбереження привели до створення неефективних підзаконних актів з питань енергозбереження і породили функціонально не структуровану, аморфну систему державного управління. Наразі в сфері енергозбереження та енергоефективності діє більше 250 нормативно-правових актів. У той же час, обсяг реалізованих успішних енергоефективних проектів настільки малий, що він не співвідноситься з



масштабами нераціонального споживання енергоресурсів в Україні і не впливає на якісні показники економіки держави в цілому.

Певне зниження енергоємності ВВП України в кінці 1990-х - початку 2000-х років було досягнуто не в результаті реалізації державної політики з енергоефективності, а стало результатом збільшення обсягів промислового виробництва.

Протягом наступного десятиліття в діяльності державних органів з енергозбереження та енергоефективності не відбулося істотних змін. Так, початок роботи державного Фонду енергоефективності було заплановано тільки на квітень 2017 року. До цього український парламент повинен прийняти законопроекти про сам Фонд, «Про житлово-комунальні послуги», «Про комерційний облік житлово-комунальних послуг» та «Про енергоефективність будівель». Подібний державний Фонд з енергозбереження повинен був бути створений відповідно до закону «Про енергозбереження» (1994 р., ст.13). Однак чомусь за двадцять років він так і не запрацював, а деякі з перерахованих законопроектів обговорювалися і повинні були прийматися ще в середині 2000-х років.

### 1.2.2 Стан енергозбереження та енергоефективності в ЖКГ України

Останні двадцять років енергозбереження та енергоефективність залишаються для української економіки недосяжною метою. У 2000-2013 рр. основними споживачами первинних енергоресурсів в Україні були: промисловість (від 35 % до 40 %) і житлово-комунальний комплекс (в середньому 33 %) (див. додаток А). Найенерговитратніші галузі – металургія та хімічна промисловість. У 2010 р. вони споживали близько половини всього імпорту газу, а на металургію припадало більше половини всіх енергоресурсів промислового сектора.

Неефективним в Україні залишається використання первинних енергоресурсів в житлово-комунальному секторі. Так, втрати газу в системі теплопостачання і житловому секторі країни щорічно складають 11,4 млрд. м<sup>3</sup>. (понад 70 % річного імпорту газу вартістю майже в 2,3 млрд дол.). В цілому втрати в системах централізованого теплопостачання досягають 60 % [7].

Щорічно на житлові та побутові потреби населення України витрачається п'ята частина паливних ресурсів, електроенергії і третина теплової енергії. На одного жителя витрачається приблизно 1,3 тони умовного палива на рік, що майже в два рази більше, ніж в розвинених країнах. Ситуація з енергоспоживанням продовжує погіршуватися у зв'язку з природним старінням житлового фонду країни.

За оцінками експертів 90 % українських багатоповерхівок потребують термомодернізації. Причому мова йде про комплекс робіт по утепленню будинків, а не про термоізоляції окремих квартир, як це робиться в даний час. Зауважимо, щоб термомодернізувати 25 % існуючих будівель до 2020 року в Україні, за підрахунками Держенергоефективності, потрібно залучити 8,2 млрд. євро.

Поточна робота держорганів в цьому напрямку виглядає приблизно наступним чином: з 2014 р. по середину 2016 р. так звані «теплі» кредити були видані приблизно 1 % українських домогосподарств і менше 2 % ОСББ, які створені лише в п'ятій частині багатоповерхових будинків [8]. Можна порахувати скільки десятиліть буде потрібно для утеплення всіх будинків такими темпами.

Однією з головних причин такого становища є відсутність економічної мотивації підвищувати енергоефективність у значної частини мешканців багатоквартирних будинків. Якщо уряд планував в 2016 р. «облагодіяти» субсидіями на оплату житлово-комунальних послуг 60 % українських домогосподарств, то, можна припустити, що в більшості багатоповерхівок країни до половини власників квартир мали б бути одержувачами субсидій. А це означає, що їм не потрібні ні ОСББ, ні термомодернізація.

У проекті бюджету на 2017 року на заходи з підвищення енергоефективності закладено 800 млн. грн., а на субсидії – понад 50 млрд грн. Аналіз витрат вказує на хибність підходів у плануванні підвищення енергоефективності країни. Для порівняння в ЄС на енергоефективність до 2020 р. планують витратити не менше 100 млрд дол. щорічно.

Таким чином, на сьогоднішній день боротьба за енергозбереження та енергоефективність по-українськи в основному зосереджена на полях звітів до МВФ для отримання чергових траншів кредитів. Реальна робота, напевно, ще попереду.

Оцінка енергоефективності в даний час – основний спосіб, який використовують для визначення показників раціональності використання енергоресурсів. Головне, на що мають бути спрямовані основні зусилля для поліпшення оцінки енергоефективності - це нормативно-правова база. У ній повинні бути суворо сформульовані показники обліку та контролю за витрачанням різних енергоресурсів.

Якісна і, головне, об'єктивна оцінка енергоефективності буде досягнута тільки у разі спільних зусиль усіх сторін, що беруть участь в процесі. Керівництво країни має забезпечити грамотну нормативно-правову основу оцінки енергоефективності та створити всі можливості для її реалізації, а населення, як основний споживач, в свою чергу, повинне відповідально ставитися до енергетичних ресурсів і раціонально їх використовувати. Така взаємодія принесе результати в досить короткі терміни.

Наше майбутнє нерозривно пов'язане з енергоефективністю в побуті і в усіх сферах діяльності. Для цього треба вчитися розбиратися у всіх її проявах, вчитися рахувати вигоду від застосування тих, чи інших енергоносіїв і приймати правильні рішення. В даний час адаптована Мінрегіонбудом України європейська методика по енергоефективності, заснована на розрахунках і дає відповіді на багато питань. Положення методики вже адаптовані до сучасних українських будівельних норм.

У 2015 році введено в дію два державних стандарти України, що стосуються енергетичної ефективності будівель. У них викладені методики розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні і гарячому водопостачанні, а також керівництво по проведенню енергетичної оцінки та енергетичної сертифікації будівель.

Представлена в даних ДСТУ методика - набір адаптованих під національні умови європейських стандартів, розроблених фахівцями Євросоюзу і України. В Європі така методика розроблена на підтримку Директиви 2010/31/ЄС «Про енергоефективність будівель». В Україні - на підтримку аналогічного Закону України «Про енергетичну ефективність будівель» [9].

На енергоефективність в ЄС спрямовані і багато інших директив. Україна взяла на себе зобов'язання імплементувати деякі з них, ставши повноправним членом Енергетичного співтовариства. Однією з нових, тісно пов'язаних між собою з Директивою 2010/31/ЄС, є Директива 2012/27/ЄС «Про енергоефективність» (замінює Директиву 2006/32/ЄС). Ці документи описують єдині підходи держав до енергоефективності, зокрема, до визначення основних альтернативних джерел теплопостачання будівель. Ключова роль серед джерел відведена централізованому теплопостачанню. Держави зобов'язані контролювати, щоб до початку будівництва нових будівель була врахована можливість технічного, екологічного і економічного застосування нижченаведених високоефективних альтернативних систем, за умови їх доступності (Директиви 2010/31/ЄС):

- децентралізовані системи енергопостачання, що використовують поновлювані джерела енергії;
- системи енергопостачання від комбінованого виробництва електро- і теплоенергії (когенерація);
- централізовані або квартальні системи теплопостачання повністю або частково використовують поновлювані джерела енергії;
- теплові насоси.

Ці вимоги знайшли своє відображення в українських будівельних нормах – ДБН В.2.2-15-2005 «Житлові будинки» і ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування». Застосування перерахованих вище альтернативних джерел тепlopостачання не вимагає технічного та економічного обґрунтування, в той час, як для інших джерел обґрунтування є обов'язковим, а саме для:

- квартирних газових котлів;
- твердопаливних котлів;
- місцевої котельні (дахової, вбудованої або прибудованої);
- електрокотлів, електроопалювальних приладів (крім тих, які споживають електроенергію від поновлюваних джерел, або від загальної енергосистеми в нічний час).

Таким чином, переважним є централізоване тепlopостачання. У роз'ясненні Єврокомісії до Директиви 2012/27/ЄС зазначено, що при розгляді альтернативних сценаріїв теплозабезпечення, держави зобов'язані вивчити, в першу чергу, можливість застосування:

- систем з джерелами комбінованого виробництва електро- і теплоенергії;
- застосування систем централізованого тепlopостачання, які повністю або частково використовують поновлювані джерела енергії.

Лише тоді, коли застосування цих систем технічно неможливо або економічно недоцільно з урахуванням довгострокових витрат і вигод, слід перейти до розгляду інших варіантів ефективного теплозабезпечення, таких як індивідуальні.

### 1.3 Критерії вибору схем тепlopостачання

Ключовим критерієм вибору централізованого або індивідуального теплопостачання є їх ефективність. Визначення цього поняття для джерел теплопостачання дано в Директиві 2012/27/ЄС:

- ефективне централізоване теплопостачання має, щонайменше, використовувати 50% поновлюваних джерел енергії або 50 % відпрацьованої теплоти, або 75 % когенераційної теплоти або 50 % від комбінації зазначених енергії і теплоти;
- ефективне індивідуальне теплозабезпечення має споживати менше первинної енергії в порівнянні з ефективним централізованим теплопостачанням або стільки ж первинної енергії, але за нижчою ціною.

Тому для визначення енергоефективності джерела енергії необхідно знати його показник споживання первинної енергії. Методика визначення цього показника дана в зазначених вище стандартах. Наведемо лише деякі результати розрахунків для різних джерел із сучасною системою опалення та гарячого водопостачання (рис. 1.1). Слід зазначити, що сучасною системою опалення вважається система, що відповідає мінімальним європейським вимогам по енергоефективності (відповідно ДСТУ Б EN 15232:2011):

- автоматичне регулювання температури повітря в приміщенні терморегуляторами на опалювальних приладах;
- регулювання відпуску теплової енергії споживачеві залежно від погодних умов;
- насосна циркуляція теплоносія в системі опалення.



Рисунок 1.1 – Зіставлення енергоефективності сучасного теплопостачання будівель [10]

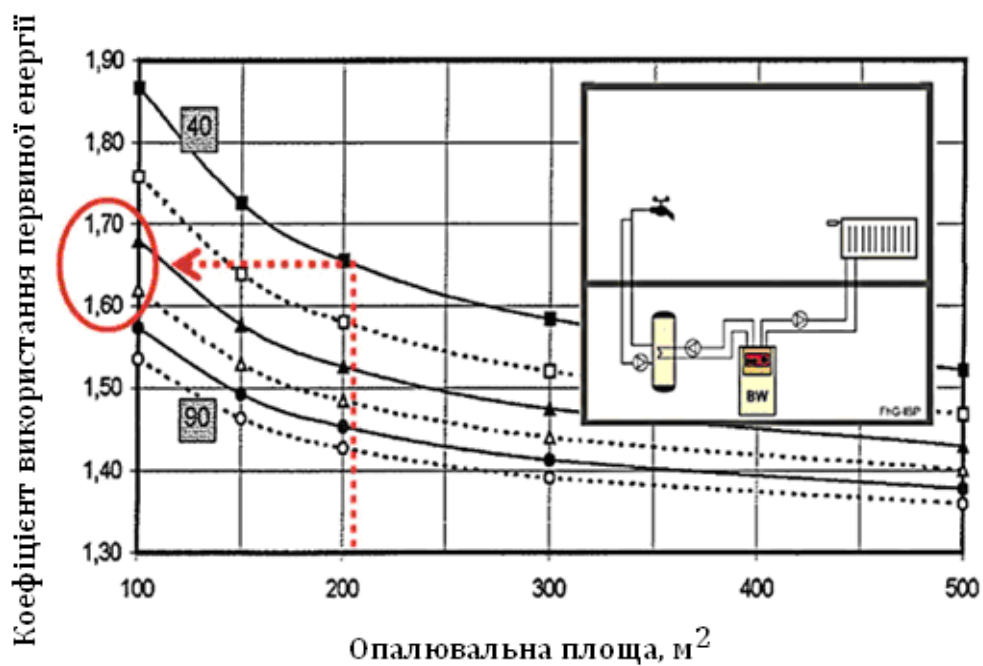
Перераховані мінімальні вимоги вже 15 років є обов'язковими за будівельними нормами України. Старі будівлі, безумовно, їм не відповідають. Нові будівлі з індивідуальними квартирними котлами також не відносять до сучасних. Оскільки з перерахованих вище нормативно-обов'язкових вимог щодо енергоефективності вони, найчастіше, не мають автоматичних терморегуляторів на опалювальних приладах і не мають автоматичного регулювання температури теплоносія через погодні умови. Замість автоматичного, регулювання здійснюється вручну. Це означає, що для старих будівель з централізованим теплопостачанням і нових будівель з котлами графіки будуть розташовуватися приблизно від 30 % до 40 % вище від графіків на рис. 1.1 (показано стрілками).

Графіки представляють собою залежність коефіцієнта використання первинної енергії при застосуванні того, чи іншого джерела теплозабезпечення від опалювальної площі. Чим менше значення цього коефіцієнта, тим нижче

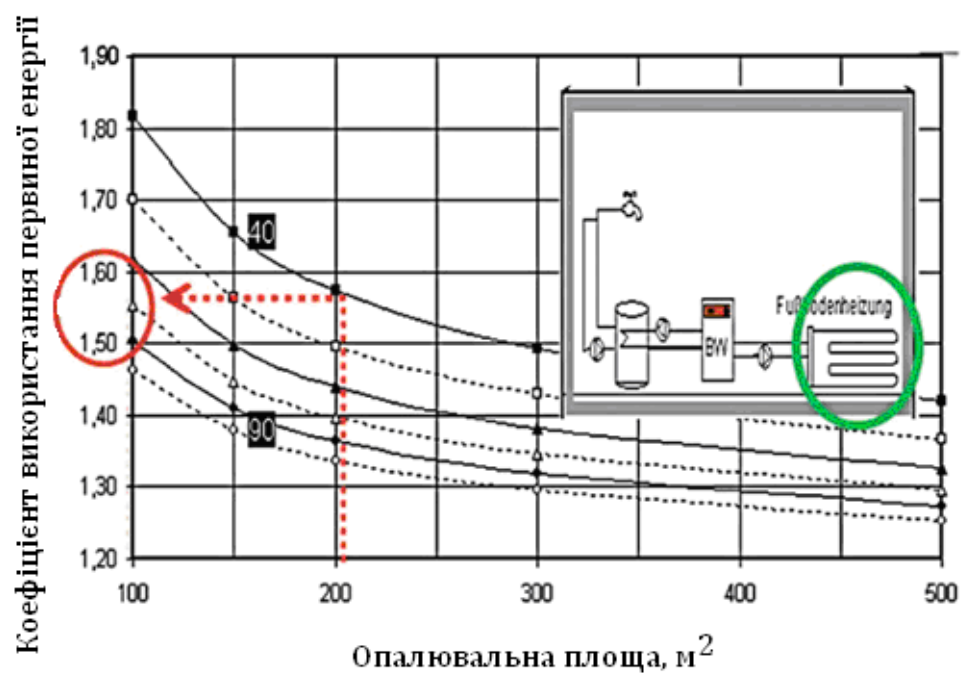
споживання невідновлюваних енергоресурсів (газу, вугілля, мазуту і ін.). Так, для централізованого теплопостачання, що обслуговує близько 10 тис. м<sup>2</sup> опалювальної площі (кілька будинків-«хрущовок») і для квартирного котла, що обслуговує 100 м<sup>2</sup> опалювальної площі (одна квартира), при спалюванні газу використання первинної енергії приблизно однакове. При обслуговуванні централізованим теплопостачанням більше, ніж двох «хрущовок», енергоефективність стає вище, ніж для індивідуальних котлів.

Домогтися більш високих показників енергоефективності, тобто знизити використання первинної енергії, можна по-різному. Так, наприклад, можна застосувати спільне вироблення теплової та електричної енергії. Тоді графік тепломережі опуститься приблизно в 1,7 рази. Саме такий графік характерний для централізованого теплопостачання від ТЕЦ, оскільки в тепломережі використовують когенеровану теплоту. Тому ТЕЦ відноситься до енергоефективної системи теплопостачання. Досягти аналогічного з ТЕЦ показника, застосовуючи найсучасніші квартирні газові котли, досить складно. Це можливо лише в комбінації газового котла з сонячним колектором для гарячого водопостачання і теплоутилізатором системи вентиляції. На рис. 1.2 стрілками показано порівняння енергоефективності газового котла в поєднанні з різним обладнанням внутрішніх інженерних систем (опалення, гарячого водопостачання, вентиляції) в квартирі / будинку з опалювальною площею 200 м<sup>2</sup>. Криві на графіку, позначені «40» і «90» – це річне питоме енергоспоживання [кВт·год] одного м<sup>2</sup> опалювальної площі. Зміна порядку розташування цих кривих відбувається при застосуванні відновлюваних енергоресурсів.





а

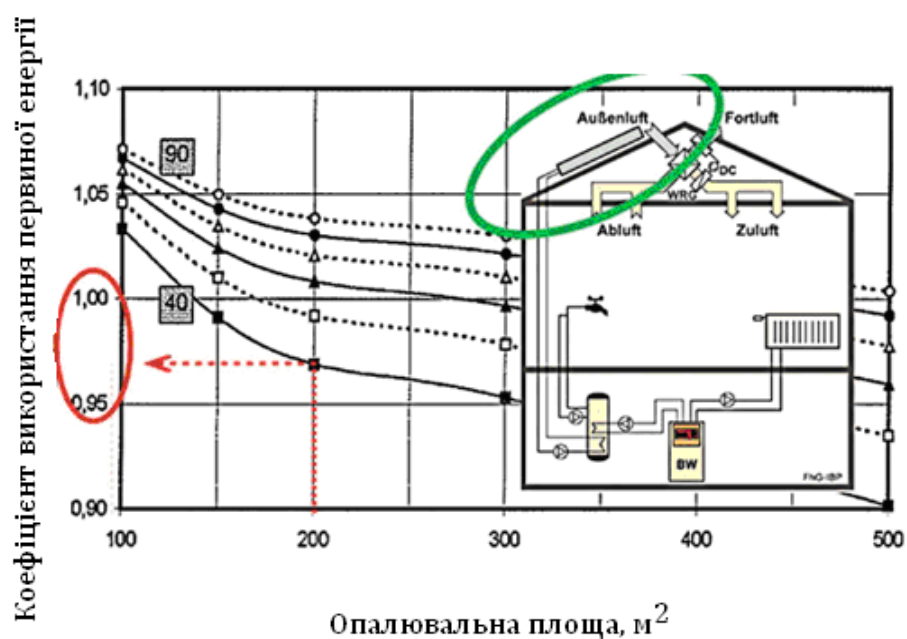
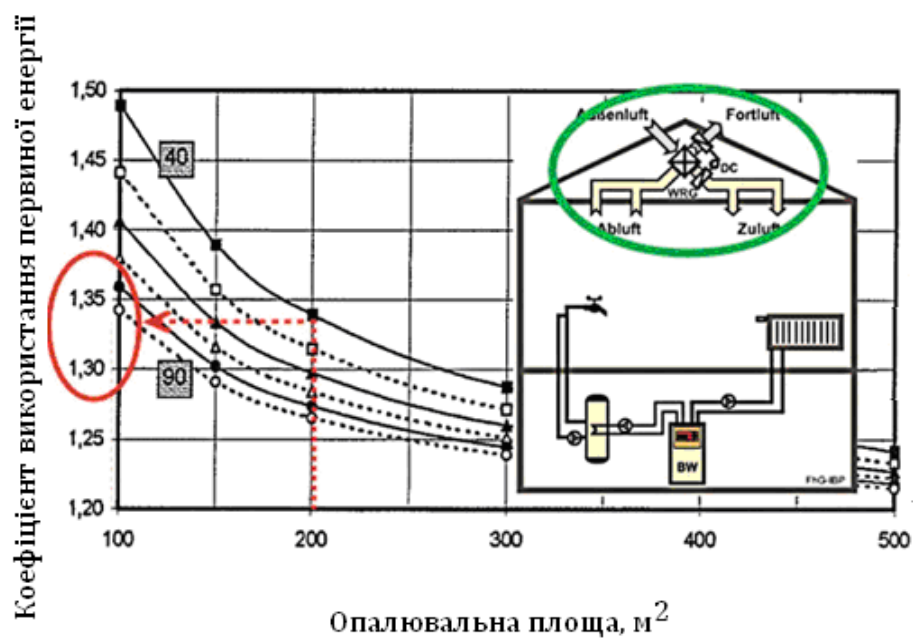


б

а – система опалення з газовим котлом, опалювальними приладами з терморегуляторами; бак акумулятор системи гарячого водопостачання;

б – система опалення напільна з газовим котлом; бак акумулятор системи гарячого водопостачання;

Рисунок 1.2 – Енергоефективність теплозабезпечення від індивідуального котла [10]



в – система опалення з газовим котлом, опалювальними приладами з терморегуляторами; бак акумулятор системи гарячого водопостачання; утилізатор теплоти вентиляційного повітря, що видаляється;

г – система опалення з газовим котлом, опалювальними приладами з терморегуляторами; бак акумулятор і сонячний колектор системи гарячого водопостачання; утилізатор теплоти вентиляційного повітря, що видаляється

Рисунок 1.2, аркуш 2

Наведені графіки розроблені за німецькою методикою і представлені в стандарті DIN V 4701-10 Bbl 1. Ця методика лягла в основу європейської та української методик. Вона дозволяє досить наочно визначитися в прийнятті енергоефективного рішення при конкретному завданні. Наприклад, при виборі джерела теплозабезпечення або інженерної системи будинку. Вона дозволяє також вирішувати завдання на рівні кварталу, міста і держави в цілому.

Основне призначення методики:

- оцінка виконання норм планових показників енергоспоживання;
- оптимізація енергетичних показників при новому будівництві шляхом вибору енергетичних показників з кількох проектних варіантів;
- індикація рівня енергоефективності існуючих будівель;
- оцінка ефекту від застосовуваних заходів по скороченню енергоспоживання в існуючій будівлі з розрахунку енергопотреб в порівнянні з існуючим станом;
- прогнозування потреби в енергетичних ресурсах на національному або міжнародному рівнях шляхом розрахунку енергопотреб декількох будівель, які є репрезентативними для всього житлового фонду.

По суті перераховані області застосування методики – це інструмент для прийняття рішення з багатьох завдань енергоефективності. Це інструмент, який дозволяє позбавити Україну від прийняття поспішних необдуманих дій, особливо діаметрально протилежних енергоефективності. Приклад тому - дискредитація централізованого теплопостачання. Адже високоефективна когенерація і централізоване теплопостачання мають куди більш значний потенціал економії первинної енергії, ніж індивідуальне теплозабезпечення. Відповідно до

Директиви 2012/27/ЄС цей потенціал ще не використаний в значній мірі. Тому держави-члени ЄС повинні проводити його комплексну оцінку.

#### 1.4 Потенціал енергоефективності теплопостачання

Оцінюючи вітчизняне централізоване теплопостачання, можна стверджувати, що потенціал його енергоефективності дійсно дуже істотний. Безумовно, треба проводити такі заходи, як заміна трубопроводів, горілок, котлів і т. д., але лише при комплексному підході – починаючи від будівлі і закінчуючи джерелом теплопостачання. Саме так поставлена задача енергоефективності в Директиві 2010/31/ЄС. У свою чергу, в Директиві 2012/27/ЄС для енергопостачальних компаній прописано: «Кожна держава-член ЄС має прийняти програму зобов'язань по енергетичній ефективності ... Її мета повинна бути, щонайменше, еквівалентна досягненню економії енергії з 1 січня 2014 р. по 31 грудня 2020 року в розмірі 1,5 % річного обсягу поставок енергії кінцевим споживачам по всім постачальникам енергії або всім роздрібним енергозбутовим компаніям за обсягом, усередненим за останні три роки, що передують 1 січня 2013 р.» Як бачимо, наведені умови жорсткі і цілеспрямовані.

Проте, в українських тепломережах є куди більш істотний потенціал зниження енергоспоживання, ніж у європейських. Знизити енергоспоживання кінцевих споживачів централізованого теплопостачання в Україні на величину від 30 % до 50 % – посильне завдання при забезпеченні якісних послуг з опалення та гарячого водопостачання. Для цього необхідно здійснити організаційні та технічні заходи. Причому заходи повинні докорінно відрізнятися від реалізованих в даний час, якими незадоволені споживачі – відключення гарячого водопостачання і зниження температури повітря в будівлях, тобто погіршення якості послуг, що надаються.

Для істотного зниження енергоспоживання при централізованому теплозабезпеченні треба розробити і втілити нормативні вимоги по забезпеченню тепловою стійкістю систем опалення: з підвищенням температури зовнішнього повітря необхідно не тільки зменшувати температуру теплоносія, а й зменшувати

його витрату. За всі роки існування тепломереж зменшували тільки температуру теплоносія в системах опалення. В Україні до сих пір системи опалення старих будівель працюють з постійним гідравлічним режимом, а треба – зі змінним. В результаті в наявності перегрів приміщень, що підтверджують відкриті балкони і вікна/квартирки в кінці опалювального періоду. Усунувши лише тільки цей недолік відпуску теплової енергії, можна скоротити її споживання приблизно на 30 % і на стільки ж зменшити плату за опалення (рис. 1.3).

Організація регулювання вимагає індивідуального походу, так як вона залежить від джерела, типу тепломережі, стану індивідуальних теплових пунктів будівель. Кращий спосіб – автоматичне регулювання на джерелі енергії з коригуванням в індивідуальних теплових пунктах будинків. Найгірший (як тимчасовий захід) – ручний. Безумовно, в останньому випадку ми не досягнемо максимально можливого ефекту, але результат все ж буде істотним.

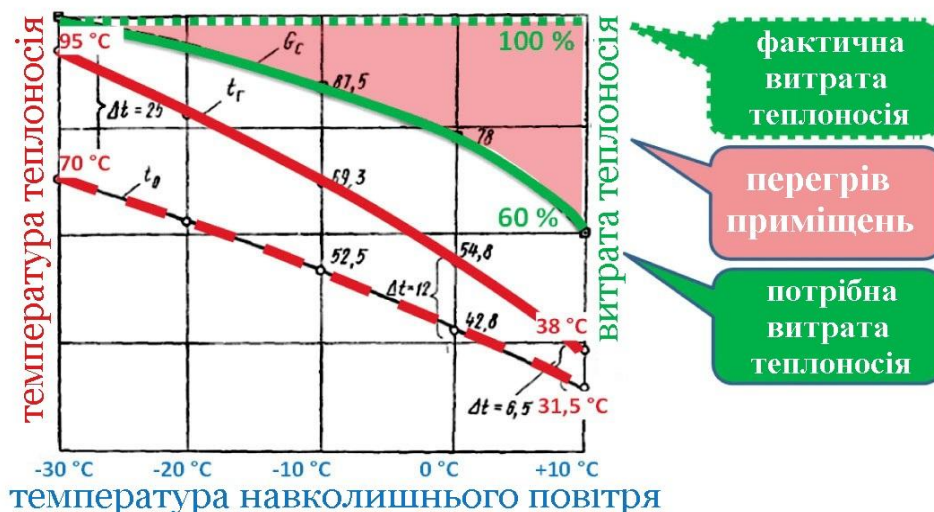


Рисунок 1.3 – Фактична і потрібна витрата теплоносія в системах опалювання [10]

Найідеальніший спосіб зниження енергоспоживання – комплексний підхід, який включає термомодернізацію будівель, модернізацію мереж і джерел тепlopостачання. Це складний і тривалий шлях, тому в Україні він вирішується

вибірково і не завжди правильно з точки зору енергозбереження. Так, наприклад, характерна помилка - утеплення будівель. Цей захід не призводить до зниження енергоспоживання. Стара система опалення і старе джерело теплопостачання не здатні відреагувати на утеплення, заміну вікон і т. д. Розрахунки за методикою дають відповідь на те, що треба робити при утепленні будинку для досягнення істотного зниження енергоспоживання – виконати хоча б мінімальні вимоги з енергоефективності системи опалення.

Ще одна помилка, яка часто зустрічається, це перехід на використання альтернативних енергоносіїв. Для вирішення таких завдань в методиці наведено коефіцієнти зіставлення різних енергоносіїв між собою (табл. 1.2). Так, перехід з газу на непоновлювану електроенергію від єдиної енергосистеми призводить до збільшення споживання первинної енергії в  $(3,14/1,36) = 2,3$  рази і збільшення викидів забруднюючих газів в еквіваленті  $\text{CO}_2$  – в  $(617/277) = 2,2$  рази.

Таблиця 1.2 – Коефіцієнти використання первинної енергії для зіставлення різних енергоносіїв [10]

Енергоносіїв	Коефіцієнт використання первинної енергії	Коефіцієнт викидів $\text{CO}_2$
	Непоновлювальні	кг/ (МВт·год)
Мазут	1,35	330
Газ	1,36	277
Антрацит	1,19	394
Буре вугілля	1,40	433
Кокс	1,53	467
Деревна стружка	0,06	4
Деревина	0,09	14
Бук	0,07	13
Сосна	0,10	20
Електроенергія від ГЕС	0,50	7
Електроенергія від АЕС	2,80	16
Електроенергія від вугільних ЕС	4,05	1340
З мішана електроенергія	3,14	617





### 1.5 Енергоносії та джерела енергії в системах тепlopостачання

Варто звернути увагу на показники для деревини. На перший погляд – це вигідне для України рішення по опаленню. Однак деревина стає поновлюваним енергоресурсом тільки за умови відновлення лісів, тобто якщо не зменшується їх площа, або організовані спеціальні насадження для цієї мети. І те, й інше поки не характерно для України. Цю особливість необхідно враховувати при застосуванні котлів, що спалюють деревну тріску або пелети. Позитивним фактором є застосування деревних відходів або використання деревини від санітарної очистки лісів і зелених насаджень населених пунктів.

Вибір джерела тепlopостачання в Україні також представляє складність. Рекламуючи обладнання, виробники іноді вказують завищені значення ККД. Варто відмітити, що енергоефективність джерел оцінюється спільно з інженерними системами будівлі на проміжному навантаженні. Визначальним показником при цьому є сезонна ефективність джерела теплозабезпечення. Середні значення показника наведені в методиці (табл. 1.3). Видно, що навіть найсучасніші котли далекі від досконалості. Але заміна газових котлів на електрокотли ще більше погіршує показники енергоефективності. Так, перетворення електричної енергії в теплову має ефективність майже 100 %. У той же час, ефективність найсучаснішої водяної системи складає від 60 % до 70 %. Запланувавши електрокотел для водяної системи, вже на етапі розрахунків втрачається від 30 % до 40 % ефективності. До того ж, при переході на первинну енергію за табл. 1.2, як уже зазначалося, отримують погіршення показників ще в 2,3 рази. Слід зазначити, що, застосовуючи сучасні системи електроопалення з автоматичним регулюванням температури повітря в приміщенні і енергоефективністю близькою до 100 %, отримують економію енергії в порівнянні зі старими водяними системами опалення. Оскільки в старих системах без такого терморегулювання ефективність становить приблизно 50 %. Виграш

приблизно в 2 рази по сезонної ефективності від впровадження електроопалення майже нівелюється програвом в 2,3 рази при використанні первинних енергоресурсів. В цілому, це прийнятно, особливо при використанні електрики в нічний час, і досить ефективно при використанні електроенергії від поновлюваних джерел – гідроелектричних, вітроелектричних, сонячних батарей та ін.

Таблиця 1.3 – Співставлення джерел теплопостачання [10]

Енергоносії/ послуга	Джерело теплопостачання	Сезонна ефективність, %
1	2	3
Природний газ або зрізаний газ (LPG)	Стандартний котел вкл./викл.	71
	Низькотемпературний котел	78
	Конденсаційний котел	80
	Звичайний котел для жилих приміщень	77
	Котел для опалення та гарячого водопостачання	76
	Газовий конвектор для жилого приміщення	71
Легкий сорт мазуту	Стандартний котел вкл./викл.	70
	Стандартний котел багатоконтурний	75
	Модуляційний котел	78
	Низькотемпературний котел	78
	Конденсаційний котел	79
	Водяний котел	74
Вугілля	Паровий котел	72
В'язкий сорт мазуту	Котел на в'язкому мазуті з ручним керуванням	57
	Котел на в'язкому мазуті – автоматичний	60
Дерев'яні пелети	Котел на біомасі – автоматичний	68
Дерев'яні тріска (щепи)	Котел на біомасі – автоматизована система подачі	66
	Котел на біомасі з газифікацією	68
	Піч/камін з ручною подачею	54
Інша біомаса	Котел на біомасі – ручне керування	60
Електроенергія	Тепловий насос – повітря-повітря, компресор	290
	Грунтовий тепловий насос з використанням геотермальної енергії – від ґрунту до води	390
	Електронагрівач	99
	Електроводонагрівач	98

Опалення від старих теплових пунктів	З центральним якісним регулюванням по температурному графіку до 110 °С із зрізом без корегування в ІТП	73
--------------------------------------	--------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

Кінець таблиці 1.3

1	2	3
Опалення від старих теплових пунктів	З центральним якісним регулюванням по температурному графіку 110 °С або вище із зрізом без корегування в ІТП	65
	З центральним якісним регулюванням по температурному графіку до 110 °С без зрізки і без корегування в ІТП	88
	З центральним якісним регулюванням з ЦТП без корегування по погодним умовам	
	З постійною температурою теплоносія без корегування в ІТП	50
Опалення від нових теплових пунктів	З центральним якісним регулюванням і ЦТП з корегуванням по погодним умовам і автоматичним обмеженням витрати систем опалення кожної будівлі	93
	З центральним якісним регулюванням із зрізом температурного графіка та корегуванням в ІТП по погодним умовам	96
Гаряче водопостачання	Централізоване теплопостачання	96
Опалення та гаряче водопостачання	Централізоване теплопостачання з малими/квартирними тепловими пунктами	98

Особливу увагу слід звернути на таке сучасне обладнання, як теплові насоси і геліоколектори. Слід зазначити, що застосування цих джерел економічно доцільно лише в утеплених будівлях з сучасними системами опалення, вентиляції і гарячого водопостачання, виконаних за сучасними будівельними нормами. Інакше вищеперелічене обладнання не окупиться у відведений йому термін експлуатації. Орієнтовні терміни окупності можна визначити по ДСТУ Б EN 15459:2014, який також є частиною методики.

У розробці методики для України брали участь фахівці компанії Уорлі Парсонс/ENSI/IMP в тісній співпраці з фахівцями ДП «Державний науково-

дослідний інститут будівельних конструкцій» (НДІБК) і інших організацій за проектом технічної допомоги Європейського банку реконструкції і розвитку (ЄБРР). Сьогодні за даним проектом здійснюється наступний етап – створення на основі європейського досвіду програмного забезпечення для полегшення розрахунків за методикою.

### 1.6 Загальна характеристика критеріїв

Для того, щоб охарактеризувати процес виробництва, передачі або споживання енергії, оцінити потенціал енергозбереження на різних об'єктах (установка, цех, підприємство, житловий район, регіон, держава), обґрунтувати правильність вибору енергозберігаючих заходів застосовуються критерії енергетичної ефективності.

Критерій – це деяка, досить загальна характеристика процесу, яку можна виразити в чисельній формі. Критерій має бути універсальним. Наприклад, критерій Рейнольдса, що є відношенням сил інерції до сил в'язкості в потоці рідини, характеризує гідродинамічні втрати на тертя, а також теплообмін при течії різних рідин в потоках різної геометрії при різних температурах, тисках і т. д.

Коли мають справу з енергією, треба розглядати різні фізичні процеси – її вироблення, перетворення, зберігання, передачу на різні відстані і нарешті, споживання. Застосовувані на практиці види енергії – теплова, електрична, механічна – відрізняються за своїми властивостями. Фізичні процеси виробництва і споживання енергії також дуже різноманітні: це спалювання палива, плавлення, термічна обробка металів, різні способи обігріву будівель, випарювання, сушка, перегонка, ректифікація та багато інших. Очевидно, що для опису всього цього різноманіття процесів необхідно використовувати не один, а багато різних критеріїв.

Відзначимо, що в діяльності людини в цілому найбільш нераціональні втрати енергії спостерігаються при її споживанні. При виробленні та транспортуванні втрати енергії – менші. Саме споживання енергії (в промисловості, сільському господарстві, в побуті і в громадській діяльності) являє головний резерв енергозбереження. З цього випливає, що найбільший інтерес представляють критерії енергетичної ефективності, пов'язані зі споживанням енергоресурсів.

Показник енергоефективності – абсолютна, або питома величина споживання, або втрати енергетичних ресурсів будь-якого призначення, встановлена державними стандартами.

Мета показників ефективності використання енергії – установка орієнтирів, які потрібно досягнути, виявлення слабких місць у витрачанні енергії, визначення резервів.

Один з таких орієнтирів – теоретично необхідна кількість енергетичних ресурсів для проведення того чи іншого процесу. Теоретично необхідні витрати теплової енергії для отримання механічної енергії можна визначити через термічний ККД циклу Карно. Витрати тепла на нагрів деталі перед термічною обробкою обчислюються як добуток різниці початкової і кінцевої температур на теплоємність і масу матеріалу деталі. Витрати на плавлення металу – як добуток питомої теплоти плавлення на його масу і т. д.

Однак використовувати цей орієнтир на практиці не завжди представляється можливим, оскільки з різних причин буває важко теоретично визначити витрати енергії.

Приклад: У сушильній установці витрати тепла на сушку матеріалу не можуть бути завжди виражені тільки через теплоту пароутворення. Відомо, що існує енергія зв'язків вологи і матеріалу, які можуть мати різну фізичну природу. Волога може утримуватися капілярними силами, силами сорбції, можуть виникати хімічні зв'язки, як в кристалогідратах і т. д. Тоді для видалення вологи до кінцевого стану можуть знадобитися додаткові витрати енергії, кількість яких

залежить від виду матеріалу, його початкової вологості і т. д. Те ж стосується розділення в ректифікаційній установці багатокомпонентної суміші, з невідомими властивостями.

Проте, оскільки теоретичні витрати тепла на випаровування води близькі теоретичним витратам тепла на сушку, їх часто використовують для характеристики ефективності процесу.

Критерій часто не відображає в повному обсязі ефективність процесу використання енергії, а лише дає інформацію для його аналізу.

Наприклад, річне споживання теплової енергії на опалення населеного пункту, віднесене до одиниці опалювальної площі, не говорить про ефективність використання енергії, оскільки невідома середня температура повітря і тривалість опалювального періоду.

### 1.7 Основні типи критеріїв і їх характеристика

На практиці використовуються велика кількість різних критеріїв, які застосовуються в різних випадках. Основні типи критеріїв – термодинамічні, натуральні, економічні. Деякі з них наведені в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Основні типи критеріїв

Тип	Назва
Термодинамічний	Коефіцієнт корисного використання тепла
	Енергетичний ККД – відношення корисно використаної енергії до її загальної витрати
	Ексергетичний ККД
Питомий натуральний	Питома витрата палива (теплової, електричної енергії) на одиницю виробленої продукції
	Питома витрата палива (теплової, електричної енергії) на одиницю переробленої сировини
	Питома витрата палива (теплової, електричної енергії) на

	одоміцню вартості виробленої продукції
Питомий абсолютний	Річна (місячна, добова і т. д.) витрата енергоресурсов на підприємстві, регіоні в тонах у.п. або в тонах первинного умовного палива
Економічний	Період окупності
	Чиста сучасна вартість
	Коефіцієнт чистої приведеної вартості
	Доля затрат на енергетичні ресурси в собівартості продукції

В якості термодинамічних критеріїв можна використовувати:

- термічний ККД циклів теплових двигунів (цикли паротурбінних, газотурбінних, парогазових установок, двигунів внутрішнього згорання) і холодильних машин;
- натуральні критерії оцінки ефективності використання енергії на промислових підприємствах;
- питому і сукупну питому приведену витрату умовного палива;
- індикатори (приватні критерії) ефективності використання енергії на об'єктах житлово-комунального господарства;
- економічні критерії оцінки ефективності використання енергії.

Форми критеріїв ефективності, що використовуються в різних сферах, дуже різноманітні. Часто це визначається видом одержуваної продукції, її номенклатури, ступенем використання власних і зовнішніх джерел енергії, споживання вторинних енергетичних ресурсів, виділення внутрішнього тепла в технологічних процесах (наприклад, теплоти екзотермічних реакцій) і т. д. Слід мати на увазі, що процес з найкращими енергетичними характеристиками не завжди є вигідним економічно.

Наприклад, трубопровід, по якому передається вода, можна покрити шаром дорогої ізоляції і звести до мінімуму теплові втрати, проте вартість такої ізоляції може не окупитися за весь термін її служби.

У цьому випадку в якості критерію, що характеризує заходи з енергозбереження, використовуються економічні критерії. Ці критерії мають

першорядне значення оскільки ефективне використання енергетичних ресурсів – це досягнення економічно виправданої ефективності використання енергетичних ресурсів при існуючому рівні розвитку техніки і технології при дотриманні вимог до охорони навколишнього середовища.

Найбільш поширеним з них є термін окупності енергозберігаючого заходу. У розрахунку терміну окупності враховуються капітальні витрати: вартість використовуваних матеріалів і устаткування, проектних робіт, монтажу, пуску в експлуатацію і експлуатаційні витрати. Наприклад, витрати на обслуговування встановленого енергозберігаючого обладнання, його ремонту, витратних матеріалів, палива і енергії на його роботу і т. д. Через певний час вартість економії енергетичних ресурсів стане дорівнювати вартості капітальних і експлуатаційних витрат. Тоді кажуть, що термін окупності досягнутий.

Приклад: У системі тепlopостачання встановлено тепловий насос, що дозволяє отримувати гарячу воду за рахунок підвищення потенціалу тепла стічних вод промислового підприємства. Капітальні витрати включають роботи з проектування теплонасосної установки, вартість монтажу, налагоджувальні роботи, пускові випробування. Експлуатаційні витрати включають – вартість обслуговування теплонасосної установки, вартість електричної енергії на привід компресора, вартість теплоносія, що втрачається в процесі ремонтів і експлуатації, вартість додаткової електроенергії, необхідної для прокачування теплоносія через випарник і конденсатор теплового насоса.

При розрахунку капітальних і експлуатаційних витрат необхідно враховувати інфляцію, а також зміни вартості енергетичних ресурсів і вартості обслуговування за час експлуатації. Оскільки рівень інфляції і майбутню вартість енергетичних ресурсів не завжди можна передбачити заздалегідь, на практиці використовуються прогнози розвитку ситуації – наприклад, песимістичний, реалістичний, оптимістичний, кожному з яких відповідають свої значення тарифів. Далі термін окупності розраховується по кожному з цих прогнозів.



Сучасна приведена вартість (net present value) – інший, не менш важливий, економічний критерій енергозбереження. Він являє собою різницю отриманої економії і сумарних витрат на проведення того, чи іншого енергозберігаючого заходу на даний момент часу. При цьому вартість витрат і економії беруться в дисконтованому вигляді, тобто з урахуванням інфляції. До настання терміну окупності чиста приведена вартість – негативна, після – позитивна.

На відміну від терміну окупності сучасна приведена вартість залежить від моменту часу, в який її розглядають і може бути представлена у вигляді табличної або графічної залежності. Характер графіків залежить від рівня інфляції і від майбутньої ціни на енергоресурси, тому для її побудови використовуються прогнози розвитку ситуації на ринку енергоресурсів.

Як термін окупності, так і сучасна приведена вартість зазвичай залежать від великої кількості технічних, вартісних та інших показників, зокрема від режиму роботи установки, її конструкційних параметрів.

Приклад: Термін окупності сушильної установки залежить від рівня температур і витрати сушильного агента, що визначає режим сушки. Термін окупності теплообмінника для утилізації тепла витяжного вентиляційного повітря залежить від площі поверхні теплообміну, ступеня оребрення поверхні та інших конструктивних параметрів.

Економічні критерії можуть бути оптимізовані за рахунок добору оптимальних значень режимних і конструкційних параметрів процесу з використанням відповідних математичних методів. При цьому можна отримати значний економічний ефект.

## 1.8 Висновки та визначення напрямків роботи

Виходячи з результатів компаративного аналізу існуючих систем та методик оцінки енергоефективності енергетичних об'єктів в Україні та в світі, встановлено наступне.

Переважає централізоване опалення. При розгляді альтернативних сценаріїв теплозабезпечення, розроблення критеріїв оцінки та обґрунтування проектів енергоефективності з урахуванням критеріїв оцінки інвестиційних проектів необхідно вивчати в першу чергу можливість застосування:

- систем з джерелами комбінованого виробництва електро- і теплоенергії;
- застосування систем централізованого теплопостачання, які повністю або частково використовують поновлювані джерела енергії.

В разі, коли застосування цих систем технічно неможливо або економічно недоцільно з урахуванням довгострокових витрат і вигод, слід перейти до розгляду інших варіантів ефективного теплозабезпечення, таких як індивідуальні.

Сучасною системою опалення вважається система, що відповідає мінімальним європейським вимогам по енергоефективності (відповідно ДСТУ Б EN 15232:2011):

- автоматичне регулювання температури повітря в приміщенні терморегуляторами на опалювальних приладах;
- регулювання відпуску теплової енергії споживачеві залежно від погодних умов;
- насосна циркуляція теплоносія в системі опалення.

Існуючі методики оцінки ефективності роботи енергетичних систем та енергозбереження не повністю охоплюють весь спектр потреб оцінки та забезпечення енергоефективності будівель та об'єктів комунальної власності.

Основними напрямками роботи є:

- розглянути існуючі в Запорізькій області системи енергозабезпечення об'єктів комунальної власності; визначити наявність в них енергозберігаючих комплексів та дію технологій щодо ефективного енергозбереження.

- розглянути традиційні види палива, навести їх теплотехнічні характеристики та охарактеризувати можливість їх ефективного використання.
- розглянути альтернативні види енергетики та запропонувати можливість їх використання.
- розробити критерії оцінки ефективності енергозбереження на об'єктах бюджетної сфери.
- розробити критерії оцінки інвестиційних проектів енергоефективності.
- розробити та запропонувати методику оцінки енергоефективності будівель комунальної власності.
- надати рекомендації щодо ефективного комплексного використання теплової та інших видів енергії на об'єктах бюджетної сфери.

## **2 ПОКАЗНИКИ ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

У державній та галузевій статистиці є більше десятка форм, в яких відображені показники енергоспоживання та ефективності енерговикористання на підприємствах, в галузях, регіонах, на макрорівні економіки.

### **2.1 Склад та область використання показників енергозбереження**

Виділяють три основні групи показників (індикаторів) реалізації енергозбереження:

- нормовані показники енергетичної ефективності продукції, що вносяться до державних стандартів, технічних паспортів продукції, в технічну та

конструкторську документацію і використовуються при сертифікації продукції, енергетичній експертизі та енергетичних обстеженнях;

- показники енергетичної ефективності виробничих процесів, які вносяться в стандарти і енергопаспорти підприємств і використовуються в ході здійснення державного нагляду за ефективним використанням паливно-енергетичних ресурсів та проведення енергообстеження органами державного нагляду;

- показники (індикатори) реалізації енергозбереження (відображаються в статзвітності, нормативних правових і програмно-методичних документах, контролюються структурами державного управління і нагляду).

Стандарт «Енергетична ефективність. Склад показників» встановлює основні види показників енергозбереження та енергетичної ефективності, що вносяться до нормативних (технічних, методичних) документів, в технічну (проектну, конструкторську, технологічну, експлуатаційну) документацію на енергоспоживаючу продукцію, технологічні процеси, роботи та послуги.

Показники енергозбереження характеризують діяльність (наукову, виробничу, організаційну, економічну, технічну) юридичних і фізичних осіб по реалізації заходів, спрямованих на ефективне використання та економне витрачання теплоенергетичних ресурсів (ТЕР) на всіх стадіях їх життєвого циклу.

Показники енергозбереження використовують при:

- плануванні та оцінці ефективності робіт з енергозбереження;
- проведенні енергетичних обстежень (енергетичного аудиту) споживачів енергоресурсів;
- формуванні статистичної звітності по ефективності енерговикористання.

Організаційну, технічну, наукову, економічну діяльність в області енергозбереження характеризують показниками:

- фактичної економії ТЕР, в тому числі за рахунок нормування енергоспоживання на основі технологічних регламентів і стандартів (галузевих, регіональних, підприємств); економічного стимулювання (галузей, регіонів, підприємств, персоналу);

- зниження втрат ТЕР, в тому числі за рахунок оптимізації режимних параметрів енергоспоживання;
- проведення за результатами енергетичних обстежень енергозберігаючих заходів, що не потребують значних інвестицій;
- впровадження приладів і систем обліку ТЕР;
- підготовки кадрів;
- проведення рекламних та інформаційних кампаній;
- зниження енергоємності виробництва продукції (на підприємстві) і валового внутрішнього продукту (в регіоні, в країні), в тому числі за рахунок впровадження елементів структурної перебудови енергоспоживання, пов'язаної з освоєнням менш енергоємних схем енергозабезпечення, залученням в енергетичний баланс нетрадиційних відновлюваних джерел енергії, місцевих видів палива, вторинних енергоресурсів;
- реалізації проектів і програм енергозбереження, енергозберігаючих технологій, обладнання, що відповідає світовому рівню, і т.п.

Виробничу (господарську) діяльність в області енергозбереження характеризують порівняльними показниками енергоспоживання та енергоємності виробництва продукції в звітному році в порівнянні з базовим роком в однакових умовах – при приведенні до рівних обсягів і структури виробництва продукції, а також абсолютними, питомими і відносними показниками енергоспоживання, втратами енергетичних ресурсів в ході господарської діяльності за певний проміжок часу.

Стосовно до виробів, обладнання, матеріалів, ТЕР (далі – продукція) і технологічних процесів для характеристики енергозбереження використовують показники їхньої енергетичної ефективності.

Розрізняють такі основні показники енергетичної ефективності:

- економічність споживання ТЕР (для продукції при її використанні за прямим функціональним призначенням);

- енергетична ефективність передачі (зберігання) ТЕР (для продукції і процесів);

- енергоємність виробництва продукції (для процесів).

Показники економічності енергоспоживання і енергетичної ефективності передачі (зберігання) ТЕР:

- встановлюють в нормативних документах по стандартизації на продукцію у вигляді нормативних значень, що визначаються в регламентованих умовах;

- вводять в технічну (проектну, конструкторську, технологічну, експлуатаційну) документацію на продукцію у вигляді:

- нормативів утрат (витрат) енергії (енергоносіїв), що визначаються в регламентованих умовах використання продукції;

- норм утрат (витрат) енергетичних ресурсів (енергоносіїв) для конкретних умов використання продукції (реалізації технологічного процесу).

Показники енергоємності виробництва продукції вводять в нормативну і технічну документацію на матеріали, вироби, технологічні процеси.

Нормативні показники енергетичної ефективності, що встановлюються в нормативних документах по стандартизації, розробляють на основі:

- досягнення економічно виправданої ефективності використання енергетичних ресурсів при існуючому світовому рівні розвитку техніки і технологій;

- дотримання нормативних вимог з охорони навколишнього середовища;

- використання наявного досвіду нормування показників енергоефективності та обґрунтування прийнятих значень відповідними розрахунками, експериментами, випробуваннями;

- гармонізації з міжнародними, регіональними, зарубіжними національними стандартами.

Нормативні показники енергоефективності продукції встановлюють із зазначенням вимог до допустимої зміни нормованих значень показників за період нормальної експлуатації даної продукції.

Офіційних спеціалізованих методик або нормативних документів, якими був би встановлений порядок розрахунку ефективності заходів з енергозбереження та підвищення енергетичної ефективності, до теперішнього часу не затверджено. Для здійснення даних розрахунків використовують різні методики, наведені в науковій і довідковій літературі. Для оцінки економічної ефективності заходів по енергозбереженню найчастіше користуються «Методичними рекомендаціями по оцінці ефективності інвестиційних проєктів», затвердженими Міністерством економіки України.

## 2.2 Класифікація показників енергетичної ефективності

Класифікація показників енергетичної ефективності представлена в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Класифікація показників енергетичної ефективності

Ознака	Види показників, приклади, уточнення
По групам однорідної продукції	Приклади: показники енергоефективності електродвигунів, парових турбін, холодильників
По виду використовуваних енергоресурсів (енергоносіїв)	Приклади: показники енергоефективності використання електроенергії, палива (котельно-пічне, моторне); теплової енергії (гаряча вода, водяна пара, холодоагенти); стисненого газу, води, що знаходиться під тиском; енергії фізичних полів (електромагнітне, акустичне, радіаційне) і т.п.
За методами визначення показників	<ul style="list-style-type: none"> <li>– розрахунково-аналітичний (ґрунтується на використанні методик визначення розрахункових значень показників при проектуванні виробів);</li> <li>– дослідно-експериментальний (ґрунтується на даних спеціально організованих експериментів з дослідними зразками енергоспоживаючої продукції з проведенням спеціальних вимірювань характеристик для оцінки показників енергоефективності);</li> <li>– статистичний (ґрунтується на підборі та обробці статистичних даних за показниками енергоефективності продукції, обраними в якості прототипів досліджуваного зразка);</li> <li>– приладовий (ґрунтується на проведенні спеціальних випробувань промислових зразків продукції і вимірювань фактичних значень показників);</li> <li>– змішаний (представляє собою комбінацію двох або більшого числа перерахованих вище методів)</li> </ul>
По області використання	<ul style="list-style-type: none"> <li>– прогнозовані показники;</li> <li>– плановані показники;</li> <li>– фактичні показники</li> </ul>
За рівнем інтегрованості даного об'єкту	Приклади: показники енергоефективності верстата, виробничого технологічного комплексу, системи енергопостачання підприємства, регіону і т.п.

### 2.3 Показники економічної ефективності інвестиційних проектів



Ефективність інвестиційних проектів визначається на основі системи показників:

- комерційної (фінансової) ефективності;
- бюджетної ефективності;
- економічної ефективності.

Однією зі складових комплексної оцінки ефективності проекту є визначення його соціальних і екологічних наслідків.

Комерційна (фінансова) ефективність проекту враховує фінансові наслідки реалізації проекту для її безпосередніх учасників. Вона визначається співвідношенням витрат і фінансових результатів, що забезпечують необхідний рівень прибутковості. Комерційна ефективність може розраховуватися для інвестиційного проекту в цілому або для конкретних учасників проекту з урахуванням їх внеску.

Показники ефективності проекту в цілому обчислюються за результатами інвестиційної та операційної діяльності, тобто на підставі потоку реальних грошей без урахування результатів фінансової діяльності, а показники ефективності для учасників проекту включають всі притоки і відтоки грошових коштів конкретного учасника.

Бюджетна ефективність проекту відображає вплив реалізації проекту на доходи і витрати державного, регіонального або місцевого бюджету. Головним показником бюджетної ефективності проекту є бюджетний ефект, який використовується для обґрунтування закладених в проекті заходів державної або регіональної підтримки. Для кроку  $t$  бюджетний ефект  $B(t)$  визначається як різниця між доходами  $R(t)$  і витратами  $E(t)$  відповідного бюджету:

$$B(t) = R(t) - E(t). \quad (2.1)$$

Інтегральний бюджетний ефект  $B(int)$  розраховується як перевищення інтегральних доходів бюджету  $R(int)$  над інтегральними витратами бюджету  $E(int)$ :

$$B(int) = R(int) - E(int). \quad (2.2)$$

Економічна ефективність відображає вплив процесу реалізації інвестиційного проекту на зовнішнє для проекту середовище і враховує співвідношення результатів і витрат за інвестиційним проектом, які прямо не пов'язані з фінансовими інтересами учасників проекту і можуть бути кількісно оцінені.

Показники державно-господарської ефективності визначають ефективність проекту з позицій економіки в цілому, галузі, регіону, пов'язаних з реалізацією проекту.

Вибір інвестиційного проекту, що передбачає державну підтримку, проводиться виходячи з максимального інтегрального ефекту, що враховує комерційну, бюджетну і державно-господарську економічну ефективність.

Таке виділення видів досить штучне і пов'язане з визначенням єдиного показника економічної ефективності для різних об'єктів і рівнів економічної системи: державного господарства в цілому (глобальний критерій економічної ефективності), регіонального, галузевого, рівня підприємства або конкретного інвестиційного проекту.

Ефективність інвестицій характеризується системою показників, що відображають співвідношення витрат і результатів і дозволяють судити про економічні переваги одних інвестицій над іншими.

Показники ефективності інвестицій можна класифікувати за такими ознаками [11]:

а) за видами узагальнюючого показника, який виступає в якості критерію економічної ефективності інвестицій:

1) абсолютні, в яких узагальнюючі показники визначаються як різниця між вартісними оцінками результатів і витрат, пов'язаних з реалізацією проекту;

2) відносні, в яких узагальнюючі показники виражаються відношенням вартісних оцінок результатів проекту до сукупних витрат на їх отримання;

3) часові, якими оцінюється період окупності інвестиційних витрат;

б) за методом зіставлення різночасових грошових витрат і результатів:

1) статичні, в яких грошові потоки, що виникають в різні моменти, розглядаються як рівноцінні;

2) динамічні, в яких грошові потоки, викликані реалізацією проекту, приводяться до еквівалентної основи за допомогою дисконтування і забезпечують порівнянність різночасних грошових потоків.

До статичних відносяться показники, засновані на облікових оцінках:

- термін окупності інвестицій (Payback Period, PP);
- коефіцієнт ефективності інвестиції (Accounting Rate of Return, ARR).

Динамічні методи засновані на дисконтованих оцінках. До них відносяться:

- чистий дисконтований дохід (чиста поточна вартість – Net Present Value, NPV);
- індекс рентабельності інвестиції (Profitability Index, PI);
- внутрішня норма рентабельності (Intend Rate of Return, IRR);
- модифікована внутрішня норма рентабельності (Modified Internal Rate of Return, MIRR);
- дисконтований строк окупності інвестиції (Discounted Payback Period, DPP).

Оцінка ефективності кожного інвестиційного проекту повинна враховувати:

- вплив вартості грошей у часі;
- альтернативні витрати;
- можливі зміни в параметрах проекту;

- проведення розрахунків на основі реального потоку грошових коштів, а не бухгалтерських показників;
- інфляцію;
- ризик, пов'язаний із здійсненням проекту.

## 2.4 Методи оцінки ефективності інвестиційних проектів

У розроблених інвестиційних проектах інвестор повинен представити:

- проектно-кошторисну документацію;
- позитивний експертний звіт філії ДП «Укрдержбудекспертиза» в Запорізькій області;
- економічне обґрунтування енергозберігаючого ефекту від впровадження заходу;
- період окупності енергоефективного заходу.

Розглянемо основні методи оцінки ефективності інвестиційних проектів і визначимо їх основні переваги та недоліки.

### 2.4.1 Термін окупності

Найбільш поширеним статичним показником оцінки інвестиційних проектів є термін окупності (Payback Period, PP).

Під терміном окупності проекту розуміється період від моменту початку його реалізації до того моменту експлуатації об'єкта, в який доходи від експлуатації стають рівними початковим інвестиціям (капітальних витрат та експлуатаційних витрат).

Економічний сенс показника полягає у визначенні терміну, за який інвестор може повернути інвестований капітал.

Для розрахунку терміну окупності елементи платіжного ряду підсумовуються наростаючим підсумком, формуючи сальдо накопиченого потоку, до тих пір поки сума не прийме позитивне значення. Порядковий номер

інтервалу планування, в якому сальдо накопиченого потоку стає позитивним, вказує термін окупності, виражений в інтервалах планування.

Загальна формула розрахунку показника РР має вигляд:

$$PP = \min n, \quad (2.3)$$

при якому

$$\sum_n P_k \geq I_0, \quad (2.4)$$

де  $P_k$  – величина сальдо накопиченого потоку;

$I_0$  – величина початкових інвестицій.

При отриманні дробового числа воно округляється в бік збільшення до найближчого цілого.

Критерій «термін окупності» простий і зрозумілий, однак він має суттєві недоліки. Основний недолік статичного показника полягає в тому, що він не враховує вартість грошей у часі, тобто не враховує різниці між проектами з однаковим сальдо потоку доходів, але з різним розподілом за роками.

#### 2.4.2 Коефіцієнт ефективності інвестиції

Іншим показником статичної фінансової оцінки проекту є коефіцієнт ефективності інвестиції (Accounting Rate of Return, ARR). Даний коефіцієнт називають також обліковою нормою прибутку або коефіцієнтом рентабельності проекту.

Існують різні алгоритми обчислення ARR.

Перший варіант розрахунку заснований на відношенні середньорічної величини прибутку (за мінусом відрахувань у бюджет) від реалізації проекту за період до середньої величини інвестицій:

$$ARR = \frac{P_r}{\frac{1}{2} I_{cp0}}, \quad (2.5)$$

де  $P_r$  – середньорічна величина прибутку (за мінусом відрахувань у бюджет) від реалізації проекту;

$I_{cp0}$  – середня величина початкових вкладень, якщо передбачається, що після закінчення терміну реалізації проекту всі капітальні витрати будуть списані.

Іноді показник рентабельності проекту розраховується на основі початкової величини інвестицій:

$$ARR = P_r / I_0. \quad (2.6)$$

Розрахований на основі початкового обсягу вкладень, коефіцієнт ARR може бути використаний для проектів, що створюють потік рівномірних доходів (наприклад, ануїтет) на невизначений або досить тривалий термін.

Другий варіант розрахунку заснований на відношенні середньорічної величини прибутку (за мінусом відрахувань у бюджет) від реалізації проекту за період до середньої величини інвестицій з урахуванням залишкової або ліквідаційної вартості первинних інвестицій:

$$ARR = \frac{P_r}{\frac{1}{2} (I_0 - I_f)}, \quad (2.7)$$

де  $P_r$  – середньорічна величина прибутку (за мінусом відрахувань у бюджет) від реалізації проекту;

$I_0$  – середня величина початкових вкладень;

$I_f$  – залишкова, або ліквідаційна, вартість початкових інвестицій.

Перевагою показника ефективності інвестицій є простота розрахунку. У той же час цей показник має суттєві недоліки. Він не враховує вартості грошей в часі і не передбачає дисконтування, відповідно не враховує розподілу прибутку по роках, а значить, може бути застосований тільки для оцінки короткострокових проектів з рівномірним надходженням доходів. Крім того, у зв'язку з цим неможливо оцінити ймовірні розбіжності проектів, пов'язаних з різними термінами здійснення.

Оскільки метод заснований на бухгалтерській характеристиці інвестиційного проекту – середньорічній величині прибутку, то коефіцієнт ефективності інвестицій не забезпечує кількісної оцінки приросту економічного потенціалу компанії. Проте даний коефіцієнт дає уявлення про вплив інвестицій на бухгалтерську звітність. Показники бухгалтерської звітності іноді є найважливішими для інвесторів і акціонерів при аналізі привабливості компанії.

### 2.4.3 Динамічні показники оцінки інвестиційного проекту

#### 2.4.3.1 Чистий дисконтований дохід інвестиційного проекту

Величина чистого дисконтованого доходу (Net Present Value, NPV) розраховується як різниця дисконтованих грошових потоків доходів і витрат, вироблених в процесі реалізації інвестиції за прогностичний період.

Суть критерію полягає в порівнянні поточної вартості майбутніх грошових надходжень від реалізації проекту з необхідними для цього витратами.

Застосування методу передбачає послідовне проходження наступних стадій:

- розрахунок грошового потоку інвестиційного проекту;



– вибір ставки дисконтування, яка враховує прибутковість альтернативних вкладень і ризик проекту;

– визначення чистого дисконтованого доходу.

Показник NPV для постійної норми дисконту і разової первинної інвестиції визначають за формулою:

$$NPV = -I_0 + \sum_{t=2}^r [C_t(1+i)]^{-t}, \quad (2.8)$$

де  $I_0$  – величина первинної інвестиції;

$C_t$  – грошовий потік від реалізації інвестицій в момент часу  $t$ ;

$t$  – крок розрахунку (рік, квартал, місяць і т. д.);

$i$  – ставка дисконтування.

Грошові потоки повинні розраховуватися в поточних або дефлірованих цінах. При прогнозуванні доходів по роках необхідно по можливості враховувати усі види надходжень як виробничого, так і невиробничого характеру, які можуть бути пов'язані з даним проектом. Так, якщо після закінчення періоду реалізації проекту планується надходження коштів у вигляді ліквідаційної вартості устаткування, чи вивільнення частини оборотних коштів, то вони повинні бути враховані як доходи відповідних періодів.

В основі розрахунків за цим методом лежить передумова про різну вартість грошей в часі. Процес перерахунку майбутньої вартості грошового потоку в поточну називається дисконтуванням (від англ. *discont* – зменшувати).

Ставка, за якою відбувається дисконтування, називається ставкою дисконтування (дисконту), а множник  $F = 1/(1+i)^t$  – фактором дисконтування.

Якщо проект припускає не разову інвестицію, а послідовне інвестування фінансових ресурсів протягом кількох років, то формула для розрахунку NPV має наступний вигляд:

$$NPV = \sum_{t=2}^{T_f} [I_t(1+i)]^{-t} + \sum_{t=T_f}^T [C_t(1+i)]^{-t}, \quad (2.9)$$

де  $I_t$  – грошовий потік первинних інвестицій;

$C_t$  – грошовий потік від реалізації інвестицій в момент часу  $t$ ,

$t$  – крок розрахунку (рік, квартал, місяць і т. д.);

$i$  – ставка дисконтування.

$T$  – величина розрахункового періоду.

Умови прийняття інвестиційного рішення на основі даного критерію зводяться до наступного:

- якщо  $NPV > 0$ , то проект варто прийняти;
- якщо  $NPV < 0$ , то проект приймати не слід;
- якщо  $NPV = 0$ , то прийняття проекту не принесе ні прибутку, ні збитку.

В основі даного методу закладено слідування основній цільовій установці, яку визначає інвестор, – максимізація кінцевого стану або підвищення цінності фірми.

Слідування даній цільовій установці є однією з умов порівняльної оцінки інвестицій на основі даного критерію.

Негативне значення чистої поточної вартості свідчить про недоцільність прийняття рішень щодо фінансування і реалізації проекту, оскільки якщо  $NPV < 0$ , то в разі прийняття проекту цінність компанії зменшиться, тобто власники компанії понесуть збиток, і основна цільова установка не виконується.

Позитивне значення чистої поточної вартості свідчить про доцільність прийняття рішень щодо фінансування і реалізації проекту. При порівнянні альтернативних варіантів вкладень кращим вважається варіант з найбільшою величиною  $NPV$ , оскільки якщо  $NPV > 0$ , то в разі прийняття проекту цінність компанії, а отже, і добробут її власників збільшаться. Якщо  $NPV = 0$ , то проект слід прийняти за умови, що його реалізація посилить потік доходів від раніше здійснюваних проектів вкладення капіталу.

Термін експлуатації необхідно встановити при аналізі ефективності до початку застосування методу чистого дисконтованого доходу.

При розрахунку NPV можуть використовуватися різні за роками ставки дисконтування. В даному випадку необхідно до кожного грошового потоку застосовувати індивідуальні коефіцієнти дисконтування, які будуть відповідати даному кроку розрахунку. Крім того, можлива ситуація, що проект, прийнятний при постійній дисконтній ставці, може стати неприйнятним при змінній ставці.

Показник чистого дисконтованого доходу враховує вартість грошей у часі, має чіткі критерії прийняття рішення і дозволяє вибирати проекти для цілей максимізації вартості компанії. Крім того, даний показник є абсолютним показником і має властивість адитивності, що дозволяє складати значення показника за різними проектами і використовувати сумарний показник по проектам з метою оптимізації інвестиційного портфеля, тобто справедливою є наступна рівність:

$$NPV_A + NPV_B = NPV_{A+B}. \quad (2.10)$$

При всіх його перевагах, метод має і суттєві недоліки. У зв'язку зі складністю та неоднозначністю прогнозування і формування грошового потоку від інвестицій, а також через проблему вибору ставки дисконту може виникнути загроза недооцінки ризику проекту.

#### 2.4.3.2 Індекс рентабельності інвестиційного проекту

Індекс рентабельності (прибутковості) (Profitability Index, PI) розраховується як відношення чистої поточної вартості грошового притоку до чистої поточної вартості грошового відтоку (включаючи початкові інвестиції):

$$PI = \sum_k \frac{P_k}{(1+r)^k} / I_0, \quad (2.11)$$

або

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^T [C_t \times (1+i)^{-t}]}{I_0}, \quad (2.12)$$

де  $I_0$  – інвестиції підприємства в момент часу 0;

$C_t$  – грошовий потік підприємства в момент часу  $t$ ;

$i$  – ставка дисконтування.

Індекс рентабельності є відносним показником ефективності інвестиційного проекту і характеризує рівень доходів на одиницю витрат, тобто ефективність вкладень: чим більше значення цього показника, тим вище віддача грошової одиниці, інвестованої в даний проект. Даному показнику слід віддавати перевагу при комплектуванні портфеля інвестицій з метою максимізації сумарного значення NPV.

Умови прийняття проекту за даним інвестиційним критерієм наступні:

- якщо  $PI > 1$ , то проект варто прийняти;
- якщо  $PI < 1$ , то проект варто відхилити;
- якщо  $PI = 1$ , то проект є ані прибутковим, ані збитковим.

Неважко помітити, що при оцінці проектів, які передбачають однаковий обсяг первинних інвестицій, критерій PI повністю узгоджується з критерієм NPV.

Таким чином, критерій PI є визначальним при виборі одного проекту з ряду альтернативних, що мають приблизно однакові значення NPV, але різні обсяги необхідних інвестицій.

До недоліків методу можна віднести його неоднозначність при дисконтуванні окремо грошових потоків і відтоків.

### 2.4.3.3 Внутрішня норма рентабельності інвестиційного проекту

Під внутрішньою нормою рентабельності (Internal Rate of Return, IRR), або внутрішньою нормою прибутку, інвестицій розуміють значення ставки дисконтування, при якому NPV проекту дорівнює нулю:  $IRR = i$ , при якому  $NPV = f(i) = 0$ .

Економічний зміст даного показника полягає в наступному: підприємство може приймати будь-які рішення інвестиційного характеру, рівень рентабельності яких не нижче поточного значення показника CC (ціни капіталу для даного проекту). Саме з ним порівнюється показник IRR, розрахований для конкретного проекту, при цьому зв'язок між ними такий:

- якщо  $IRR > CC$ , проект варто прийняти;
- якщо  $IRR < CC$ , проект варто відхилити;
- якщо  $IRR = CC$ , проект є ані прибутковим, ані збитковим.

До переваг цього критерію можна віднести об'єктивність, незалежність від абсолютного розміру інвестицій, інформативність. Крім того, він легко може бути пристосований для порівняння проектів з різними рівнями ризику: проекти з високим ризиком повинні мати велику внутрішню норму прибутковості. Однак у нього є і недоліки: складність розрахунків, велика залежність від точності оцінки майбутніх грошових потоків, а також неможливість використання в разі наявності декількох коренів рівняння.

Перевага методу внутрішньої норми рентабельності перед методом чистого дисконтованого доходу полягає в можливості його інтерпретування. Він характеризує нарахування відсотків на витрачений капітал (рентабельність витраченого капіталу).

Крім цього, внутрішню процентну ставку можна розглядати в якості критичної ставки для визначення абсолютної вигідності інвестиційної

альтернативи в разі, якщо застосовується метод чистої поточної вартості при недійсному припущенні про «надійні дані».

Таким чином, оцінка інвестицій за допомогою IRR заснована на визначенні максимальної величини ставки дисконтування, при якій проекти виявляться беззбитковими.

Критерії NPV, IRR і PI найбільш часто застосовуються в інвестиційному аналізі, фактично представляють собою різні версії однієї і тієї ж концепції, тому їх результати пов'язані один з одним.

Таким чином, можна очікувати виконання наступних математичних співвідношень для одного проекту:

- якщо  $NPV > 0$ , то  $IRR > CC(i)$ ;  $PI > 1$ ;
- якщо  $NPV < 0$ , то  $IRR < CC(i)$ ;  $PI < 1$ ;
- якщо  $NPV = 0$ , то  $IRR = CC(i)$ ;  $PI = 1$ .

#### 2.4.3.4 Модифікована внутрішня норма рентабельності інвестиційного проекту

Модифікована ставка прибутковості (Modified Internal Rate of Return, MIRR) дозволяє усунути істотний недолік внутрішньої ставки рентабельності проекту, який виникає в разі неодноразового відтоку грошових коштів. Прикладом такого відтоку є придбання в розстрочку або будівництво об'єкта нерухомості, що ведеться протягом декількох років.

Основна відмінність даного методу полягає в тому, що реінвестування проводиться за безризиковою ставкою, величина якої визначається на основі аналізу фінансового ринку.

На практиці це може бути дохідність строкового валютного вкладу, пропонованого банком. У кожному разі аналітик визначає величину безризикової ставки індивідуально, але, як правило, її рівень порівняно невисокий.

Таким чином, дисконтування витрат за безризиковою ставкою дає можливість розрахувати їх сумарну поточну вартість, величина якої дозволяє більш об'єктивно оцінити рівень прибутковості інвестицій і є більш коректним методом в разі прийняття інвестиційних рішень з нерелевантними грошовими потоками.

#### 2.4.3.5 Дисконтований термін окупності інвестицій

Дисконтований термін окупності інвестицій (Discounted Payback Period, DPP) усуває недолік статичного методу терміну окупності інвестицій і враховує вартість грошей у часі, а відповідна формула для розрахунку дисконтованого терміну окупності DPP має вигляд:

$$DPP = \min n, \quad (2.13)$$

при якому

$$\sum P_k \frac{1}{(1+r)^k} \geq I_0. \quad (2.14)$$

Очевидно, що в разі дисконтування термін окупності збільшується, тобто завжди  $DPP > PP$ .

При використанні критеріїв PP і DPP в оцінці інвестиційних проектів рішення можуть прийматися, виходячи з таких умов:



- проект приймається, якщо окупність має місце;
- проект приймається тільки в тому випадку, якщо термін окупності не перевищує встановленого для компанії граничного терміну.

У загальному випадку визначення періоду окупності носить допоміжний характер по відношенню до чистої поточної вартості проекту або внутрішньої норми рентабельності. Крім того, недолік такого показника, як термін окупності, полягає в тому, що він не враховує майбутній приток грошових коштів, а тому може виявитись неправильним критерієм привабливості проекту.

Ще один істотний недолік критерію «термін окупності» полягає в тому, що, на відміну від показника NPV, він не має властивості адитивності.

Іноді застосування критерію «термін окупності» може мати вирішальне значення при прийнятті рішень щодо інвестування. Зокрема, це може бути у випадку, коли інвестиції сполучені з високим ризиком: чим коротше термін окупності, тим проект краще.

Крім того, метод знайшов своє застосування і в розрахунку варіантів фінансування інвестиційних проектів. Критерії PP і DPP доцільно розраховувати для проектів, що фінансуються за рахунок довгострокових зобов'язань. Термін окупності проекту в даному випадку повинен бути менше періоду користування позиковими засобами.

В цілому можна зробити висновок, що метод чистої поточної вартості і метод внутрішньої норми рентабельності в поєднанні і з урахуванням їх плюсів і мінусів дають коректні результати при обґрунтуванні рішень про інвестування.

### **3 ПОКАЗНИКИ ТА КРИТЕРІЇ ОЦІНКИ ІНВЕСТИЦІЙНИХ ПРОЕКТІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ**

#### **3.1 Завдання оцінки ефективності інвестиційного проекту**

У поняття ефективності інвестиційного проекту зазвичай вкладають ступінь його відповідності цілям та інтересам учасників інвестування. Для того, щоб визначити цей ступінь і використовується оцінка, при цьому проект може бути оцінений одразу за двома показниками [12]:

- його ефективність в цілому - громадська (соціально-економічна) і комерційна (фінансова);
- ефективність участі в проекті - оцінка проводиться для визначення можливості бути реалізованим проектом і зацікавленості у цьому всіх учасників.

Сама оцінка проекту базується на кількох основних принципах:

- розгляд і аналіз проекту на всіх етапах життєвого циклу - від передінвестиційного етапу до завершення проекту;
- обґрунтованість прогнозів фінансових потоків для всього розрахункового періоду;
- рівнозначність умов порівняння різних проектів для вибору оптимального рішення;
- максимальна позитивність ефекту від реалізації проекту;
- облік тимчасового чинника.(фактора);
- облік майбутніх фінансових витрат і надходжень;
- облік найбільш істотних наслідків від реалізації проекту;
- врахування інтересів усіх учасників проекту;
- оцінка впливу інфляції;
- оцінка впливу ризиків реалізації.

Метою оцінки інвестиційного проекту є надання вичерпної відповіді на три основні питання:

- яка рентабельність інвестицій;
- які терміни окупності проекту;
- якими є ризики проекту.

Грамотно проведена інвестиційна оцінка проекту дозволяє:

- оцінити реальну потребу в інвестуванні та наявність необхідних для цього умов;

- вибрати оптимальні інвестиційні рішення;

- виявити чинники, здатні вплинути на фактичні підсумки інвестування і скорегувати їх дії;

- оцінити застосовувані параметри ризику і прибутковості;

- розробити заходи по інвестиційному моніторингу (відстеження).

Оцінка інвестиційної привабливості проекту необхідна компанії в наступних випадках:

- при пошуку інвесторів;

- при виборі найбільш ефективних умов кредитування та інвестування;

- при виборі умов страхування ризиків.

Найчастіше найбільш зацікавленою особою у проведенні інвестиційної оцінки є сам інвестор.

Вибір одного конкретного інвестиційного проекту в деяких випадках може себе не окупити. Нерідко виникають ситуації, в яких рішення про вибір має прийматися в умовах, коли на розгляд подаються декілька проектів. В цьому випадку оцінка застосовується:

- для визначення ефективності незалежних інвестиційних проектів, коли рішення про прийняття або відхилення одного з них не впливає на рішення про прийняття іншого;

- для визначення ефективності альтернативних або взаємовиключних проектів, коли прийняття одного проекту не впливає на рішення щодо іншого проекту.

Існують методи, які дозволяють робити висновки, розрахунки та розробки не тільки щодо можливих сценаріїв розвитку одного проекту, а й вибирати оптимальний їх набір з безлічі можливих проектів.

### 3.2 Етапи оцінки ефективності інвестиційного проекту

Оцінка ефективності інвестиційного проекту складається з декількох етапів:

Етап 1. Визначення цілей і призначення інвестиційного проекту. У загальному випадку мета інвестиційного проекту полягає у визначенні загальних інвестиційних і виробничих витрат, визначенні привабливості проекту з точки зору інвесторів, виявленні фінансової спроможності компанії, оцінці ризику інвестицій і обґрунтуванні доцільності участі в проекті інвесторів і партнерів.

Етап 2. Аналіз витрат. Цей етап складається з двох груп заходів, спрямованих на аналіз як інвестиційних витрат, так і витрат виробництва, включаючи їх розрахунок і складання кошторисів, розподіл фінансування за стадіями проекту і порівняльний аналіз рентабельності.

Етап 3. Оцінка ефективності інвестицій. У першій частині етапу проводиться розрахунок показників ефективності проекту в цілому, а в другій - аналіз ефективності участі в проекті, що включає визначення складу учасників і вибір схеми фінансування проекту. Перша частина оцінки може відображати соціальні наслідки реалізації проекту, а також його фінансові наслідки для загального і регіонального бюджетів, в тому випадку, якщо вони задіяні.

Етап 4. Формування стратегії фінансування. Підрозділяється на кілька підетапів, включаючи виявлення джерел фінансування, складу потенційних інвесторів, умов їх залучення, обґрунтування вибору схеми інвестування, виявлення наслідків його реалізації, розрахунок зведеного потоку грошей для фінансування всіх витрат за проектом. Результати оцінки інвестиційного проекту висвітлюють в бізнес-плані.

### 3.3 Показники оцінки ефективності інвестиційного проекту і методи їх розрахунку

Оцінка ефективності інвестицій дається у формі заключення на основі аналізу показників ефективності. На практиці існує кілька методів оцінки привабливості інвестиційних проектів, а значить, і кілька основних показників, що представляють собою певний набір індикаторів. У цей набір входять показники фінансової та економічної оцінки ефективності інвестицій, показники оцінки їх соціальної ефективності, показники оцінки інвестиційного потенціалу компанії і система оцінки ризиків. Кожен метод в основі має один і той же принцип - в результаті реалізації проекту компанія повинна отримати прибуток, при цьому різні показники дають можливість охарактеризувати інвестиційний проект з усіх боків і відповідають інтересам різних груп осіб, що беруть участь в інвестиції. На практиці, зазвичай, застосовується дві групи методів оцінки (статичні і динамічні), за допомогою яких і визначаються перераховані показники.

Статичні методи оцінки також називають простими або традиційними. В їх основі лежить «Типова методика визначення економічної ефективності капітальних вкладень», розроблена ще за радянських часів. Вона не втратила своєї актуальності і сьогодні, оскільки методи дуже прості у виконанні і при цьому дають можливість отримати наочну картину ефективності інвестиції, особливо на першому етапі оціночних робіт.

Термін окупності інвестицій (Payback period, PP) – це період, за який новобудова або модернізоване підприємство здатне відшкодувати вкладені в нього інвестиції за рахунок прибутку, одержуваної від його господарської діяльності, або той час, який необхідно, щоб доходи від експлуатації стали рівні початковим інвестиціям.

Економічний сенс показника полягає у визначенні терміну, за який інвестор зможе повернути вкладений капітал. Термін окупності розраховується, по формулі, при цьому необхідно знання таких показників, як величина початкових

інвестицій і щорічні або щомісячні надходження, які є результатом реалізації проекту.

При розрахунках за цим методом оперують тільки статичними даними та не дисконтованими сумами без урахування інфляції, податкового навантаження, амортизаційних відрахувань.

Коефіцієнт ефективності інвестицій (Account rate of return, ARR). У планово-централізованій економіці по всіх галузях промисловості були затверджені нормативні коефіцієнти капітальних вкладень. В умовах ринку за нього зазвичай беруть процентну ставку за довгостроковий банківський кредит. Інвестор, вкладаючи свої гроші, розраховує отримати прибуток на одну гривню інвестицій не менше, ніж становить така процентна ставка. Розрахувати ARR можна декількома способами:

- шляхом ділення середньорічного прибутку на середню величину інвестицій (у відсотках);
- шляхом ділення середньорічного прибутку на середню величину інвестицій з урахуванням залишкової або ліквідаційної їх вартості.

Статичні методи інвестиційної оцінки не позбавлені і недоліків. Головний з них в тому, що вони не враховують фактор часу, а для розрахунків беруться несумісні величини - сума інвестиції в поточній вартості і прибуток в майбутній вартості. Це істотно спотворює результати розрахунків, завищуючи терміни окупності і занижуючи коефіцієнт ефективності.

Динамічні методи – ця група методів відрізняється складністю і необхідністю враховувати велику кількість різних аспектів. Зазвичай їх використовують для оцінки інвестиційних проектів великої тривалості, що вимагають додаткових вкладень по ходу їх реалізації. При використанні динамічних методів важливою складовою є пошук ставок дисконтування, які дозволяють привести доходи і витрати до значень, наближеним до реальних. Дисконтування - це процес перерахунку майбутньої вартості грошового потоку в

поточну. При виборі ставки дисконтування потрібно враховувати інфляцію, вартість всіх джерел коштів для інвестицій і можливі показники ризиків.

Чистий дисконтований дохід (Net present value, NPV). Цей показник відображає безпосереднє збільшення капіталу компанії, тому для акціонерів він є найбільш значущим. Позитивне значення NPV є критерієм прийняття інвестиційного проекту. У тому випадку, якщо необхідно зробити вибір з кількох проектів, перевага віддається проекту з більшою величиною NPV. Величина чистого дисконтованого доходу розраховується як різниця дисконтованих грошових потоків витрат і доходів, вироблених в процесі реалізації проекту за розрахунковий період. Для розрахунку необхідно знати величину початкових інвестицій, грошовий потік від реалізації інвестицій в певний момент часу, крок розрахунку (місяць, квартал, рік) і ставку дисконтування. Негативне значення NPV говорить про недоцільність прийняття рішення про інвестування.

Індекс рентабельності інвестиції (Profitability index, PI). Під цим показником розуміють відношення поточної вартості грошового припливу до чистої поточної вартості грошового відтоку з урахуванням початкових інвестицій. У розрахунковій формулі використовуються такі значення, як інвестиції підприємств, грошовий потік підприємства в момент часу, ставка дисконтування і сальдо накопиченого потоку. Якщо при розрахунку значення PI більше одиниці, то проект слід прийняти, якщо менше - відкинути. Критерій має значення при виборі проекту з декількох з однаковими показниками NPV, але з різними обсягами необхідних вкладень.

Внутрішня норма рентабельності (Internal rate of return, IRR), або внутрішня норма прибутку інвестицій - це значення ставки дисконтування, при якому NPV проекту дорівнює нулю. Розрахунок цього коефіцієнта необхідний для того, щоб визначити максимально допустимий рівень витрат за проектом. Наприклад, якщо проект фінансується за рахунок кредиту від комерційного банку, то IRR показує верхню межу рівня банківської процентної ставки, перевищення якої робить інвестиційний проект збитковим.

Модифікована внутрішня норма рентабельності (Modified internal rate of return, MIRR) дозволяє усунути недолік внутрішньої норми рентабельності, який може виникнути в разі неодноразового відтоку грошових коштів, наприклад, при довгостроковому будівництві об'єкта нерухомості. Реінвестування в цьому випадку проводиться за безризиковою ставкою, величина якої може бути визначена на основі аналізу ринку.

Дисконтований термін окупності інвестиції (Discounted payback period, DPP) не має недоліків статичного методу розрахунку терміну окупності, оскільки враховує вартість грошей у часі. У разі дисконтування термін окупності збільшується і проект, прийнятний за критерієм РР, може бути неприйнятним по DPP. Визначення періоду окупності носить допоміжний характер щодо внутрішньої форми рентабельності або чистої поточної вартості.

На практиці нерідко трапляється, що через відсутність достатнього досвіду внутрішні фахівці губляться у виборі методик і програмного забезпечення для розрахунку ефективності інвестиційного проекту, неправильно вибирають набір показників, пріоритети і самі об'єкти оцінки. В результаті висновки не завжди враховують інтереси всіх учасників проекту і часом є суб'єктивними. У деяких випадках для об'єктивної картини може знадобитися додатковий розрахунок аналогічних показників із залученням незалежних експертів, де можна замовити послугу оцінки інвестиційного проекту. У ситуаціях, коли підприємство втрачає позиції на ринку, а прибуток скорочується, відбуваються зміни в складі акціонерів, має бути приватизація та інші доленосні події, необхідно знайти можливості для реалізації потенціалу фірми. Крім того, вищому керівництву компанії слід сформулювати нові ідеї, завдяки яким вона зможе не тільки продовжити сталий розвиток, а й конкурувати з іншими учасниками ринку. Зазвичай за всім цим стоїть або цьому сприяє реалізація інвестиційних проектів, які вимагають об'єктивної і неупередженої оцінки активів.



### 3.4 Критерії оцінки ефективності інвестиційного проекту в енергозбереженні

Основним критерієм оцінки енергозбереження інвестиційних проектів є підвищення цінності підприємства, факторами якого виступає зростання доходів, зниження виробництва або фінансового ризику, підвищення рівня ефективності діяльності підприємства в результаті прийняття правильних рішень.

Іншим же менш важливим критерієм оцінки інвестиційних проектів є оцінка його ефективності, яка включає два основних аспекти - фінансовий і економічний. Завдання фінансової оцінки - встановити достатність фінансових ресурсів підприємства для реалізації проекту у встановлений термін, виконання всіх фінансових зобов'язань.

Оцінка економічної ефективності полягає у визначенні потенційної здатності інвестиційного проекту зберегти купівельну цінність вкладених коштів і забезпечити достатній темп їх приросту.

Серед існуючих у вітчизняній практиці методів оцінки ефективності інвестиційних проектів можна виділити: статичні і динамічні. Статичні методи прості у використанні, але недостатньо точні і придатні для прийняття рішення по невеликих інвестиційних вкладеннях, переважно для малих підприємств, що не володіють тимчасовими і фінансовими можливостями для проведення складних розрахунків. У вітчизняній практиці традиційно для розрахунків ефективності капіталоутворюючих інвестицій використовуються чотири показники [12]:

а) порівняльна ефективність при обмеженій кількості варіантів капітальних вкладень:

$$E_c = \frac{C_1 - C_2}{K_2 - K_1}, \quad (3.1)$$

де  $C_1$  і  $C_2$  – поточні витрати (собівартість) по першому і другому варіантах відповідно;

$K_1$  і  $K_2$  – капітальні вкладення по першому і другому варіантах, відповідно;

б) наведені витрати:

$$Z_{\text{пр}} = C_i + E_H \cdot K_i, \quad (3.2)$$

де  $C_i$  – поточні витрати (собівартість) за  $i$ -тим варіантом ;

$K_i$  – капітальні вкладення за  $i$ -тим варіантом;

$E_H$  – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень.

Вибираємо варіант з мінімальною величиною наведених витрат.

в) термін окупності капітальних вкладень:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{C_2 - C_1}, \quad (3.3)$$

де  $K$  – капітальні вкладення;

$C_1, C_2$  – собівартість продукції до здійснення капітальних вкладень і після, відповідно;

г) загальна економічна ефективність капітальних вкладень:

$$E_{\text{ф.заг}} = \frac{\Pi}{K}, \quad (3.4)$$

де  $\Pi$  – річний прибуток;

$K$  – капітальні вкладення.

Розрахунки показників ефективності капітальних вкладень статичними методами мають ряд суттєвих недоліків:

– відсутність обліку рівномірності вкладення коштів і отримання результатів;

- орієнтація розрахунку основних показників на один рік, що знижує її достовірність;
- застосування нормативного коефіцієнта ефективності капітальних вкладень, орієнтованого на середні оцінки їх прибутковості незалежно від конкретних умов інвестування;
- відсутність обліку інфляції;
- відсутність обліку ризику і невизначеності в здійсненні вкладень.

### 3.5 Критерії оцінки ефективності інвестиційного проекту в теплогенеруючих установках

Рівень втрат в теплових мережах досягає від 20 до 35 %, що майже в 4 рази більше, ніж в Європі. Близько 30 % жителів багатоквартирних будинків скаржаться на брак тепла. Щоб вирішити ці проблеми потрібні значні кошти. Єдина можливість по нормальному розвитку галузі в сучасних умовах є залучення приватних інвестицій. Для цього потрібен перехід на сучасну модель ринку, вільну від регулювання і прозору для інвесторів. У разі успішного залучення інвестицій, основні фонди компаній, що функціонують на ринку теплоенергетики, безсумнівно, піддадуться суттєвому оновленню та множенню.

Чинний принцип формування цін на теплову енергію (підвищення без підстав) не створює необхідних економічних стимулів до модернізації і не дозволяє здійснювати довгострокове планування в сфері інвестицій.

Тому для зміни цього принципу необхідно:

- провести порівняння економічних характеристик і критеріїв енергоефективності на прикладі дослідження теплогенеруючих підприємств;
- видати рекомендації щодо удосконалення ефективного використання обладнання та ресурсів.

Зрозуміло, обґрунтоване збільшення тарифів на енергоресурси дозволить не тільки отримувати гарний прибуток і легко покривати витрати компаній, але і залучити інвесторів, для яких в першу чергу, важливим є швидка окупність проектів і їх висока прибутковість при низьких ризиках. Очевидно, що не маючи прозорих правил гри, інвестор навряд чи прийде в галузь, де до всього іншого склалася неоднозначна ситуація з системою теплопостачання. У деяких регіонах рівень цін на теплову енергію в рази перевищив рівень цін на тепло при його виробництві від альтернативної котельні (стандартної, що працює на вугіллі), і в даному випадку варіант використання методу альтернативної котельні виглядає вельми привабливо.

Основні вимоги для отримання інвестицій:

- ефективне управління компанією і сильна команда менеджерів, які будуть розділяти ваші інтереси.
- це вироблений компанією продукт або надані послуги, що мають конкурентні переваги в порівнянні з подібними іншими продуктами або послугами на даному ринку.
- компанія повинна охоплювати досить великий сектор ринку, який недоотримав або взагалі не отримав такого роду продуктів або послуг.
- відсутність очевидних чи очікуваних в найближчому майбутньому законодавчих перешкод.
- чіткий план розвитку компанії і зовсім зрозуміла стратегія того, як ви будете через певний час продавати свою інвестиційну позицію, яка природно в кілька разів перевищує початкові вкладення.

До простих статичних критеріїв ефективності інвестиційних проектів відносяться термін окупності і проста норма прибутку.

#### **4 ХАРАКТЕРИСТИКА ТА ОСОБЛИВОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕНЕРГОГЕНЕРУЮЧИХ УСТАНОВОК ТА УСТАТКУВАННЯ**

#### 4.1 Котли водогрійні та парові, особливості їх експлуатації

Котли – конструктивно об'єднані в один комплекс установки для одержання пари чи для нагріву води під тиском [13].

Котли бувають здебільшого двох видів: парові та водогрійні, але є випадки, коли крім цих існують також котли пароводогрійні, в яких можливо отримати одноразово чи багаторазово пару та гарячу воду. Однак цей вид котлів застосовується рідко. Широке використання в промисловості знайшли котли – утилізатори, в яких в якості джерела тепла використовують теплові відходи теплотехнологічних процесів, які називаються другорядними енергоресурсами. Іноді, в котлах, замість води і водяної пари, використовують високотемпературні органічні теплоносії.

В теперішній час, виробляють котли різної потужності та різного призначення, від малопотужних, для обігріву приватного сектору чи квартири, до потужних котлів, які використовуються на державних та приватних підприємствах. Зараз основною метою кожного виробника є виробництво котлів з високим ККД та малою витратою палива, так як всі паливні ресурси дорого коштують, людство вимушено шукати більш економічні, енергоефективні та недорогі установки.

Парові котли використовуються тільки на підприємствах, на яких пара є одним із складових технологічного процесу, наприклад в нафтопереробній, хімічній промисловості, виробництві будівельних матеріалів, тощо. Парові котли найбільш небезпечні з точки зору експлуатації, так як вони працюють під високим тиском (до 25 МПа), високою температурою та іншими підвищеними параметрами .

Водогрійні котли на відміну від парових, широко використовуються в житловому і комунальному теплопостачанні, для обігрівання житла, гарячого водопостачання комунальних установ та ін. На відміну від парових, водогрійні

котли більш безпечні. Водогрійні котли використовуються для централізованого теплопостачання в діапазоні від 39 МВт до 209 МВт. Вони забезпечують температуру на виході із котла відповідну температурному графіку житлових мереж при тиску до 3 МПа.

Водогрійні котли для централізованого опалення випускаються як водотрубні, так й газотрубні. Усі котли забезпечуються насосами для організації примусової циркуляції теплоносія по мережах.

Водогрійні котли типу КВ-ТС, КВ-ТСВ, КВ-ГМ, теплопродуктивністю до 34,9 МВт (30 Гкал/г) працюють під тиском води до 2,5 МПа, яка нагрівається до 200 °С і призначені для теплових навантажень побутових користувачів. Паливом для КВ-ТС є кам'яне вугілля, теплотвірною здатністю 22500 КДж/кг, для котлів КВ-ТСВ – буре вугілля з теплотою згоряння 15900 КДж/кг. Уніфікаційна енергія горизонтальних, водотрубних, прямоточних котлів КВ-ГМ є примусовою циркуляцією, яка спроектована для роботи на мазуті і природному газі.

Основним і самим поширеним типом котлів, які використовують в комунальній енергетиці є котел НИИСТУ-5, він випускався до 1990 року. В експлуатації їх знаходиться велика кількість, більш ніж 15000 одиниць по всій Україні.

З метою економії палива при виробництві тепла в котельних слід враховувати експертні оцінки енергоефективності відповідних заходів (додаток Б).

#### 4.2 Циркуляційні насоси та принципи їх підбору для опалення окремих будівель

Циркуляційні насоси для опалення окремих будівель є важливими елементами системи опалення з комбінованою або штучною циркуляцією

охолоджуючої рідини. Від правильного підбору обладнання залежить довговічність і продуктивність роботи всієї системи.

#### 4.2.1 Розрахунок основних характеристик насосів

Основними технічними параметрами насосів є продуктивність (витрата) і напор. Саме через ці важливі чинники забезпечується необхідна циркуляція теплоносія у системі опалення приміщень. Показники продуктивності і напору електронасоса безпосередньо впливають на кількість тепла в системі. Якщо в системі встановлений насос з більш високими показниками, то в приміщенні, відповідно тепліше, а якщо з низькими – холодніше. Точні розрахунки теплоносіїв є дуже складними і трудомісткими [14]. Найчастіше розрахунок характеристик, по яким вибирають циркулюючі насоси для опалення будинків, проводиться за допомогою усереднених коефіцієнтів і спрощених формул. Для теплових мереж з бойлером, всі отримані значення необхідно збільшити на 10 %.

#### 4.2.2 Розрахунок продуктивності устаткування

По-перше розрахуємо, яка кількість теплоносія проходить через котел за хвилину [14-16]. Виробники котлів, в більшості, рекомендують використання методу простого розрахунку: прирівняти потужність котла витратам води. При потужності 30 кВт за хвилину через котел проходить 30 літрів теплоносія. Підрахунок споживання охолоджуючої рідини по відношенню до певної ділянки циркуляції, здійснюється таким же чином: відомо, що потужність радіаторів,

перебуває в межах від 100 Вт до 150 Вт, відповідно до цього обчислюється водоспоживання.

Далі обчислюються витрати теплоносія в трубопроводі у відповідності до діаметру труби, з якого він побудований (див. табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Вплив діаметру труби на споживанні води

Діаметр труби, дюймів	Споживання води, л/хв
$\frac{1}{2}$	5,7
$\frac{3}{4}$	15
1	30
$1 \frac{1}{4}$	53
$1 \frac{1}{2}$	83
2	170
$2 \frac{1}{2}$	320

Швидкість потоку теплоносія прийнята за 1,5 м/с. Як правило, це достатня швидкість теплоносія в системах опалення.

Обчислюється потужність насоса для опалення із розрахунку, що на 10 м відрізок трубопроводу потребує напору 0,6 м. Відповідно для 100 м опалювальної системи потрібен насос, який створює напір 6 м. Виходячи з отриманих результатів підбирається потрібний насос.

Необхідну потужність циркуляційних насосів для опалення будівель, розраховують за формулою:

$$G = \frac{Q}{1,16 \cdot \Delta t}, \quad (4.1)$$

де  $Q$  – потужність системи опалення, яка необхідна для обігріву приміщень, Вт;

1,16 – індикатор, який враховує питому теплоємність води. Якщо теплоносієм не вода, а інша рідина, то параметр змінюється. Якщо вибрано антифриз чи олива, то індикатор може бути визначений за допомогою відповідних довідників;



$\Delta t$  – характеризує усереднене значення різниці температур в трубопроводі на подачі і використаної («зворотньої»). Для контуру з радіаторами  $\Delta t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , з конвектором  $\Delta t = 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , для теплої підлоги  $\Delta t = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Загальна потужність контуру дорівнює:

$$Q = k \cdot S, \quad (4.2)$$

де  $k$  – показник втрат тепла приміщення площею  $S = 1\text{ м}^2$  з висотою стелі не більш ніж 3 м. Якщо приміщення утеплено, то  $k = 0,1\text{ кВт}$ , якщо будівля має погане утеплення, або не утеплено взагалі, то  $k = 0,15\text{ кВт}$ ;

$S$  – площа утепленого приміщення.

Наприклад, як правильно вибрати продуктивність циркуляційного насоса для мережі з бойлером. Площа будівлі складає  $120\text{ м}^2$ . Обігрів неутепленого приміщення проводиться за рахунок радіаторів.

$$Q = 0,15 \cdot 120 = 18\text{ кВт} = 18000\text{ Вт},$$

$$G = \frac{18000}{1,16 \cdot 20} = 776\text{ кг/год.}$$

Перевести отримане значення в  $\text{м}^3$  за годину, поділивши його на конкретну питому щільність теплоносія. В даному випадку для гарячої води  $\rho = 972\text{ кг/м}^3$ .

$$G = \frac{776}{972} = 0,798\text{ м}^3/\text{год.}$$

Збільшення продуктивності для мереж з бойлером:

$$G = 0,798 \cdot 1,1 = 0,878\text{ м}^3/\text{год.}$$

### 4.2.3 Розрахунок напору системи

Напір води для опалювальної системи [14, 15]:

$$N = \frac{L \cdot R \cdot F}{\rho \cdot g}, \quad (4.3)$$

де  $L$  – загальна довжина труби тепло системи, м;

$R$  – специфічний питомий гідроопір контуру: стандартне значення  $R = 150$  Па/м;

$F$  – опір, який створюють водозапорні і сполучні елементи системи. Для кожного елемента сполучних труб  $F = 1,3$  Па; для трьохходових сполучень  $F = 1,2$  Па; для ділянок, що включають регулятори,  $F = 1,7$  Па;

$\rho$  – густина теплоносія (охолоджуючої рідини),  $\rho = 972$  кг/м<sup>3</sup>;

$g$  – прискорення вільного падіння,  $g = 9,8$  м/с<sup>2</sup>.

Розглянемо питання щодо підбору циркуляційного насоса для котелен та визначення необхідного напору теплоносія. Припустимо, що контур довжиною 120 м оснащений теплорегулюючим регулятором. Тоді

$$N = \frac{120 \cdot 150 \cdot 1,7}{972 \cdot 9,8} = 3,21 \text{ м. вод. ст.}$$

Значення збільшимо на 10 %:

$$N = 3,21 \cdot 1,1 = 3,53 \text{ м. вод. ст.}$$

Таким чином, циркуляційний насос має забезпечити напір  $N = 3,53$  м. вод. ст.

#### 4.2.4. Вибір електронасосної установки

Якщо розрахувати потрібні параметри, то можна підібрати циркуляційні насоси для обігріву окремо розташованих будівель. У кожній електронасосної установки є основні параметри. Зазвичай вони наведені у паспорті або інструкції до насосу. Залежність технічних характеристик насоса один від одного відображається кривою. При цьому, на одній осі відкладається напір, який визначається в метрах вод.ст., а на іншій – подача ( $\text{м}^3/\text{год}$ ,  $\text{л}/\text{год}$ ,  $\text{л}/\text{с}$ ) (див. рис. 4.1).

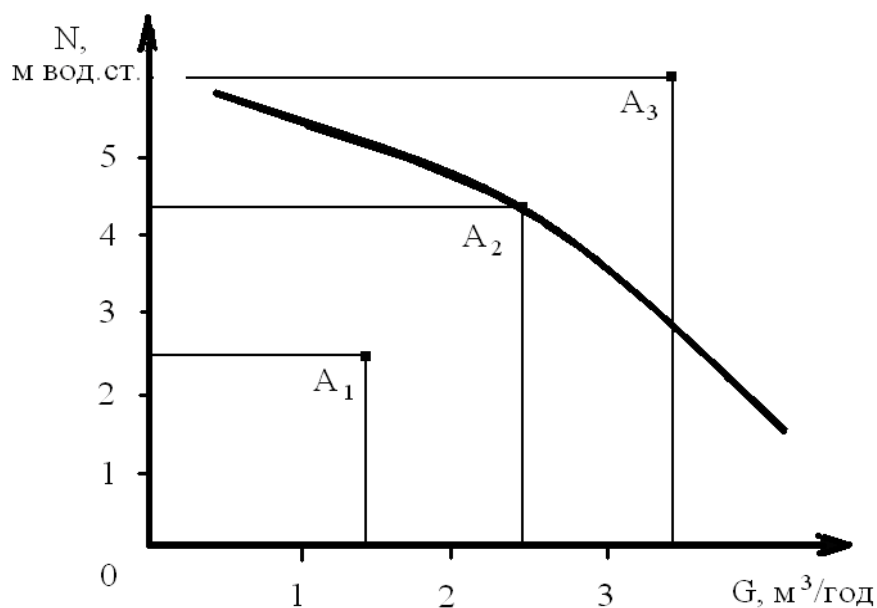


Рисунок 4.1 – Характеристика продуктивності циркуляційного насосу в залежності від напору.

На відповідних осях визначаємо значення отримані при обчисленнях. У той же час:

а) якщо точка перетину цих значень розташована над кривою (випадок  $A_3$ ), то насос не зможе забезпечити продуктивності системи;

б) якщо точка трохи нижче кривої В або лежить на ній (випадок  $A_2$ ), насос забезпечить продуктивність системи;

в) якщо точка значно нижче кривої, як у випадку з  $A_1$ , насос матиме надлишок продуктивності. Він забезпечить роботу системи, але потребуватиме значно більших фінансових витрат, ніж моделі з меншою продуктивністю;

г) якщо насос, призначений для багаторежимної роботи (мульти-режим), то графік буде складатися з декількох кривих. Вибір насоса буде здійснюватися за одною з кривих, що забезпечить потрібну швидкість теплоносія.

Рекомендовано вибирати циркуляційні насоси для системи опалення окремих будівель, у яких характеристики перебувають дуже близько до розрахункових.

#### 4.2.5 Додаткові фактори для вибора насосів

При виборі насосів необхідно також враховувати:

а) Зовнішня температура при експлуатації обладнання відіграє важливу роль у продуктивності системи. Якщо насос буде встановлений після опалювального котла, то його максимальна експлуатаційна температура має бути вище, ніж  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Якщо насос встановлено на зворотній трубі, то слід звернути увагу на нижню границю допустимих температур. Якщо насос буде експлуатуватися при мінусових температурах, може відбутися заморожування його елементів, що негативно позначитися на його продуктивності і довговічності.

б) Чим більше перетин труб, тим більшу потужність повинен мати насос.

## 5 ВИДИ ПАЛИВ ТА ЇХ ХАРАКТЕРИСТИКИ

### 5.1 Види спалювання твердого палива

Топочний устрій (топка) є основним елементом котлового агрегату, призначений для спалювання палива з метою можливо більшою температурою. В той же час топка укомплектована теплообмінним пристроєм, в якому проходить тепловіддача випромінюванням із зони горіння на більш холодні оточуючі поверхні нагріву котла, а також пристрій для вловлювання і видалення деякої частини залишків палива, утворених при спалюванні твердого палива [13].

По способу спалювання палива топочні устрої поділяються на шарові і камерні. В шарових топках здійснюється спалювання твердого кускового палива в шарі, в камерних топках – газоподібного, рідкого і пиловидного палива - в зваженому стані.

Сучасні котли, як правило, використовують три основних способи спалювання палива: шаровий, факельний і вихровий.

Шарові топки, топки в яких проводиться шарове спалювання кускового твердого палива, кожна топка призначена для спалювання визначеного виду палива. Конструкції та обслуговування топок різноманітні, і кожна з них відповідає призначеному способу спалювання. Від розмірів і конструкції топки залежать продуктивність та економічність котельної установки. В залежності від способу подачі палива і організації обслуговування шарові топки поділяються на ручні, напівмеханізовані і механізовані.

Факельні (камерні) топки, використовуються для спалювання твердого, рідкого і газоподібного палива. При цьому тверде паливо повинно бути попередньо розмелене в порошок, рідке паливо – розпилене на дрібні частини в мазутних форсунках, газоподібне паливо не потребує попередньої підготовки.

Факельний метод дозволяє з високою надійністю і економічністю використовувати різні низькосортні види палива. Щоб паливо давало високу

температуру і згоряло без залишку, його потрібно, попередньо до початку спалювання, частково або цілком перемішувати з підігрітим киснем повітря. Така паливо-повітряна суміш горить швидше і теплова напруженість факелу в цьому випадку більша.

Водогрійні котли в теперішній час використовують з, так званим, верхнім згорянням твердого палива. В сучасній літературі, на різних виставках по ефективному використанні палива ці котли широко рекламуються, так, як їх ККД підвищується до 95 %.

Твердопаливні котли верхнього довготривалого горіння є альтернативою рідинному і газовому опаленню. Ці котли практичні і прості в використанні, мають великий термін експлуатації. За параметрами екологічності і економічності, за рахунок низької потреби палива, котли даного виду є найзручнішими серед твердопаливних котлів.

Основним принципом їх роботи є збільшений час згоряння палива, яке горить не інтенсивно і тим самим отримане тепло не виноситься в димову трубу разом з димом, а тліє. Таким чином таж сама кількість тепла утримується за більш довгий час і відхідні димові гази майже повністю віддають своє тепло для нагріву теплоносія.

## 5.2 Види палив, що використовуються в Запорізькій області

Паливо – горюча речовина, яку економічно та доцільно використовувати для отримання значної кількості тепла.

Палива бувають органічні і ядерні. За агрегатним станом розподіляються на тверді, рідкі, та газоподібні. При спалюванні органічного палива тепло виділяється в результаті сполучення горючих елементів палива з киснем. Ядерне паливо через реакції ділення атомних ядер деяких ізотопів важких елементів

урана ( $U^{235}$ ,  $U^{233}$ ) та плутонія ( $Pu^{239}$ ) виділяє більше тепла ніж кращі органічні палива.

Палива, за походженням, ділять на природні та штучні. До природних твердих палив відносяться антрацит, кам'яне та буре вугілля, торф, горючі сланці, дерево. До штучного палива – кокс, деревне вугілля, відходи збагачення мінералів та сільськогосподарської діяльності.

Природним рідким паливом є нафта. До штучних рідких палив відносяться продукти переробки нафти: бензин, керосин, дизельне паливо, мазут та інші. До рідких палив також можна віднести спирт, але на сучасному рівні таке паливо використовується рідко.

Природне газоподібне паливо – це природний та супутний нафтові газ, штучне - генераторні, доменні, газу сухої переробки вугілля, побічні газу, та інші.

### 5.3 Склад палива та його технічні характеристики

До складу органічного палива входять різні з'єднання горючих та негорючих елементів. Тверде та рідке паливо містять такі паливні речовини, як вуглець  $C$ , водень  $H_2$ , летучу сірку  $S_{л}$ , та негорючі речовини – кисень  $O_2$ , азот  $N_2$ , золу  $A$  та вологу  $W$  [13].

Найважливішими технічними характеристиками палива є теплота згоряння [17]. Теплота згоряння - кількість теплоти, що виділена при повному спалюванні палива. Для порівняльних розрахунків при використанні різних палив використовується поняття «умовне паливо». Це паливо, теплота згорання якого прийнята рівною 29,35 МДж/кг (7000 Ккал/кг). Теплота згорання поділяється на вищу ( $Q_B$ ) та нижчу ( $Q_H$ ). Вища теплота згоряння ( $Q_B$ ) виділяється внаслідок спалювання 1 кг твердого, рідкого, чи 1 м<sup>3</sup> газоподібного палива при перетворенні водяної пари, яка міститься в рідині продуктів згоряння. Нижча теплота згоряння

палива  $Q_h$  менше вищої на величину теплоти пароутворення води. Зв'язок між вищою і нижчою теплотою згорання для твердого і рідкого палива визначається співвідношенням:

$$Q_h^p = Q_b^p - r \cdot (9 \cdot H^p + W^p) = Q_b^p - 226 \cdot H^p - 25 \cdot W^p, \quad (5.1)$$

де  $r = 25,4$  кДж/кг – скрита теплота пароутворення води;

$H^p$ ,  $W^p$  – водень та волога, які містяться в паливі.

## 5.4 Види та характеристики органічного палива

### 5.4.1 Тверде паливо

Характеристики найбільш розповсюджених видів твердого палива.

Буре вугілля, відрізняється великим виходом летючих речовин ( $V^p = 40 \dots 60 \%$ ), високою зольністю ( $A^p = 15 \dots 30 \%$ ) та вологістю ( $W^p = 30 \dots 40 \%$ ), теплота згорання невисока ( $Q_h^p = 10 \dots 17$  МДж/кг) [13,18].

Кам'яне вугілля за складом і властивостями буває різне. Воно має високу зольність ( $A^p = 5 \dots 25 \%$ ) та вологість ( $W^p = 5 \dots 10 \%$ ), при широкому діапазоні виходу летючих речовин ( $V^p = 10 \dots 40 \%$ ). Теплота згорання ( $Q_u^p = 23 \dots 27$  МДж/кг).

Антрацити відрізняються від інших твердих палив щільною структурою, високим вмістом вуглецю ( $C^r = 93 \dots 96 \%$ ), малим виходом летючих речовин ( $V^r = 3 \dots 5 \%$ ), малою зольністю ( $A^p = 13 \dots 17 \%$ ) та вологістю ( $W^p = 5 \dots 7 \%$ ), високою теплотою згорання ( $Q_h^p = 30 \dots 35$  МДж/кг).

Горючі сланці характеризуються великою зольністю ( $A^p = 50 \dots 60 \%$ ), високим виходом летючих речовин ( $V^r = 80 \dots 90 \%$ ), вологість їх невелика ( $W^p = 15 \dots 20 \%$ ). Вони мають саму низьку для твердих палив теплоту згорання ( $Q_h^p = 5,7 \dots 10$  МДж/кг).



Дрова відрізняються дуже малою зольністю ( $A^0 < 1 \%$ ): великим виходом летючих речовин ( $V^r = 85 \%$ ), значною вологістю деревини ( $W^p = 40 \dots 60 \%$ ), яка визначає низьку теплоту згорання ( $Q^p_h = 10 \dots 12$  МДж/кг).

Торф – наймолодший вид твердого органічного палива. Він має високий вихід летючих речовин ( $V^r = 70 \%$ ), високу вологість ( $W^p = 30 \dots 50 \%$ ), малий вміст золи ( $A^p = 5 \dots 10 \%$ ). Теплота згорання торфу невелика ( $Q^p_h = 10 \dots 13$  МДж/кг).

Окрім традиційних видів твердого палива останнім часом з'явилися нетрадиційні види твердого палива, такі як пелети, окатиші, брикети та ін.

ПП «Моноліт Комплекс» пропонує на ринку паливні брикети «Моноліт», які складаються на 60 % з торфа, на 10 % з бурого вугілля, на 10 % з відсіву деревного вугілля, на 20 % з коксо-вугільного наповнювача. Такий склад підвищує температуру та час горіння палива, зменшує зольність та вологість палива, середня теплота згорання для такого палива складає  $Q^p_h = 23,04$  МДж/кг (5500 ккал/кг).

ООО «ЭКО-Топливо» пропонує на ринку біопаливо нового покоління – окатиші (брикети), із лігніна гідролізного, їх зольність 0,12 %, теплота згорання 500 КДж/кг.

ПП «Пелет-Стандарт» виробляє та пропонує на ринку біопелети з гідролізного лігніна, зольність яких від 0,1 % до 0,12 %, теплота згорання від 500 кДж/кг до 700 кДж/кг. Пелети використовують для спалювання в пелетних котлах.

#### 5.4.2 Рідке паливо

Природне рідке паливо – нафта, одночасно є основним джерелом отримання штучних рідких палив, таких як бензин, керосин, дизельне паливо, та

різні види мазутів. Основним паливом для житлово-комунального та промислового господарства є мазут. Мазут є цінним паливом. Він характеризується високою теплотою згоряння. ( $Q^p_n = 40 \dots 42$  МДж/кг), але за умов високої вартості на теперішній час, він використовується як резервне паливо. Основними характеристиками мазутів є висока в'язкість, температура застигання та спалаху, вміст золи до 0,14 %, визначна схильність палива до пароутворення.

#### 5.4.3 Газоподібне паливо

Природний газ являє собою суміш вуглецю, з різними газами та утворенням метану  $CH_4 = 90 \dots 98$  %, двоокис вуглецю  $CO_2 = 0,1 \dots 0,2$  %. До складу газоподібного палива входить азот  $N_2 = 1,2 \dots 1,5$  % та інші гази. В нафтових газах вміст метану менше 50...85 %, але більше важких вуглеводнів  $C_mH_n$ . Теплота згоряння природних газів  $Q^p_n = 35 \dots 37$  МДж/кг.

Окрім природного газоподібного палива є штучні газоподібні палива, такі як генераторний та доменний гази.

Генераторний газ одержують газифікацією різних твердих палив за допомогою кисню чи водяної пари, що вводиться з повітрям, в цьому газі міститься переважно окис вуглецю  $CO = 28 \dots 30$  %,  $H_2 = 13 \dots 50$  %. Теплота спалювання генераторного газу невелика:  $Q^p_n = 5 \dots 7$  МДж/м<sup>3</sup>.

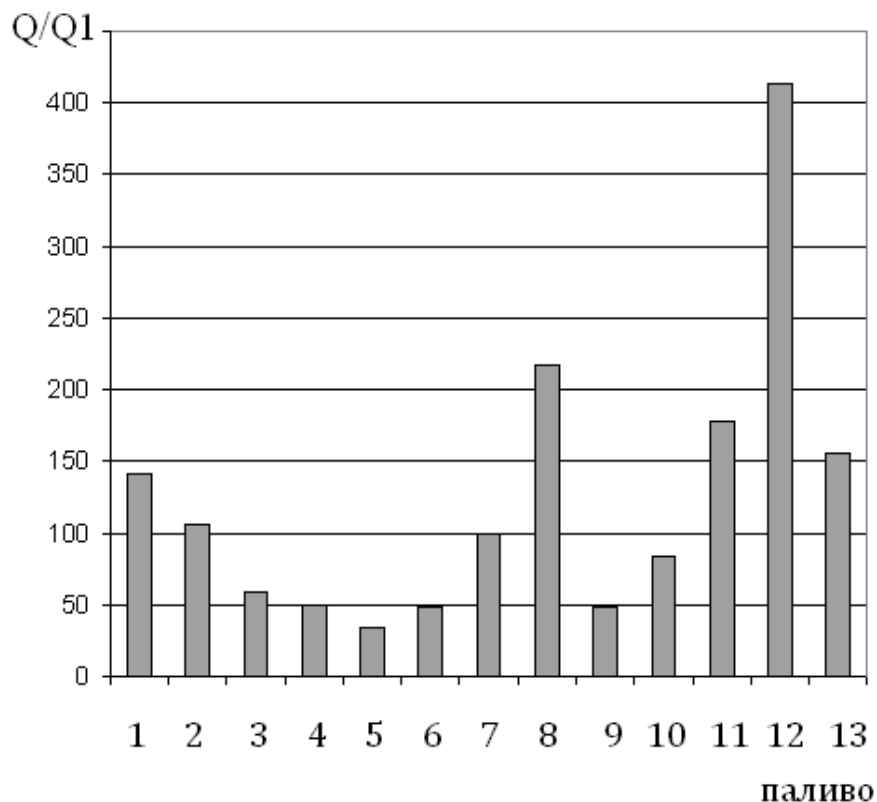
Доменний газ отримують при виплавленні чавуну в доменних печах, основний паливний компонент доменного газу –  $CO = 28 \dots 30$  %, теплота згоряння доменних газів невисока:  $Q^p_n = 3 \dots 4$  МДж/м<sup>3</sup>.

Рідкі вуглеводневі гази являють собою суміш вуглеводнів: бутан  $C_4H_{10}$ , пропан  $C_3H_8$ , пропилен  $C_3H_6$ , які при нормальному тиску від 1 МПа до 1,5 МПа знаходяться в рідкому стані, теплота згоряння рідких газів  $Q^p_n = 95$  МДж/м<sup>3</sup>.

Таблиця 5.1 – Зведена таблиця параметрів палива на 2014 рік

№ п/п	Паливо	Середня теплота зг., ккал/кг	Q, МДж/кг	Ціна, грн/т	Q/Q1	Гкал, кг палива	Коефіцієнт перерахунку	Умовне паливо, кг 1 Гкал	Вартість 1 Гкал, грн.
1	Антрацит	7800	32,6	3850	141,5	128,5	0,876	112,6	494,8
2	Кам'яне вугілля	6800	24,5	2250	106,4	171,0	0,81	138,5	384,8
3	Буре вугілля	4300	13,5	2000	58,6	310,4	0,398	123,5	620,7
4	Торф	3800	11,5	1800	49,9	364,3	0,41	149,4	655,8
5	Горючі сланці	2010	8	350	34,7	523,8	0,3	157,1	183,3
6	Дрова (куб)	2600	11	400	47,8	380,9	0,266	101,3	152,4
7	ТБ Моноліт	5500	23,04	2300	100,0	181,9	0,367	66,7	418,3
8	ООО Еко-топливо	11950	50	1650	217,1	83,8	0,3	25,1	138,3
9	Деревні пелети	3440	11	1450	47,8	380,9	0,296	112,7	552,3
10	ПП "Пелет-Стандарт"	4840	19	1650	82,5	220,5	0,6	132,3	363,9
11	Мазута марки М	9795	41	7391	178,0	102,2	1,37	140,0	755,3
12	Скrapлений газ (тон)	6220	95	19700	412,4	44,1	1,57	69,2	868,9
13	Газ природний (куб)	7740	36	7475	156,3	116,4	1,14	132,7	870,0

На рисунку 5.1 представлена залежність теплотворної здатності палива  $Q$  від кількості тепла  $Q_1$ , яке необхідне при нагріванні води від  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $75\text{ }^{\circ}\text{C}$  для різних видів палива. Величина  $Q_1$  складає  $230,34\text{ кДж/кг}$ .

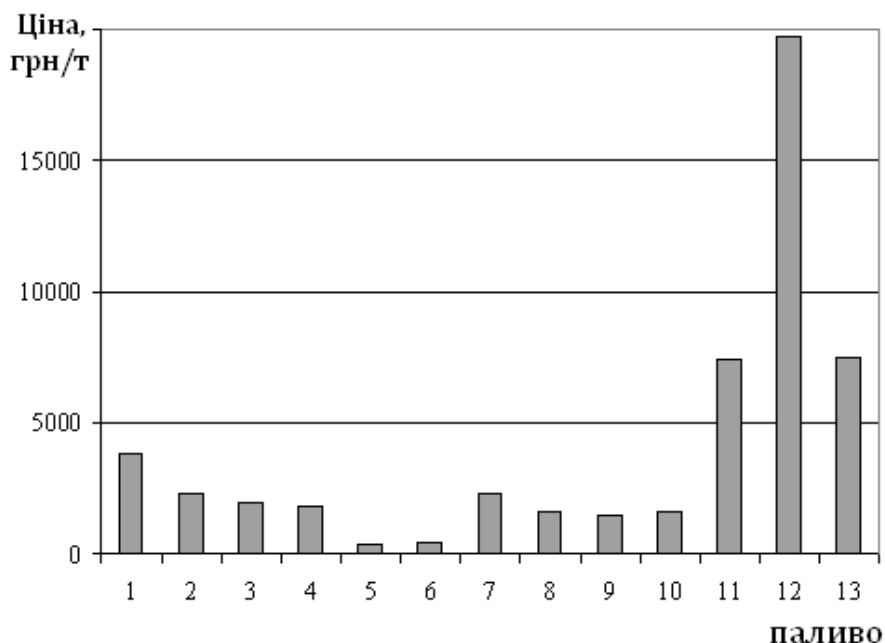


1 – антрацит; 2 – кам'яне вугілля; 3 – буре вугілля; 4 – торф; 5 – горючі сланці; 6 – дрова, м куб; 7 – брикети виробництва «ТБ Моноліт»; 8 – брикети виробництва ООО «Эко-топливо»; 9 – деревні пелети; 10 – пелети виробництва ПП «Пелет-Стандарт»; 11 – мазута марки М; 12 – скраплений газ, тон; 13 – газ природний,  $\text{м}^3$

Рисунок 5.1 – Залежність теплотворної здатності різних видів палива від кількості тепла, необхідного для нагрівання 1 кг води від  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $75\text{ }^{\circ}\text{C}$ :

На рисунку 5.2 представлена вартість різних видів палива. Так як паливо має різний стан (тверде, рідке і газоподібне), то всі палива звели до двох одиниць виміру: тонна (для твердого та рідкого стану) і  $1000\text{ м}^3$  для газоподібного. З графіка видно, що всі тверді палива мають близьку вартість, за винятком дров і горючих сланців (№ 5, 6), які мають нижчу вартість в порівнянні з вугіллям.

Більш високу вартість мають топковий мазут і природні гази (№ 11, 13), в основному метан. Найвищу вартість має скраплений газ (№ 12), пропан чи бутан. Ці гази мають невелику щільність (приблизно  $0,51 \text{ кг/м}^3$ ), тому 1 тона газу займає  $2000 \text{ м}^3$ , але теплотворна здатність скрапленого газу дуже висока. Але використовувати зріджений газ для опалення приміщень не доцільно через високу вартість.

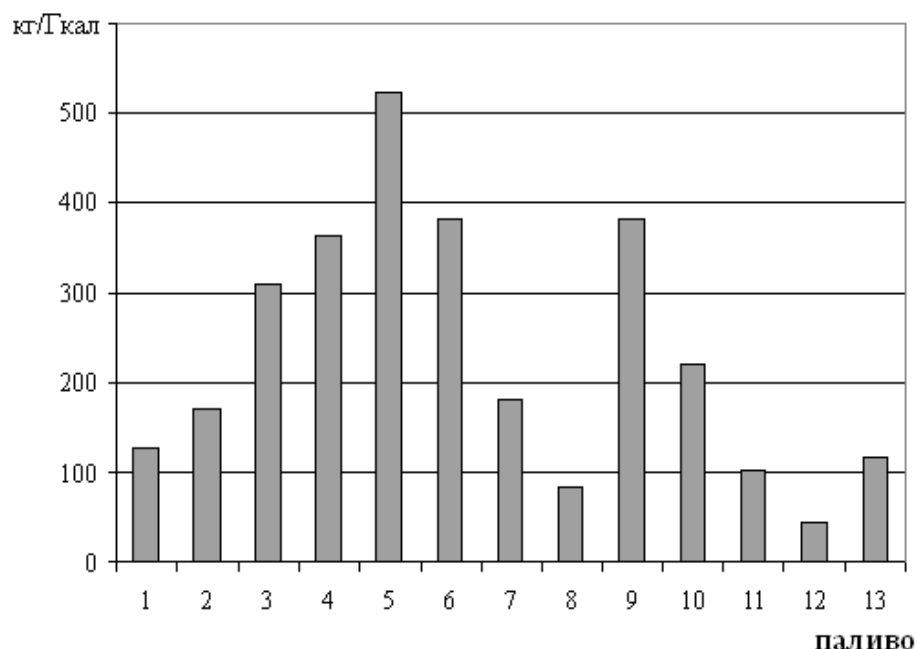


1 – антрацит; 2 – кам’яне вугілля; 3 – буре вугілля; 4 – торф; 5 – горючі сланці; 6 – дрова, м куб; 7 – брикети виробництва «ТБ Моноліт»; 8 – брикети виробництва ООО «Эко-топливо»; 9 – деревні пелети; 10 – пелети виробництва ПП «Пелет-Стандарт»; 11 – мазута марки М; 12 – скраплений газ, тон; 13 – газ природний,  $\text{м}^3$

Рисунок 5.2 – Ціна палива, грн. за тону

На рисунку 5.3 відображається, скільки палива різних видів потрібно спалити, щоб отримати 1 Гкал тепла. З діаграми видно, що для твердого палива потрібно більше спалювати твердого палива для отримання 1 Гкал тепла, в залежності від теплоти згорання. Найбільше потрібно спалювати горючих сланців (№ 5), так як теплота згорання в них найнижча, далі за якістю слідують дрова, деревні пелети і торф (№ 4, 6, 9). Згідно рисунку 5.3, найменше потрібно

спалювати паливних брикетів «Моноліт» і ТОВ «Екопаливо» (№ 7, 8), але на це паливо потрібно звертати увагу з обережністю, тому, що рекламні буклети приватних підприємств не завжди відповідають дійсності [18].

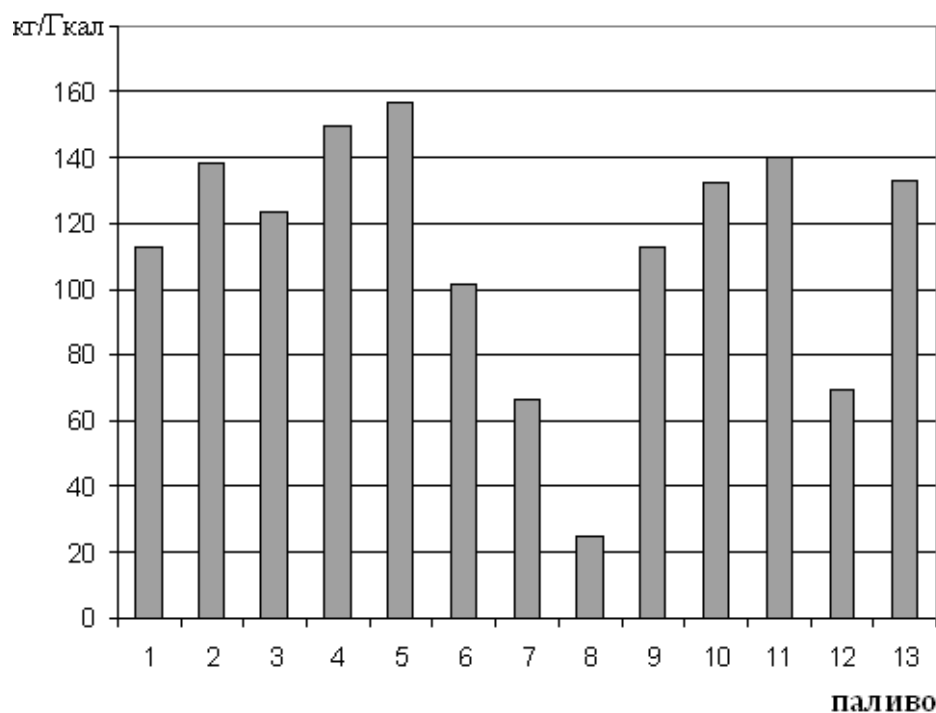


1 – антрацит; 2 – кам’яне вугілля; 3 – буре вугілля; 4 – торф; 5 – горючі сланці; 6 – дрова, м куб; 7 – брикети виробництва «ТБ Моноліт»; 8 – брикети виробництва ООО «Эко-топливо»; 9 – деревні пелети; 10 – пелети виробництва ПП «Пелет-Стандарт»; 11 – мазута марки М; 12 – скраплений газ, тон; 13 – газ природний, м<sup>3</sup>

Рисунок 5.3 – Кількість палива, необхідного для отриманні 1 Гкал тепла

Рисунок 5.4 показує, скільки умовного палива необхідно спалювати для отримання 1 Гкал тепла. Традиційні види твердого палива мають високе значення цієї величини, в залежності від середньої теплоти згорання. З діаграми випливає, що штучні тверді палива, як уже згадувалося вище, мають переваги в порівнянні з традиційними. Але дані, представлені приватними підприємцями, підлягають перевірці. З одного боку, штучні палива горять виділяючи велику кількість тепла, але час горіння невеликий, тому велика кількість тепла втрачається з димовими газами. Якщо використовувати не традиційні види спалювання, а верхнє горіння,

тоді більша частина тепла буде відводитися не в атмосферу, а в навколишнє середовище котла, тобто гріти теплоносій, приміщення і т.д. Такі традиційні види палива як мазут, зріджений і природний газ приблизно знаходяться в одному діапазоні, але їх вартість дуже висока в порівнянні з місцевими традиційними видами палива, (брекети та пелети з відходів сільгоспвиробництва: соломи, лушпиння, соняшникових стеблів, кукурудзи, відходів переробки гречки, стеблів сої і т.д.)

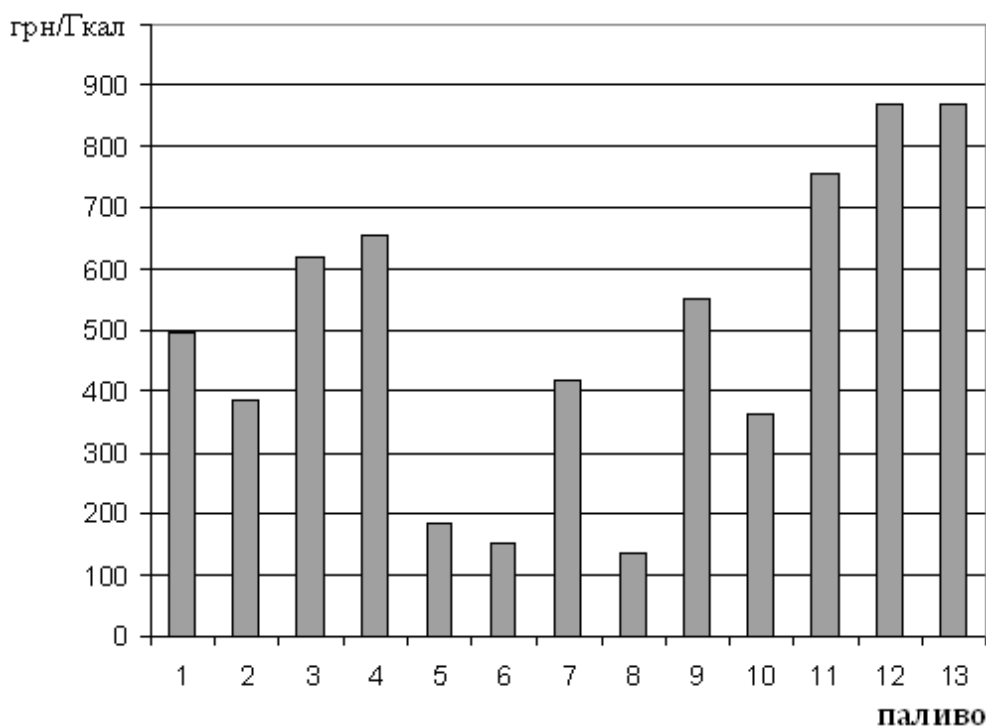


1 – антрацит; 2 – кам'яне вугілля; 3 – буре вугілля; 4 – торф; 5 – горючі сланці; 6 – дрова, м куб; 7 – брикети виробництва «ТБ Моноліт»; 8 – брикети виробництва ООО «Эко-топливо»; 9 – деревні пелети; 10 – пелети виробництва ПП «Пелет-Стандарт»; 11 – мазута марки М; 12 – скраплений газ, тон; 13 – газ природний, м<sup>3</sup>

Рисунок 5.4 – Кількість умовного палива для отримання 1 Гкал тепла

На рисунку 5.5 показано вартість 1 Гкал тепла, отриманого з різних видів палива. З діаграми видно, що найдешевший 1 Гкал тепла виходить з горючих сланців, дров і брекети ТОВ Еко-паливо (№ 5, 6, 8), так як вартість цих видів

палив невисока. Це пов'язано з тим, що відсутнє транспортування на великі відстані. Відстані, на які вигідно транспортувати місцеве паливо, - до 50 км. А традиційні види палива через їх високу вартість мають і високу ціну вироблення 1 Гкал тепла.



1 – антрацит; 2 – кам'яне вугілля; 3 – буре вугілля; 4 – торф; 5 – горючі сланці; 6 – дрова, м куб; 7 – брикети виробництва «ТБ Моноліт»; 8 – брикети виробництва ООО «Эко-топливо»; 9 – деревні пелети; 10 – пелети виробництва ПП «Пелет-Стандарт»; 11 – мазута марки М; 12 – скраплений газ, тон; 13 – газ природний, м<sup>3</sup>

Рисунок 5.5 – Вартість 1 Гкал для різних видів палива

У таблиці 5.1 не розглядався такий вид енергії, як електрична. Опалювати електричною енергією приміщення не раціонально через її високу вартість, яка постійно зростає. Сонячна, вітрова та інші види енергії не розглядалися також. Вони поки не зарекомендували себе, як традиційні складові енергетики в Україні, знаходяться на стадії розробки та вдосконалення. На даний час вартість 1 кВт·год сонячної електроенергії дуже висока і без державної підтримки її дуже складно застосовувати.



## **6 ОСОБЛИВОСТІ ТРАНСПОРТУВАННЯ ТЕПЛОВОЇ ЕНЕРГІЇ**

### **6.1 Основні способи перенесення теплової енергії**

Теплопровідність – перенесення тепла від більш нагрітих до менш нагрітих частин тіла за рахунок теплового руху та взаємодії мікрочасток, що приводить до вирівнювання температури тіла.

Конвекція – перенесення тепла за рахунок переміщення часток речовини в просторі. Спостерігається в рідинах та газах, що рухаються.

Теплове випромінювання – перенесення енергії електромагнітними хвилями за відсутності контакту між тілами.

Для якісного утеплення будівлі треба забезпечити простий принцип: житло має бути утеплене по всьому периметру. В іншому випадку локальна теплоізоляція фасаду багатоповерхового будинку матиме неприємні наслідки. Неефективність часткового утеплення полягає й в тому, що тепло надалі втрачається через сусідні неутеплені квартири, а також відбувається прискорений знос будинку: на стику утепленого та неутепленого приміщення є різкий перепад температур, внаслідок чого в стіні з'являються мікротріщини.

Теплоізоляція – один з найбільш простих та ефективних інструментів енергозбереження. Завдяки грамотному застосуванню теплоізоляційних матеріалів втрати тепла можна знизити до 70 %, а отже, істотно заощадити на опаленні. Для того, щоб досягти комплексного ефекту від використання теплоізоляції, необхідно утеплювати:

- покрівлі та мансарди;
- зовнішні стіни, фасад;
- холодні горищні перекриття;
- перекриття над неопалюваним підвалом;
- елементи системи вентиляції та опалення.

## 6.2 Теплові втрати

Числові дані з теплових втрат надані німецьким фахівцем з енергоефективності Ф. Срамою. При цьому у вітчизняній літературі можуть зустрічатися й інші показники теплових втрат.

Види теплових втрат:

- через дах – 10%;
- через вікна – 22%;
- через стіни – 21%;
- через підлогу – 6%;
- під час провітрювання – 29%;
- робота вентиляції (витяжки) – 12%.

## 6.3 Теплоізоляція

Теплоізоляція – це властивість матеріалу перешкоджати передачі тепла. За способом теплопередачі теплоізоляцію можна розділити на такі типи:

- відбиваюча – запобігає втраті тепла за рахунок відбиття інфрачервоного теплового випромінювання;
- запобігаюча втраті за рахунок кондуктивного і конвективного теплообміну (поєднання передачі тепла через сам матеріал і повітря або газ, що знаходиться в ньому): теплопровідності, водопоглинання, паропроникності.

На практиці теплоізоляційні матеріали прийнято ділити на три типи (по виду основної вихідної сировини):

- а) органічні – одержувані з використанням органічних речовин. Це, перш за все, різноманітні пінопласти (наприклад пінополістирол). Такі теплоізоляційні матеріали виготовляють з об'ємною масою від  $10 \text{ кг/м}^3$  до  $100 \text{ кг/м}^3$ . Головний

їхній недолік – низька вогнестійкість, тому їх застосовують зазвичай при температурах не більше 90 °С, а також при додатковому конструктивному захисті негорючими матеріалами (штукатурні фасади, тришарові панелі, стіни з облицюванням);

б) неорганічні – мінеральна вата та вироби з неї (наприклад, мінераловатні плити), легкий бетон (газобетон і газосилікат), піноскло, скляне волокно тощо. Характерна особливість – низькі міцнісні характеристики і підвищене водопоглинання, тому застосування даних матеріалів обмежено і вимагає спеціальних методик установки. При виробництві сучасних теплоізоляційних мінераловатних виробів проводиться гідрофобізація волокна, що дозволяє знизити водопоглинання в процесі їх транспортування і монтажу;

в) змішані – використовуються як монтажні, виготовляють на основі азбесту (азбестовий картон, азбестовий папір, азбестовий повсть), сумішей азбесту і мінеральних в'язучих речовин і на основі гірських порід (вермикуліту, перліту).

Основні види теплоізоляції:

- неавтоклавний пінобетон (щільністю до 250 кг/м<sup>3</sup>);
- мінераловатні вироби у вигляді матів, плит, кожухів, циліндрів;
- пінополістирол (спінений і екструдований);
- пінополіуретан;
- спінений каучук і поліетилен.

Теплоізоляція застосовується для зменшення теплопередачі через стіни, фасади, дахи, підвали, двері, вікна приміщень, де необхідно підтримувати задану температуру.

Теплоізоляція зовнішніх стін виконується основним із трьох способів:

- навісний вентильований фасад із застосуванням теплоізоляції (кам'яна або скляна вата);
- тонкошарова штукатурка фасадів з теплоізоляційного матеріалу (пінополістирол або мінеральна вата);

– тришарова конструкція стін (тришарова, шарувата або колодцева кладка, сендвіч-панелі клеєні або збірні, тришарові з/б стінові панелі).

З точки зору теплофізики найбільш ефективно застосовувати теплоізоляцію зовні, так як у цьому випадку несуча конструкція стіни знаходиться завжди в зоні позитивних температур та оптимальної вологості. Можливе застосування теплоізоляції зсередини будівлі, але при цьому варіанті необхідно проводити розрахунок вологісного режиму на необхідність шару пароізоляції.

Для теплоізоляції стін традиційно застосовують такі види теплоізоляційних матеріалів: пінополістирол, мінеральна вата або скловата (скловолокно). Також застосовуються утеплювачі з поліефірного волокна зі зниженою горючістю.

Отже, використання зовнішньої теплоізоляції має наступні переваги.

а) Використання теплоізоляції дозволяє збільшити внутрішню площу будинку за рахунок зменшення товщини зовнішніх стін. Це також сприяє суттєвій економії будівельних матеріалів.

б) Економію та комфорт. Знижуючи втрати тепла, ми зменшуємо витрати палива, необхідного для його виробництва, і таким чином заощаджуємо кошти на опалення. Одночасно використання теплоізоляції дозволяє підтримувати високий рівень комфорту в приміщенні.

в) Збільшення терміну служби конструкцій. Використання теплоізоляції запобігає появі конденсату всередині будівельних конструкцій, і тим самим попереджає виникнення цвілі, а також мікрошпарин.

#### 6.4 Нормативні значення комфортних умов

Нормативні значення температури за СНіП у житлових приміщеннях – від 18 °С до 20 °С, у виробничих приміщеннях залежить від їх технологічного призначення. Важливе значення для створення в приміщенні комфортних умов також має вологість повітря. Люди почуваються комфортно, якщо значення

відносної вологості знаходиться в інтервалі від 35 % до 65 %. Дуже сухе повітря підвищує витрати на опалювання, оскільки відчуття «сухості» вимагає підвищення температури для досягнення комфортного стану людини. Треба мати на увазі, що холодне повітря, при тій же відносній вологості сухіше, ніж тепле повітря. Тому часте провітрювання при низьких температурах на вулиці знижує вологість повітря у приміщенні.

#### 6.5 Розрахунок втрати тепла в теплових мережах при транспортуванні теплової енергії

Розглянемо приклад розрахунку втрати тепла [19]. Втрати в теплових мережах  $Q_{\text{ТМ}}$  за звітний період, визначені як сума тепловтрат з непродуктивних витоків води із мережі  $Q_{\text{вит.}}$ , з продуктивних  $Q_{\text{уг. пр.}}$  і втрати тепла через ізоляцію в трубопроводах тепломережі від краю розділу мережі до вузла обліку теплової енергії  $Q_{\text{із.}}$ .

$$Q_{\text{ТМ}} = Q_{\text{вит.}} + Q_{\text{уг. пр.}} + Q_{\text{із.}} \quad (6.1)$$

Значення продуктивного витоку визначається згідно відповідних актів. За «Схемою балансового розмежування» у «користувача» на балансі є ділянка опалювальної системи з місця приєднання теплової камери ТК-2 до будинку № 4 з умовним діаметром Ду65, та довжиною 118,2 метрів.

Прокладка труб виконана за типом прохідного каналу.

Нормативне значення середніх щорічних технічних втрат тепла у цій тепловій мережі визначається за формулою:

$$Q_n = \sum_{i=1}^n \beta_i q_i L_i, \text{ ккал/год}, \quad (6.2)$$

де  $\beta$  – коефіцієнт, що враховує місцеві тепловтрати, втрати опору, арматури, компенсаторів відповідно до [20]. Для нашого випадку  $\beta = 1,2$ ;

$L$  – довжина труби ділянки теплової мережі;

$q_n = q_p + q_w$  – нормативного значення питомих теплових втрат двотрубних водяних мереж при прокладанні у прохідному каналі і кількості годин роботи за рік, менш ніж 5000;

При перерахунку  $1 \text{ ккал/год} = 1,163 \text{ Вт}$ .

За розрахунком прийнятої температури в теплових мережах  $105^\circ\text{C} - 70^\circ\text{C}$  середньорічні температури теплоносія (вода) у водяних теплових мережах складають:  $t_n = 80^\circ\text{C}$ ;  $t_o = 50^\circ\text{C}$ .

Середньорічна температура води в системі трубопроводів:

$$\Delta t = \frac{t_n + t_o}{2}, \quad (6.3)$$

$$\Delta t = \frac{80 + 50}{2} = 65^\circ\text{C}.$$

## 6.6 Втрати теплової енергії через ізоляцію трубопроводів

Розрахунок показує нормативне значення технічних втрат, які не повинні бути перевищені, якщо ізоляція трубопроводів виконана згідно ДБН. Фактичні значення можуть відрізнятися від стандартних. Якщо виконано утеплення трубопроводів ізоляційним матеріалом фірми IZOVOL або іншими сучасними ізоляційними матеріалами, то втрати тепла через утеплювач будуть низькі. Для

точного розрахунку втрат тепла потрібно використовувати метод, заснований на алгоритмі розрахунку теплоти, що проходить через циліндричну стінку.

Для ділянки труби Ду65 довжиною 118,2 м, згідно [21]:

$$q_n = \frac{29 + 17}{1,163} = 39,66 \text{ ккал/(м} \cdot \text{год)}; \quad (6.4)$$

$$Q_n^{\text{ср.р.}} = 1,2 \cdot 39,66 \cdot 118,2 = 5625 \text{ ккал/год.} \quad (6.5)$$

Нормалізоване значення щомісячних втрат тепла через ізоляцію трубопроводів для опалення обчислюваної мережі:

$$Q_{\text{із}}^{\text{міс}} = Q_n^{\text{ср.р.}} \cdot x \cdot n, \quad (6.6)$$

$$Q_{\text{із}}^{\text{мес}} = 0,005625 \cdot 31 \cdot 24 = 4,185 \text{ Гкал,}$$

де  $n$  – тривалість роботи мережі в даному місяці, год.

## 6.7 Гідравлічний розрахунок опалювальної системи

За допомогою гідравлічного розрахунку можна знайти правильний діаметр та довжину труби, правильно і швидко збалансувати систему за допомогою радіаторних клапанів. Результати цього обчислення можуть допомогти правильно вибрати циркуляційний насос.

В результаті гідравлічного розрахунку слід отримати такі дані:

$m$  – витрати теплоносія для всієї системи опалення, кг/с;

$\Delta P$  – втрати напору в системі опалення;

$\Delta P_1, \Delta P_2, \dots, \Delta P_n$  – втрати напору від котла до кожного радіатора (від першої до  $n$ -ї секції).

Витрати теплоносія обчислюються за формулою:

$$m = \frac{Q}{C_p \Delta t}, \quad (6.7)$$

де  $Q$  – загальна потужність системи опалення, кВт; з розрахунку тепловтрат будівель;

$C_p$  – питома теплоємність води, кДж/(кг·°C); для спрощення розрахунків приймаємо  $C_p = 4,19$  кДж/(кг·°C).

#### 6.7.1. Швидкість теплоносія

Використовуючи отримані значення характеристик системи опалення, середню витрату, що необхідна для кожної труби перед радіатором, розраховується швидкість руху теплоносія в трубах за формулою:

$$V = \frac{m}{\rho \cdot f}, \quad (6.8)$$

де  $V$  – швидкість потоку теплоносія, м/с;

$m$  – витрата теплоносія через труби, кг/с;

$\rho$  – щільність теплоносія, кг/м<sup>3</sup>, приймаємо  $\rho = 1000$  кг/м<sup>3</sup>;

$f$  – площа поперечного перерізу труби, м<sup>2</sup>, може бути обчислена за формулою:

$$f = \frac{\pi d^2}{4}, \quad (6.9)$$

де  $d$  – внутрішній діаметр труби, мм.



### 6.7.2 Розрахунок швидкості теплоносія

Для кожної ділянки системи обчислюються втрати напору на тертя в трубі та місцеві втрати. Перші обчислюються за формулою (враховується і подача і повернення) [15]:

$$\Delta P_{\text{тр}} = R \cdot L, \quad (6.10)$$

де  $\Delta P_{\text{тр}}$  – головні втрати у трубі на тертя, Па;

$R$  – питомі втрати на тертя у трубі, Па/м; з довідкової документації виробника труб;

$L$  – довжина ділянки, м.

Втрата напору на місцевих опорах – це опори на фітингах, арматурі, устаткуванні і т. д. Місцеві втрати напорів розраховуються за формулою:

$$\Delta p_{\text{м.о.}} = \sum \zeta \cdot \frac{V^2}{2} \cdot \rho, \quad (6.11)$$

де  $\Delta p_{\text{м.о.}}$  – втрати напору у місцевих опорах, Па;

$\sum \zeta$  – суми коефіцієнтів місцевих сил опору на ділянці; коефіцієнти місцевого опору вказує виробник для кожної установки;

$V$  – швидкість теплоносія в трубопроводі, м/с;

$\rho$  – густина рідини (теплоносія), кг/м<sup>3</sup>.

Гідравлічні обчислення результатів. Необхідно просумувати опір всіх ділянок до кожного радіатора і порівняти з контрольними значеннями. Для того, щоб насос, вбудований в котел, забезпечував теплом всі радіатори, втрати напору у віддалених найдовших ділянках не можуть перевищувати 20000 Па. Швидкість потоку в будь-який момент, на кожній ділянці має бути в діапазоні від 0,25 м/с до 1,5 м/с. При швидкості більше 1,5 м/с в трубах може з'явитися шум. Мінімальна

швидкість 0,25 м/с рекомендовано згідно [22], щоб уникнути заповітрявання труби. Для того, щоб витримати зазначені вище умови, достатньо вибрати правильний діаметр труби. Це можна зробити за таблицею 6.1.

Таблиця 6.1 – Мінімальна і максимальна потужність трубопроводів

Труба	Мінімальна вихідна потужність, кВт	Максимальна потужність, кВт
Металопластиковая труба Ø16 мм	2,8	4,5
Металопластиковая труба Ø20 мм	5	8
Металопластиковая труба Ø26 мм	8	13
Металопластиковая труба Ø32 мм	13	21
Поліпропіленова труба Ø20 мм	4	7
Поліпропіленова труба Ø25 мм	6	11
Поліпропіленова труба Ø32 мм	10	18
Поліпропіленова труба Ø40 мм	16	28

В таблиці 6.1 вказана сумарна потужність радіаторів, які труба може забезпечити теплом.

### 6.7.3 Найпростіший метод розрахунку кількості теплової потужності.

Згідно санітарних норм, теплової потужності 100 Вт або 86 ккал/год достатньо для опалення 1 м<sup>2</sup> площі, при висота стелі від 2,5 м до 2,7 м. Це значення має бути трохи завищене, так як не враховано наступні особливості [23]:

- кількість вікон і тип склопакетів;
- кількість в кімнаті зовнішніх стін;
- товщина стін будівлі і матеріал, з якого вони побудовані;

- тип і товщина використаної ізоляції;
- діапазон температур в цій кліматичній зоні.

У багатьох сучасних будівлях використовується централізоване тепlopостачання. Приміщення нагріваються радіаторами (чавунні, сталеві, алюмінієві чи біметалічні), кожен радіатор має паспорт, в який заносяться його параметри. Діапазон теплової потужності 1 секції чавунної батареї змінюється в межах від 100 Вт до 150 Вт (від 8600 ккал/год до 12900 ккал/год). Теплова потужність 1 секції алюмінієвих радіаторів складає близько 200 Вт (17200 ккал/год).

Обчислимо кількість секцій, які необхідні для опалення кімнати площею 18 м<sup>2</sup>. Відповідно до СНиП 1 кВт зігріває до 10 м<sup>2</sup> площі при висоті стелі не більш ніж 3 м. Тоді необхідна теплова потужність на цю кімнату

$$100 \text{ Вт} \cdot 18 \text{ м}^2 = 1800 \text{ Вт}, \quad (6.12)$$

тобто для опалення кімнати площею 18 м<sup>2</sup> за годину потрібно 1,8 кВт потужності. Цей результат потрібно розділити на кількість тепла, що за годину виділяє секція радіатора. Припустімо, що згідно паспорту секція виділяє 170 Вт, тоді знаходимо кількість секцій:

$$1800 \text{ Вт} / 170 \text{ Вт} = 10,59 \text{ секцій}. \quad (6.13)$$

Це число необхідно округлити до більшого цілого, тобто розраховано 11 секцій. Такий метод підходить тільки для обчислення кількості батарей в приміщеннях з центральним опаленням, де температура теплоносія становить не більше 70 °С.

Але є більш простий спосіб, який може бути застосований до звичайних панельних будинків. Цей розрахунок враховує, що для опалення 1,8 м<sup>2</sup> площі необхідна одна секція, іншими словами площу приміщення треба розділити на 1,8. Наприклад для приміщення площею 25 м<sup>2</sup> необхідно 14 секцій, за формулою:

$$25/1,8 = 13,89 = 14 \text{ секцій.} \quad (6.14)$$

Але такий метод є неприйнятним для радіаторів зменшеної та збільшеної потужності (коли середня потужність однієї секції змінюється в межах від 120 Вт до 200 Вт).

Для підвищення ефективності впровадження енергозберігаючих технологій та заходів з економії паливно-енергетичних ресурсів необхідно проводити їх експертну оцінку (додаток В).

## **7 ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ ОПАЛЕННЯ ПРИМІЩЕНЬ РІЗНИХ ТИПІВ**

### **7.1 Розрахунок опалення приміщень з високими стелями**

Розрахунок опалення за площею не дозволяє правильно визначити кількість секцій радіаторів опалення для приміщень зі стелею вище 3 м. В цьому випадку варто застосовувати формулу, яка враховує об'єм приміщення. Для опалення кожного 1 м<sup>3</sup> об'єму, за рекомендацією СНиП, необхідно 41 Вт тепла. Розрахуємо об'єм кімнати зі стелею 3 м і площею 24 м<sup>2</sup>:

$$24 \cdot 3 = 72 \text{ м}^3. \quad (7.1)$$

Розрахуємо потужність батареї для опалення приміщення:

$$72 \cdot 41 = 2952 \text{ Вт.} \quad (7.2)$$

Далі потрібно визначити кількість секцій батареї. У випадку, якщо в документації радіатора вказано, що потужність однієї секції складає 180 Вт за

годину, то потужність батареї ділимо на це число, та знаходимо кількість секцій в батареї:

$$2952/180 = 16,4 = 17 \text{ секцій.} \quad (7.3)$$

## 7.2 Додаткові параметри, які треба враховувати при розрахунку опалювальної системи приміщень

Маючи розрахунок кількості секцій радіаторів опалення для приміщення його необхідно скорегувати. При цьому приймають до уваги наступні особливості приміщення:

- для кутової кімнати (дві стіни, що виходить на вулицю) з 1 вікном потужність радіатора треба збільшити на 20 %, з 2 вікнами – на 30 %;
- якщо радіатор встановлений в заглибленні під вікном, його тепловіддача зменшується, що компенсується підвищенням потужності на 5 %;
- якщо вікна приміщення виходять на північ або північно-східний напрям, то потужність радіатора треба збільшити на 10 %,;
- декоративний екран, що закриває радіатори, поглинає до 15 % від їх тепловіддачі, що необхідно враховувати при розрахунку.

При розрахунку опалювальної системи приміщень слід враховувати організаційно-технічні заходи (додаток Б).

## 7.3 Вплив кліматичних зон на розрахунок опалення

Для розрахунку системи опалення приміщень необхідно враховувати кліматичні зони, для яких встановлено наступні коефіцієнти:

- у середній частині України – 0,9;
- у південних районах – 0,6...0,7.

Даний коефіцієнт необхідно помножити на загальну теплову потужність, і отриманий результат розділити на тепловіддачу 1 секції.

#### 7.4 Специфіка та особливості приміщень, для яких проводиться розрахунок

Також враховуються і інші особливості приміщень, для яких робиться розрахунок. Це можуть бути такі показники, як:

- якщо температура теплоносія становить менш ніж 70 °С, то кількість секцій треба збільшити;
- якщо немає дверей між кімнатами, то треба розраховувати загальну площу сумісних приміщень;
- встановлені на вікна склопакети знижують втрати тепла. Таким чином необхідно менше секцій.

Теплопровідності деяких теплоізоляційних матеріалів:

- утеплена пінопластом цегла  $\lambda = 0,034$  кВт/м<sup>3</sup>;
- сучасні матеріали, що відповідають будівельним нормам та стандартам –  $\lambda = 0,020$  кВт/м<sup>3</sup>.

#### 7.5 Підрахунки у виборі обігрівача

Розглянемо питання щодо розрахунку потужності нагрівача, беручи до уваги різницю температур

$$N = V \cdot \Delta t \cdot k \text{ (ккал/год);} \quad (7.4)$$

де  $V$  – об'єм приміщення,  $\text{м}^3$  ;

$\Delta t = t_2 - t_1$  – різниці температур повітря всередині і зовні приміщення,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$k$  – коефіцієнт втрати тепла; від 4,0 для будівель з дуже поганою ізоляцією, до 0,6 – для будівель з дуже якісною ізоляцією. При товщині стін будівлі у дві цеглини  $k = 1,0 \dots 1,9$ , в одну цеглину  $k = 2,0 \dots 2,9$ .

Приклад: розрахувати теплову потужність обігрівача, використовуючи такі параметри:  $V = 32,4 \text{ м}^3$ ;  $t_1 = +20^{\circ}\text{C}$ ;  $t_2 = -12^{\circ}\text{C}$ ;  $k = 2,5$ .

Тоді необхідні теплова потужність котла

$$N = 32,4 \cdot (20 + 12) \cdot 2,5 = 1044,6 \text{ ккал/год} = 1,21 \text{ кВт}, \quad (7.5)$$

де  $1 \text{ кВт} = 860 \text{ ккал/год}$ .

Таким чином, для опалення приміщення вказаного об'єму за вказаною температурою потрібен нагрівач потужністю 1,2 кВт, але краще використовувати нагрівач з запасом  $N = 1,5 \text{ кВт}$ .

## 7.6 Термомодернізація будівель

Вартість опалення та гарячого водопостачання в наші дні дуже висока і продовжує підвищуватися. Одна з причин – значна частина будівель побудована без належної уваги до економії енергії. Так, більшість комунальних закладів Запорізької області (школи, дитячі садки, лікарні та інші), було побудовано 30 або більше років назад. Сьогодні вартість теплової та електричної енергії висока і подальше її зростання неминуче. Значення термомодернізації будинків полягає у впровадженні енергоефективних заходів, які значно скорочують енергоспоживання (додаток Г). Термомодернізація складається з кількох етапів:

- додаткове утеплення будинків сучасними термоізоляційними матеріалами;

– обов’язкова модернізацією системи опалення та збереження тепла.

У більшості випадків утеплення, без модернізації системи опалення, не дає позитивних результатів в економії, адже потребує значних фінансових витрат. Але при повному виявлені всіх проблем будинку та виборі правильного шляху їх усунення, термомодернізація дозволяє підвищити температуру в приміщенні до 4 °С і зменшити плату за комунальні послуги.

Роботи з теплодернізації:

– загальнобудівельні – утеплення будівельних конструкцій та інженерних систем;

– за допомогою санації будівель, за заявою прем’єр-міністра України Гройсмана В.Б., в цілому можна знизити втрати теплової енергії на 41 %. При цьому модернізація котелень дозволяє зекономити 4 % теплової енергії, а теплових мереж – 14 %;

– сантехнічні – заміна систем теплопостачання, опалення, гарячого водопостачання та інше;

– електротехнічні – заміна застарілої проводки та приладів.

Дотримання принципів енергоефективності дозволяє якісно використовувати енергію та заощаджувати її. Таким чином природні ресурси в цілому використовуються дбайливо і з’являється можливість їх зберігання. Встановлення приладів обліку тепла – один із шляхів економічного використання енергоресурсів.

Енергозбереження також можливе шляхом реконструкції систем опалення: заміна вертикальної системи опалення на горизонтальну дає можливість встановлення запірно-терморегулюючої арматури та балансувальних клапанів індивідуально для різних приміщень.

Втрати тепловою енергії у будинках мають такий розподіл:

– зовнішні стіни – 40 %;

– вікна, двері – 25 %;

– вентиляція – 15 %;

– дах, підлога – 8 %;



– трубопроводи, арматура – 2 %.

Склопакет – одна з головних складових частин сучасного вікна. Різні виробники пропонують значний асортимент складових віконної фурнітури, з яких можна виготовити енергоефективні вікна. Окупність термомодернізації вікон будівель – від 10 до 15 років. Чим ефективніше використовується теплова енергія, яка надійшла в будинок, тим менше термін окупності проекту.

Одним із факторів, який підштовхує власників будівель та комунальні служби впроваджувати теплові санації будівель, – подальше зростання тарифів на послуги теплопостачання. Але вирішення проблеми не можливе без значної ролі держави, яка може як надавати фінансову підтримку, так і бути регулятором.

## **8 ЗАПРОПОНОВАНА МЕТОДИКА ОЦІНКИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ КОМУНАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ**

Виходячи з результатів розроблення критеріїв, виконаних в даній роботі, авторами запропонована методика оцінки енергоефективності будівель комунальної власності.

У запропонованій методиці розглядається можливість оцінки енергоефективності, у відповідності до концепції роботи [24] і є її подальшим розвитком. Це дозволяє застосовувати дану методику для будівель будь-якого типу і вже на стадії визначення основних параметрів проекту враховувати найбільш важливі енергозберігаючі заходи, вибираючи їх оптимальні поєднання з метою мінімізації капітальних і експлуатаційних витрат по досягненню необхідного рівня енергоспоживання. Останній виявляється на вимогу споживача, виходячи із заданого відносного зниження енергоспоживання в порівнянні з базовим варіантом, що представляє собою аналогічну будівлю без застосування енергозберігаючих заходів. Таким чином, на відміну від діючих нормативних документів величина енергоспоживання не нормується жорстко, що дає

можливість враховувати всі техніко-економічні та інші чинники, уникаючи не виправданих рішень, в першу чергу по теплозахисту.

Основою методики є пропозиція оцінки енергетичної експлуатаційної характеристики будівлі, яку слід приймати рівною питомою сумарних витрат  $\Sigma Q_i$  теплової та електричної енергії, кВт·год/(м<sup>2</sup>·рік) [25]. Тобто на 1 м<sup>2</sup> опалювальної площі будівлі за один опалювальний період у річному циклі експлуатації за вирахуванням теплопостачання  $Q_{\text{тп}}$  від людей, електропобутових приладів і сонячної радіації через світлові прорізи. Витрати енергії при цьому складаються з трансмісійних тепловтрат  $Q_1$  за рахунок теплопередачі через огорожувальні конструкції оболонки будівель, енерговитрат  $Q_2$  на підігрів інфільтруючого холодного повітря або повітря для вентиляції приміщень будівлі, енерговитрат на гаряче водопостачання  $Q_3$ , енергоспоживання усіма електроприладами інженерних систем будівлі (механічна вентиляція, кондиціонери, насоси водопостачання, ліфти та ін.)  $Q_4$  і електроспоживання на освітлення приміщень, а також електропобутовими приладами (кухонні плити, пральні машини, комп'ютери, телевізори та ін.)  $Q_5$ .

Для розрахунку складових витрат  $Q_i$  і теплопостачання  $Q_{\text{тп}}$  використовуються проектні дані про конструкцію будівлі, її сумарний повітрообмін, технологічне завантаження та режим роботи, а також застосовувані енергозберігаючі заходи і характеристики опалювально-вентиляційного обладнання. При цьому залучаються необхідні довідкові відомості з діючих нормативних документів, в тому числі кліматичні характеристики району будівництва, коефіцієнти додаткових тепловтрат з урахуванням орієнтації огорож і округлення потужності опалювальних приладів, норми витрати гарячої води і електроенергії на освітлення, електроприлади і привід інженерних систем, коефіцієнти попиту на електроенергію, інтенсивність сонячної радіації і т.д., а також результати натурних досліджень ефективності енергозберігаючих заходів.

Для громадської будівлі з механічною приточно-витяжною вентиляцією результати визначення енергетичних показників за даною методикою наведено в

табл. 8.1. Як приклад, там же вказані результати визначення енергетичних показників для будівлі середньої школи за типовим проектом 221-1-25-387 [26].

Для виявлення абсолютної і відносної ефективності енергозберігаючих заходів розрахунок проводився за двома варіантами. Варіант 1 (базовий) передбачав пристрій зовнішніх огорожень за вимогами [27] до внесення змін №3 і №4 за відсутності інших енергозберігаючих заходів. Варіант 2 припускав застосування зовнішніх огорожень з оптимальним теплозахистом за методикою [28], індивідуальне автоматичне регулювання тепловіддачі системи опалення для використання побутової тепловіддачі і від сонячної радіації, утилізацію теплоти витяжного повітря з проміжним теплоносієм (температурна ефективність  $k_{\text{еф}} = 0,5$ ), а також установку змішувачів з лівим розташуванням крана гарячої води і кранів з регульованим натиском в системі гарячого водопостачання (коефіцієнт зниження витрати води  $k_h = 0,94$ ).

У розрахунках термічні опори несвітлопрозорих огорож за варіантом 2 визначені відповідно до методики [28] при відношенні коефіцієнтів теплотехнічної однорідності огорожувальних конструкцій до і після утеплення, рівному 1, вартості додаткових одноразових витрат понад вартість матеріалу утеплювача  $C_p = 90 \text{ руб./м}^2$ , вартості утеплювача (плити мінераловатні П-125)  $C_{\text{ут}} = 850 \text{ руб./м}^3$  і його теплопровідності  $\lambda_{\text{ут}} = 0,042 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$  [24].

Крім того, при розрахунку побутового теплопостачання на  $1 \text{ м}^2$  опалювальної площі в якості джерел використані надходження теплоти від людей, освітлення, електроприладів і приводів інженерних систем з урахуванням наведених в табл. 8.1 значень  $N_{\text{чол}}$ ,  $z_{p,i}$ ,  $N_{\text{пр},i}$ ,  $N_{e,i}$ ,  $k_{\text{сп},i}$  і  $F_{\text{оп}}$ . Інтенсивність сонячної радіації через вікна  $I_i$ ,  $\text{МДж/м}^2$ , визначена по табл. 4 [29]. При розрахунку енергетичної експлуатаційної характеристики теплопостачання в варіанті 1 не враховувалось через відсутність індивідуального автоматичного регулювання тепловіддачі системи опалення.

У таблиці 8.2, складеній за зразком наведених в роботі [28] результатів, визначення складових енергетичної експлуатаційної характеристики проекрованої будівлі з урахуванням розглянутих в пропонованій статті доповнень і

удосконалень, показані абсолютні і відносні значення зниження енергоспоживання досліджуваної будівлі за рахунок застосовуваних у варіанті 2 енергозберігаючих заходів. Легко побачити, що більшість цих заходів дає енергозберігаючий ефект, за винятком переобладнання системи гарячого водопостачання, оскільки в даному випадку дуже малі нормативні витрати гарячої води.

Зокрема, можна відмітити, що додаткове утеплення несвітлопрозорих огорож – аж ніяк не найефективніший захід, і не може йти мови про 40%-ву економію, як про це заявляють автори змін №3 і №4 в роботі [27]. У кращому випадку 40%-ве зниження може бути досягнуто тільки по відношенню до трансмісійних тепловтрат  $Q_1$ , а про наявність інших складових енерговитрат згадані фахівці, мабуть, забули.

Зауважимо, що визначені у варіанті 2 за методикою [28] економічно доцільні термічні опори несвітлопрозорих огорож приблизно на 15...20 % нижче необхідних за табл. 1Б [27]. До того ж, нормована в [30] величина енергоспоживання не включає витрати електроенергії і тому з точки зору розглянутої методики є заниженою, а коефіцієнт компактності досліджуваного об'єкта близький до середнього для всієї групи будівель даного типу [26], тобто ніякої економії за рахунок використання об'ємно-планувальних рішень немає. Але, незважаючи на все це, сумарна експлуатаційна характеристика за варіантом 2 виявилася помітно менше необхідного рівня в 175 кВт·год/(м<sup>2</sup>·рік) [30, табл. 3.3], а сумарне зниження енергоспоживання склало 65,6 % від початкового значення.

Таблиця 8.1 – Результати визначення енергетичних показників

Параметр	Позначення, формула	Одиниці виміру	Значення	
			Вар.1	Вар.2
1	2	3	4	5
Число учнів	$N_{\text{чол}}$	чол.	392	
Площа застіння	$F_{\text{ок}}$	$\text{м}^2$	464	
Площа зовнішніх стін (без вікон)	$F_{\text{н.с}}$	$\text{м}^2$	1014	
Площа покриття	$F_{\text{пт}}$	$\text{м}^2$	1397	
Площа перекриття над техпідпіллям	$F_{\text{пл}}$	$\text{м}^2$	1397	
Коефіцієнт застіння	$K_o$	—	0,314	
Опалювальна площа	$F_{\text{оп}}$	$\text{м}^2$	2794	
Опалюваний об'єм	$V$	$\text{м}^3$	10102	
Середня температура внутрішнього повітря	$t_{\text{в}}$ , табл.3.1 [30]	$^{\circ}\text{C}$	+20	
Середня температура навколишнього повітря за опалювальний період	$t_{\text{о.п}}$ , табл.1 [29]	$^{\circ}\text{C}$	-3,1	
Тривалість опалювального періоду	$Z_{\text{о.п}}$ , табл.1 [29]	доба	214	
Характеристика опалювального періоду	$M=0,024 \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{о.п}}) \cdot Z_{\text{о.п}}$ [31]	тис. $^{\circ}\text{C} \times \text{го д}$	118,6	
Опір теплопередачі стін	$R_{\text{нс}}$	$\text{м}^2 \times ^{\circ}\text{C} / \text{Вт}$	0,92	2,77
Опір теплопередачі покриття	$R_{\text{пт}}$	$\text{м}^2 \times ^{\circ}\text{C} / \text{Вт}$	1,66	3,70
Опір теплопередачі над техпідпіллям	$R_{\text{пл}}$	$\text{м}^2 \times ^{\circ}\text{C} / \text{Вт}$	1,38	3,25
Опір теплопередачі вікон	$R_{\text{ок}}$	$\text{м}^2 \times ^{\circ}\text{C} / \text{Вт}$	0,42	0,54
Сумарна площа зовнішніх огорожень	$F_{\text{общ}}$	$\text{м}^2$	4272	
Коефіцієнт $n$ зовнішньої стіни	$n_{\text{з.с}}$ , табл.3 [27]	—	1	
Коефіцієнт $n$ покриття	$n_{\text{пт}}$ , табл.3 [27]	—	1	
Коефіцієнт $n$ перекриття над техпідпіллям	$n_{\text{пл}}$ , табл.3 [27]	—	0,6	
Коефіцієнт $n$ вікон	$n_{\text{вік}}$ , табл.3 [27]	—	1	
Коефіцієнт компактності	$K_{\text{комп}} = F_{\text{общ}} / V_{\text{зд}}$	$\text{м}^{-1}$	0,423	
Коефіцієнти додаткових тепловтрат	$\beta_1, \beta_2$ , пп.3.5.2, 3.5.6 [30]	—	1,1; 1,13	

Продовження таблиці 8.1

1	2	3	4	5
Трансмісійні тепловтрати	$Q_1 = \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot M \times \sum (n_i F_i / R_i) \cdot 10^{-3}$	$\frac{\text{МВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}}$	538,8	273,9
Розрахунковий повітрообмін (за проектом)	$L_{\text{розр}} [26]$	$\text{м}^3/\text{год}$	15200	
Кратність повітрообміну (в робочий час)	$K_{\text{рроб}} = L_{\text{розр}} / V$	$\text{год}^{-1}$	1,505	
Кратність повітрообміну в неробочий час (прийнято)	$K_{\text{рн}}$	$\text{год}^{-1}$	0,5	
Коефіцієнт ефективності пристроїв теплоутилізації	$k_{\text{еф}}$	—	0	0,5
Коефіцієнт обліку зустрічного теплового потоку	$k$ , п.3.5.3 [30]	—	0,8	0,7
Робочий час (виходячи з режиму роботи)	$z_p$	$\text{год}/\text{доба}$	10	
Ефективна кратність повітрообміну	$K_p = [(1 - k_{\text{еф}}) \cdot z_p \cdot K_{\text{рроб}} + k \cdot (24 - z_p) \cdot K_{\text{рн}}] / 24$	$\text{год}^{-1}$	0,86	0,52
Енерговитрати на підігрів повітря для вентиляції	$Q_2 = 0,33 \cdot M \cdot V \cdot K_p \cdot 10^{-3}$	$\frac{\text{МВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}}$	340,0	205,6
Норма витрати гарячої води в середню добу	$q_{\text{hu,m}}$ , прил.3 [32]	$\text{л}/\text{доба}$	$1333 = 3,4 \cdot N_{\text{чол}}$	
Перепад температур в системі гарячого водопостачання	$\Delta t$ , п.2.2 [32]	$\text{К}$	55	
Коефіцієнт зниження витрати гарячої води	$k_h$ [33]	—	1	0,94
Енерговитрати на гаряче водопостачання	$Q_3 = q_{\text{hu,m}} \cdot 1,163 \cdot 10^{-6} \times \Delta t \cdot Z_{\text{оп}} \cdot k_h$	$\frac{\text{МВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}}$	18,2	17,1
Потужність електроприводів інженерних систем	$N_{\text{пр.і}} [26]$	$\text{кВт}$	20	
Коефіцієнт попиту для електроприводів	$k_{\text{сп.і}}$ , табл.11 [34]	—	0,5	
Енергоспоживання електроприводами інженерних систем	$Q_4 = \sum N_{\text{пр.і}} \cdot k_{\text{сп.і}} \times z_{\text{р.і}} \cdot Z_{\text{оп}} \cdot 10^{-3}$	$\frac{\text{МВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}}$	21,4	
Питоме навантаження на освітлення і електроприлади	$n_{\text{е.і}}$ , табл.15 [34]	$\text{кВт}/1 \text{ уч.}$	0,22	

Кінець таблиці 8.1

1	2	3	4	5
Потужність освітлення і електроприладів	$N_{e,i} = n_{e,i} \cdot N_{\text{чол}}$	кВт	86,2	
Коефіцієнт попиту для освітлення і електроприладів	$k_{\text{сп},i}$ , табл.7 [34]	—	0,76	
Електроспоживання на освітлення електроприладами	$Q_5 = \sum N_{e,i} \cdot k_{\text{сп},i} \times \times Z_{p,i} \cdot Z_{\text{оп}} \cdot 10^{-3}$	$\frac{\text{МВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}}$	140,2	
Побутове теплопостачання на 1 м <sup>2</sup> опалювальної площі	$q_{\text{поб}}$ (за розрахунком)	Вт/м <sup>2</sup>	14,9	
Побутове тепловиділення	$Q_{\text{поб}} = 24 \cdot q_{\text{поб}} \times \times Z_{\text{оп}} \cdot F_{\text{оп}} \cdot 10^{-6}$	$\frac{\text{МВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}}$	213,1	
Коефіцієнт затінення світлового проїому	$t_{\text{ок}}$ , табл.3.4 [30]	—	0,65	0,5
Коефіцієнт відносного проникнення сонячної радіації	$k_{\text{ок}}$ , табл.3.4 [30]	—	0,57	0,83
Теплопостачання від сонячної радіації через вікна	$Q_{\text{рад}} = t_{\text{ок}} \cdot k_{\text{ок}} \cdot \sum (F_{\text{ок},i} \cdot I_i / 3600)$	$\frac{\text{МВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}}$	72,2	80,9
Сумарне теплопостачання	$Q_{\text{тп}} = Q_{\text{поб}} + Q_{\text{рад}}$	$\frac{\text{МВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}}$	—	294,0
Енергетична експлуатаційна характеристика	$q = (\sum Q_i - Q_{\text{тп}}) \cdot 10^3 / F_{\text{оп}}$	$\frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{м}^2 \cdot \text{рік}}$	378,9	130,4

Інакше кажучи, тільки комплексне використання різних енергозберігаючих заходів дозволяє досягти максимального енергозберігаючого ефекту при мінімальних капітальних і експлуатаційних витратах. Наведені в таблиці 8.1 і 8.2 дані представляють собою раціональну форму енергетичного паспорту будівлі. Запропонована методика дає можливість нормативного обліку всіх допустимих заходів на етапі проектування будівлі та їх оптимального розподілу з точки зору одержуваного зниження енергоспоживання. Крім того, на відміну від методики [6] вона істотно простіше і не перевантажена великою кількістю малоістотних

показників, що має полегшити її застосування і зменшити невдоволення проектувальників від введення в проекти розділу «Енергоефективність».

Таблиця 8.2 – Порівняльна ефективність енергозберігаючих заходів

Енергозберігаючі заходи	Зниження енергоспоживання	
	кВт·год/(м <sup>2</sup> ·рік)	%
Утеплення несвітлопрозорих зовнішніх огорож	81,7	21,6
Заміна подвійного скла на потрійне:		
підвищення термічного опору	12,9	3,4
зниження неорганізованого повітрообміну	4,1	1,1
Утилізація теплоти витяжного повітря	44,3	11,7
Установка змішувачів з лівим розташуванням крана гарячої води і кранів з регульованим напором	0,4	0,1
Облік побутових тепловиділень	76,2	20,1
Облік теплонадходження від сонячної радіації через вікна	28,9	7,6
Разом	248,5	65,6

## 9 АЛЬТЕРНАТИВНА ЕНЕРГЕТИКА

### 9.1 Сонячна енергетика

Сонячна енергетика – напрямок альтернативної енергетики, який безпосередньо використовує сонячне випромінювання в будь-якому вигляді. Сонячна енергетика використовує поновлюване джерело енергії і є «екологічно чистою», тобто під час активної фази використання не виробляється шкідливих відходів [35,36].

Потік сонячного випромінювання, що проходить через площу 1 м<sup>2</sup>, що розташована перпендикулярно потоку випромінювання, на вході в атмосферу Землі, дорівнює 1367 Вт/м<sup>2</sup>, а максимальний потік сонячного випромінювання на рівні моря на екваторі – 1020 Вт/м<sup>2</sup>.

Переваги сонячної енергетики:



- перспективність, доступність, невичерпність джерела енергії;
- теоретична повна безпека для навколишнього середовища, однак існує ймовірність того, що повсюдне впровадження може призвести до зміни клімату.

Недоліки сонячної енергетики:

- залежність від погоди і часу доби;
- сезонність в середніх широтах;
- висока вартість конструкції установки, пов'язана із застосуванням рідкісних металів: індій, телур;
- необхідність періодичного очищення відбиваючих і поглинаючих поверхонь від забруднень;
- нагрівання атмосфери над електростанцією;
- необхідність використання великих площ;
- складність виробництва та утилізації самих фотоелементів у зв'язку з вмістом в них отруйних речовин (свинець, кадмій, миш'як і т.д.).

У 1985 р. всі сонячні потужності світу становили 0,021 ГВт, в 2012 р. загальна потужність геліоенергетичних установок виросла до 100 ГВт.

В грудні 2011 р. в Україні завершено будівництво останньої, п'ятої, черги потужністю 20 МВт сонячного парку в Перово (АР Крим), в результаті чого його сумарна потужність зросла до 100 МВт.

У 2001 р. вартість електроенергії, отриманої на сонячних колекторах, становила \$0,09...0,12 за кВт/год. За прогнозами департаменту енергетики США вартість електричної енергії, виробленої сонячними установками, до 2015-2020 рр. знизиться до \$0,04...0,05 за кВт/год.

У світі почалося будівництво гібридних електростанцій. В денний час доби електроенергія виробляється параболічними концентраторами, а вночі класичними (при згорянні традиційного палива).

Швейцарська компанія Clean Hydrogen Producers (CHP) розробила технологію виробництва водню з води за допомогою параболічних сонячних концентраторів. Площа дзеркал становить 93 м<sup>2</sup>, в фокусі досягається температура 2200 °С. При температурі 1700 °С вода починає розділятися. За світловий день 6,5

годин установка СНР продуктивністю  $6,5 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2$  може розділити на водень і кисень 94,9 літрів води. Таким чином вихід  $\text{H}_2$  складає 10,4 кг в день або 3800 кг на рік.

На даний час в Україні отримана сонячними батареями електроенергія має високу собівартість. З часом вона знизиться за рахунок використання дешевших матеріалів і нових технологій її отримання. Напрямок сонячної енергетики перспективний, в нього можливе реальне вкладення інвестицій. В 58 країнах світу Сонце стало найдешевшим джерелом енергії.

Отримання теплової енергії за рахунок сонячного випромінювання шляхом нагрівання води, значно дешевше за інші способи, насамперед за рахунок використання доступних матеріалів (сталь, мідь, алюміній і т.д.), так як не застосовується дефіцитний кремній. Це дозволяє значно скоротити вартість устаткування і виробленої в ньому енергії. У сучасний час саме сонячний нагрів води є найефективнішим способом перетворення сонячної енергії.

На даний час сонячна енергетика є «невичерпним» ресурсом в південних і середніх широтах. За прогнозами фахівців, до 2022 р. середня ціна на сонячну енергію впаде на 27 %, тобто щорічно знижуватиметься в середньому на 4,4%, що приблизно близько \$0,02 центів за 1 кВт/год.

## 9.2 Вітряна електроенергія

Вітроенергетика - галузь енергетики, що спеціалізується на перетворенні кінетичної енергії повітряних мас в атмосфері в електричну, механічну, теплову або в будь-яку іншу форму енергії, зручну для використання в народному господарстві [37].

Енергію вітру відносять до поновлюваних видів енергії, так як вона є наслідком активності Сонця, вона є галуззю, що бурхливо розвивається. У 2014 р. кількість електроенергії виробленої всіма вітрогенераторами світу, становить

$706 \cdot 10^{12}$  Вт·год або 3 % усієї виробленої людством електроенергії. В деяких країнах частка енергії, добутої з вітру досить значна: Данія – 42 %, Португалія – 27 %, Іспанія – 20 %, Німеччина – 8 %, ЄС (в цілому) – 7,5 %.

На відміну від викопного палива, енергія вітру практично невичерпна, повсюдно доступна і більш екологічна. Однак, спорудження вітряних електростанцій пов'язане з деякими труднощами технічного і економічного характеру, що уповільнюють поширення вітроенергетики. Зокрема, мінливість вітрових потоків.

До початку 2015 року загальна встановлена потужність усіх вітрогенераторів в світі складає  $369 \cdot 10^9$  Вт. Середнє збільшення суми потужностей всіх вітрогенераторів в світі, починаючи з 2009 р., становить 38...40 ГВт на рік, і обумовлено бурхливим розвитком вітроенергетики. В Європі сконцентровано 44 % вітрогенераторів, в Азії – 31 %, в Північній Америці – 22 %.

Вартість виробництва електрики на офшорних вітроелектростанціях коливається в межах 0,125...0,2 \$ кВт/год. Компанія Siemens прагне знизити до 2020 року вартість вітроелектрики нижче 0,120 \$ кВт/год.

Потенційні запаси енергії вітру більш ніж в сто разів перевищують потенційні запаси гідроенергії всіх річок планети.

Основна частина вартості вітроенергетики визначається початковими витратами на будівництво споруд вітряних енергоустановок (ВЕУ). Вітряні генератори в процесі експлуатації не споживають викопного палива. Робота ВЕУ потужністю 1 МВт за 20 років дозволяє заощадити приблизно 29 000 тон вугілля або 92 000 барелів нафти.

Собівартість електроенергії, виробленої вітрогенераторами, залежить від швидкості вітру (див. таблицю 9.1).

Таблиця 9.1 – Собівартість електроенергії, отриманої з вітру

Швидкість вітру, м/с	Собівартість (для США, 2004 р.), \$/кВт·год
7,16	0,048
8,08	0,036
9,32	0,026

Для порівняння собівартість електрики вироблених на вугільних електростанціях США 0,09...0,30 \$/кВт·год.

У зв'язку з постійним зростанням цін на традиційні види палива (вугілля, нафта, газ) собівартість електроенергії виробленої на ВЕУ буде постійно знижуватися, що не менш важливо для сучасного стану українського енергетичного комплексу. Іншими економічними проблемами виробництва вітряної електроенергії є нерегульовані джерела енергії. Вироблення вітроенергії залежить від сили вітру – фактора, що відрізняється великою мінливістю. Відповідно і видача електроенергії з ВЕУ в енергосистему відрізняється великою нерівномірністю як в добовому, так і в тижневому, місячному, річному і багаторічних межах.

Великі ВЕУ мають значні проблеми з ремонтом, оскільки заміна великої деталі на висоті понад 100 метрів являється складним і дорогим заходом.

У світі вважається, що застосування ВЕУ в побуті для забезпечення електроенергією мало доцільно через:

- високу вартість інвертора, приблизно 50 % вартості всієї установки;
- високу вартість акумуляторних батарей, приблизно 25 % вартості установки;
- для забезпечення надійності електропостачання до такої установки іноді додають дизель-генератор, вартість якого можна порівняти з ціною всієї установки.

Основними факторами що призводять до подорожчання електроенергії, отриманої від вітрогенератора, є:

- необхідність отримання електроенергії промислової якості 220 В, 50Гц;

- необхідність автономної роботи протягом деякого часу (потрібне застосування акумуляторів);
- необхідність тривалої безперебійної подачі електроенергії споживачам (необхідне застосування дизеля-генератора).

В даний час за допомогою вітрогенераторів економічно найдоцільніше не виробництво електроенергії промислового якості, а отримання постійного або змінного струму з подальшим перетворенням його за допомогою теплових нагрівачів (ТЕНів) в тепло для обігріву житла і отримання гарячої води.

Дана схема має кілька переваг:

- опалення будівель є основним споживачем теплової енергії;
- схема вітрогенератора і керуючої автоматики значно спрощуються та здешевлюються;
- схема автоматики може бути в самому простому випадку побудована на кількох теплових реле;
- в якості акумулятора енергії для опалення та гарячого водопостачання можна використовувати звичайний бойлер з водою;
- споживання тепла менш вимогливе до якості і безперебійності подачі електроенергії: температуру повітря в приміщенні можна підтримувати в широкому діапазоні від 19 °C до 25 °C, а температуру в бойлерах гарячого водопостачання від 40 °C до 95 °C, без шкоди для споживачів.

Вітрогенератор потужністю 1 МВт скорочує щорічні викиди в навколишнє середовище, а саме: 1800 тон  $\text{CO}_2$ , 9 тон  $\text{SO}_2$ , 4 тони оксидів азоту  $\text{NO}_x$ .

При масовому використанні вітряків вилучається частина кінетичної енергії рухомих мас повітря. Теоретично це уповільнення може помітно впливати на локальні або навіть глобальні кліматичні умови місцевості. Зокрема використання швидкості вітру здатне зробити клімат регіону трохи більш континентальним за рахунок того, що повітряні маси рухаються повільніше і встигають сильніше нагрітися влітку і охолودитися взимку.

Згідно моделювання Стенфордського університету, великі офшорні вітроелектростанції можуть істотно послабити урагани, зменшуючи їх негативні наслідки. ВЕУ виробляють два різновиди шуму:

- механічний шум – шум від роботи механічних та електричних компонентів (в сучасних установках відсутній);
- аеродинамічний шум – шум від взаємодії вітрового потоку з лопатями установки.

Шум від вітрогенератора складає від 35 дБ до 45 дБ. Низькочастотні вібрації (коливання) передаються через ґрунт та викликають відчутне деренчання скла в будинках на відстані до 60 м від вітроустановок. Турбіни займають лише 1 % від усієї території вітряної ферми, на 99 % території ферми можна займатися сільським господарством або іншою діяльністю. Вкладення інвестицій в ВЕУ на даний час проблемне, так як окупність об'єктів розтягнеться до 10 і більше років, в залежності від вартості електроенергії і рози вітрів на території вітряної ферми.

За прогнозами аналітиків, в найближчі роки вітроенергетика в Україні буде розвиватися швидше, в порівнянні з іншими видами відновлювальної енергетики, а загальна потужність вітропарків перевищує потужність сонячних – в 10 разів. На думку експертів, це зумовлено тим, що в порівнянні з фотоелектричними модулями, при однаковій потужності, вітроустановки займають меншу площу і коштують набагато дешевше.

Переваги вітроенергетики:

- низька собівартість – вітроенергетика може конкурувати з ядерною, вугільною та газовою енергетикою;
- нульова вартість паливної складової; джерело енергії невичерпне і присутнє у значній кількості;
- вітроенергетика екологічно «чиста», тобто виробництво енергії не супроводжується викидами  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$  і т.д.;
- вітроенергетика не має ризиків, пов'язаних з нестабільністю цін на паливо, що добувається;

- надійність поставок – вітроенергетика дозволяє уникнути залежності від імпорту енергоресурсів;
- модульний дизайн і швидкий монтаж установок;
- обсяги електропостачання можна порівняти з традиційними способами генерації енергії;
- вітроенергетика не заважає веденню сільського господарства та промислової діяльності поблизу вітростанцій.

### 9.3 Альтернативні органічні місцеві джерела енергії

#### 9.3.1 Лушпиння соняшнику

Оскільки останнім часом спостерігається активація діяльності щодо гранулювання лушпиння соняшнику і експорту цієї продукції в багато країн Європи. Таким чином, Україну можна розглядати як досить потужним джерелом альтернативної енергії і сировини для виробництва твердих біопалив високої якості.

Теплотворна здатність гранул лушпиння близько 20 МДж/кг, зольність 3 %, густина  $\rho = 1,15 \text{ г/см}^3$ , теплотворна здатність  $Q = 5063 \text{ ккал/кг}$ .

Недоліки спалювання лушпиння: потрібні сучасні котли, які мають певні фільтри, що забезпечують екологічну безпеку, тому що лушпиння містить певну кількість масла, яке згорає і забруднює навколишнє середовище і забиває сажею газоходи.

### 9.3.2 Паливні брикети

Паливні брикети виготовляють з наступної сировини: солома, тирса, відходи деревини, лушпиння рисове, соняшникове, гречки.

Характеристика складових паливних брикетів:

- солома: 7,3 % золи,  $Q = 4010$  ккал/кг,  $\rho = 1,08$  г/см<sup>3</sup>;
- тирса: 0,7 % золи,  $Q = 4300$  ккал/кг,  $\rho = 1,37$  г/см<sup>3</sup>;
- деревна тирса: 1,1 % золи,  $Q = 4800$  ккал/кг,  $\rho = 0,79$  г/см<sup>3</sup>.

Брикети пресуються при високому тиску, тому вологість їх менше ніж у дров. При вологості 20 % теплотворна здатність брикетів від 4500 ккал/кг до 4900 ккал/кг. Щільність брикету від 0,95 г/см<sup>3</sup> до 1 г/см<sup>3</sup>, а дуба – 0,8 г/см<sup>3</sup>, тому і теплотворна здатність брикету вище. Якщо висушити сировину добре, то збільшується її тепловіддача.

Переваги брикетів як палива:

- займають менше місця;
- рівномірно і довше горять;
- виробляються з відходів;
- за рахунок низької вологості брикети виділяють менше сажі і менше забруднюють димоходи.

Недоліки брикетів:

- вартість однієї маси брикетів вище за дрова, але це нівелюється вищою енергетичною цінністю;
- вологі брикети розсипаються, тому їх треба зберігати в закритому провітрюваному приміщенні;
- не всі виробники виробляють якісні брикети, тому важливо купувати брикети відомих виробників.

Висновки: дві головні переваги брикетів перед дровами – більш висока тепловіддача і зручність використання.



### 9.3.3 Солома

Солома – це сухі стебла злакових і бобових зернових культур, що залишаються після обмолоту, а також стебла льону, конопель та інших рослин, звільнені від листя, суцвіть, насіння.

Переваги соломи як палива, полягають в тому, що щорічно поновлюється її ресурс і вона в наявності в більшості сіл. Солома – доступне місцеве паливо, яке може використовуватися в системах опалення виробничих та адміністративних будівель, об'єктів соціальної сфери села (шкіл, дитячих садків, лікарень і т.д.). Використання соломи дозволяє забезпечити перераховані об'єкти власним паливом незалежно від сторонніх постачальників, заощадити на придбанні традиційних енергоносіїв. Солома має теплотворну здатність  $Q = 4010$  ккал/кг. Токування дозволяє механізувати ряд операцій при зберіганні і транспортуванні соломи, а якщо виробляти гранули, то зберігання і спалювання значно спрощується. Останнім часом соломі, як паливу, приділяють велику увагу в Західній Європі, а найближчі сусіди України, Молдова і Білорусь рішуче взялися за впровадження біоенергетичних технологій.

Солома для транспортування, зберігання і подальшого використання пресується в рулони і блоки. З точки зору фізики, солома – це висококалорійне паливо. Кілограм соломи дає в середньому близько 3 кВт·год електроенергії, при спалюванні 3 кг соломи виділяється така ж кількість теплової енергії, як при спалюванні 1 літра дизельного палива або 1 м<sup>3</sup> природного газу.

Спалювання тюків соломи в спеціальних топках має суттєві недоліки:

- дорогі установки для спалювання (котли);
- невисокий ККД таких установок;
- незручність в застосуванні через великі габарити.

Більш раціональним на сьогоднішній день є отримання палива з соломи шляхом брикетування. Перевага паливних брикетів очевидна, тому що щільність брикетів із соломи досягає  $\rho = 1,3$  кг/дм<sup>3</sup>. Вартість тонни соломи в тюках, при

радіусі доставки в 25 км, складає 750 грн. В цю ціну входить весь цикл від збору соломи до вивантаження на складі.

Міжнародні організації готові кредитувати біоенергетику. Датський фонд допомоги агробізнесу IFU пропонує кредити на закупівлю обладнання для соломоспалювальних заводів. Перед цим датські фахівці оцінюють проект, щоб переконатись в його перспективності. Європейський банк реконструкції та розвитку (ЄБРР) теж дає кредити енергогенеруючим компаніям.

Відновлювана енергетика стає популярною у всьому світі, а інвестиції в неї вперше перевершили вкладення в традиційні способи виробництва енергії. Але щоб в українську біоенергетику «прийшов» великий капітал, потрібно створити якісний бізнес-план. Адже інвестиційний горизонт в таких проектах становить близько 8 років, а інвестори хочуть впевненості в майбутньому.

#### 9.4 Світлодіодне освітлення (LED)

Світлодіодне освітлення – один з напрямків енергетики, який в останні роки стабільно розширюється, має великі перспективи використання та постійне нарощення темпів зростання [36].

Сучасні технології освітлення використовують світлодіоди в якості джерел світла. Ця технологія створює максимально комфортні умови при використанні мінімальних енергетичних ресурсів. Світлодіодне освітлення має суттєві переваги перед традиційними джерелами світла (лампи накаливання, люмінесцентні, ДРЛ та ДНаТ).

Сучасні вітчизняні світлодіодні світильники відрізняються якістю, надійністю і відповідають сучасним вимогам та стандартам. Освітлення в робочих, житлових та технічних приміщеннях з використанням світлодіодного обладнання, суттєво (від 3 до 5 разів) знижує витрати електроенергії та швидко окупається.

Світлодіодне освітлення промислових підприємств, складів, торговельних комплексів, модернізація міських мереж вуличного освітлення, об'єктів ЖКГ та інших, з використанням світлодіодних світильників є вигідним та ефективним проектом. Багато передових країн світу переходить на світлодіодне освітлення.

Споживання електроенергії при світлодіодном освітленні зменшується приблизно в 5 разів. При роздрібній ціні світильника в 2000 році річна економія складала 1029 грн., окупність 2 роки.

Переваги світлодіодного освітлення:

- великий термії служби світлодіодів;
- значна економія спожитої електроенергії – завдяки високій віддачі світлодіодів, тобто для створення необхідного світлого потоку потрібен менший струм;
- економічна безпека; світлодіодного освітлення не потребує спеціальної утилізації, тому що світлодіоди не містять ртуті та скляної колби;
- світлодіоди не вимагають обслуговування протягом терміну служби;
- завдяки корпусу з алюмінію та пластику світлодіодні світильники стійкі до вітру та механічного впливу;
- повна відсутність у спектрі ультрафіолетового випромінювання;
- широкий діапазон робочих температур від  $-60^{\circ}\text{C}$  до  $+40^{\circ}\text{C}$ ;
- відсутність стробоскопічного ефекту (мерехтіння, мигання);
- можливість регулювання рівня освітлення або підтримка заданого рівня на протязі доби;
- миттєвий запуск і вихід на робочий режим освітлення;
- відсутність великих струмів запуску;
- спектр випромінювання близький до сонячного світла, що покращує сприйняття кольорів;
- спрямованість випромінювання.

Недоліки світлодіодного освітлення:

- залежність довговічності світильника від якості виготовлення та відведення тепла;

- різке скорочення терміну служби лампи в середовищі з температурою вище 60°C;
- наявність сліпучого ефекту (без прийняття спеціальних заходів по розсіюванню і захисту зору).

Світлодіодне освітлення знаходить широке застосування в багатьох сферах життя і діяльності людей завдяки своїм незаперечливим перевагам і прагненню виробників вирішати специфічні проблеми світлодіодних світильників. Отже можна зробити висновок, що світлодіодні лампи можуть застосовуватися там де потрібне надійне, економічне та якісне світло.

#### 9.5 Будівництво котелень на альтернативних видах палива

Ще влітку 2014 р. Кабінет Міністрів України запустив програму переобладнання котелен із газу на альтернативні види палива. На реалізацію цієї програми уряд щороку виділяє з державного бюджету 0,5 мільярда гривень.

Навесні 2017 року прийнято зміни до Закону України «Про теплопостачання» щодо стимулювання виробництва теплової енергії з альтернативних джерел енергії. Перед обласними державними адміністраціями була поставлена задача перевести котельні, які опалюють об'єкти соціальної та бюджетної інфраструктури (лікарні, школи, дитячі садки, адміністративні будинки) на альтернативні джерела тепла.

## ВИСНОВКИ

В даній роботі здійснені науково-обґрунтовані розробки в галузі енергоефективності, що надає можливість вирішення важливої науково-технічної і практичної проблеми для України, в цілому, і для Запорізької області зокрема, – економічне використання енергоресурсів та забезпечення енергоефективної роботи енергогенеруючих підприємств та споживачів на об'єктах комунальної сфери.

Виходячи з компаративного аналізу існуючих систем та методик оцінки енергоефективності енергетичних об'єктів, встановлено, що переважним є централізоване теплопостачання. Однак, при розробці альтернативних систем тепло забезпечення слід надавати перевагу джерелам комбінованого виробництва електро- і теплової енергії, використовувати поновлювані джерела енергії.

Для істотного зниження енергоспоживання при централізованому теплозабезпеченні втілити комплексний підхід, який включає термомодернізацію будівель, модернізацію мереж і джерел теплопостачання; застосувати сучасні системи електроопалення з автоматичним регулюванням температури повітря в приміщенні і енергоефективністю близькою до 100 %, отримувати економію енергії в порівнянні зі старими водяними системами опалення; втілити нормативні вимоги по забезпеченню тепловою стійкістю систем опалення: з підвищенням температури зовнішнього повітря необхідно не тільки зменшувати температуру носія, а й зменшувати його витрату.

Розроблено критерії визначення основних характеристик обладнання для опалення окремих будівель. Розроблено критерії визначення втрат тепла в теплових мережах при транспортуванні теплової енергії. Наведено приклади розрахунків, за результатами яких можна обрати найбільш енергоефективне обладнання.

Розроблено критерії теплозабезпечення приміщень різних типів із врахуванням додаткових обігрівачів, типу будівельних матеріалів та утеплювачів

стін, дахів, дверей та вікон із застосуванням сучасних матеріалів та технологій їх впровадження. Попередня перевірка розрахунків для обраних типових будівель показала їх достовірність.

Розроблено критерії оцінки інвестиційних проектів щодо забезпечення енергоефективності на об'єктах комунальної власності. Розроблено рекомендації щодо впровадження комплексних заходів для забезпечення ефективного енергозбереження на рівні європейських стандартів. Представлено 3 типи коефіцієнтів ефективності інвестицій, кожен з яких характеризує інвестиційну привабливість об'єктів за трьома показниками: проект варто прийняти; проект варто відхилити; проект є ані прибутковим, ані збитковим. Проведена порівняльна характеристика типів коефіцієнтів та надано рекомендації щодо вибору найбільш прийняттого розрахунку.

Розглянуто види різних палив та їх фізичні й теплотехнічні характеристики, надано рекомендації щодо особливостей використання палив у різних агрегатах.

Розроблено та запропоновано методику оцінки енергоефективності будівель комунальної власності, яка дає можливість найбільш об'єктивно обрати типи опалювальних систем, матеріали для утеплення стін, дахів, підлог та заміни вікон і дверей, які є більш ефективними у порівнянні з базовим проектом.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Директива 2006/32/ЕС Европейского Парламента и Совета от 5 апреля 2006 г. об эффективности конечного использования энергии и энергетических услугах, а также об отмене Директивы Совета 93/76/ЕЭС. [Электронный ресурс]. – Совет Европейских Сообществ. – 2012. – Режим доступа: [http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id\\_doc=54005](http://online.budstandart.com/ru/catalog/doc-page?id_doc=54005)

2. Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC [Электронный ресурс]. – European Parliament and of the Council. – 2012. – Режим доступа: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/energy-efficiency-directive>

3. Обеспечение энергоэффективности: Развитие энергетической политики, задачи и возможности [Электронный ресурс] // Секретариат Энергетической Хартии, 2007. – 246 с. – Режим доступа: [http://www.energycharter.org/fileadmin/DocumentsMedia/Thematic/Delivering\\_Energy\\_Efficiency\\_2007\\_ru.pdf](http://www.energycharter.org/fileadmin/DocumentsMedia/Thematic/Delivering_Energy_Efficiency_2007_ru.pdf)

4. Политика повышения энергоэффективности: передовой опыт. Структурированный анализ существующих оптимальных подходов к повышению энергоэффективности в целях смягчения изменения климата и устойчивого развития [Текст] / И. И. Литвинюк, Р. Тромоп, В. Бадакери др. – Нью-Йорк, Женева: Организация Объединенных Наций, 2015. – 84 с.

5. Про енергозбереження [Електронний ресурс]: Закон України: [прийнятий Постановою Верховної Ради України №75/94-ВР від 01 липня 1994 р.: станом на 08 червня 2017 р.]. – Режим доступу: <http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/74/94-вр>

6. Ukraine: Balances for 2015. [Электронный ресурс]. – International Energy Agency. – 2017. – Режим доступа: <http://www.iea.org/statistics/statisticsearch/report/?year=2015&country=UKRAINE&product=Balances>

7. Семиколонова Я. Модернизация системы централизованного теплоснабжения в Украине: учет тепла и внедрение платежей на основе его фактического потребления [Электронный ресурс] / Я. Семиколонова, Л. Пирс, Д. Ганкинсон. – Международный банк реконструкции и развития. – 2012. – 64 с. – Режим доступа: [http://teplydim.com.ua/static/storage/files/files/WB\\_Ukraine%20DH%20report%20Feb\\_RUS.pdf](http://teplydim.com.ua/static/storage/files/files/WB_Ukraine%20DH%20report%20Feb_RUS.pdf)

8. Губарь, Е. Тепло в кредит. [Электронный ресурс] / Е. Губарь. – LB.ua. – 2015. – Режим доступа: [https://lb.ua/economics/2015/11/06/320017\\_teplo\\_kredit.html](https://lb.ua/economics/2015/11/06/320017_teplo_kredit.html)

9. Про енергетичну ефективність будівель [Электронный ресурс]: Закон України: [прийнятий Постановою Верховної Ради України № 1996-VIII від 22 червня 2017 р.: станом на 22 червня 2017 р.]. – Режим доступа: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/2118-19>

10. Пырков, В. Энергоэффективность зданий Украины: основы расчета [Электронный ресурс] / В. Пырков. – AW Therm. – 2017. – Режим доступа: <https://aw-therm.com.ua/energoeffektivnost-zdaniy-ukrainy-osnovy-rascheta>

11. Земцов, А. В. Оценка эффективности инвестиционного проекта [Электронный ресурс] / А. В. Земцов. – Банковское кредитование. – 2008. – № 6. – С. 33.

12. Фрейдкина, Е. М. Методы и критерии оценки эффективности энергосбережения [Текст] : уч. пособие / Е. М. Фрейдкина. – СПб.: СПбГТУРП, 2013. – 52 с.

13. Теплотехника [Текст] / Под ред. проф. В. И. Крутова. – М.: Машиностроение, 1986. – 432 с.

14. Ломакин, А. А. Центробежные и осевые насосы [Текст]. – 2-е изд. / А. А. Ломакин. – М.-Л.: Машиностроение, 1986. – 364 с.

15. Гидравлика, гидравлические машины и гидравлические приводы [Текст] / Т. М. Башта, С. С. Руднев, Б. Б. Некрасов и др. – М.: Машиностроение, 1990. – 504 с.



16. Попырин, Л. С. Математическое моделирование теплоэнергетических установок [Текст] / Л. С. Попырин. – М.: Машиностроение. – 1978. – 416 с.
17. Пеккер, Я. Л. Теплотехнические расчеты по приведенным характеристикам топлива (обобщенные методы) [Текст] / Я. Л. Пеккер. – М.: Энергия, 1987. – 256 с.
18. Матеріали виставки АКВАТЕРМ. 29.05–02.06.2017 р., м. Київ. Міжнародний виставковий центр.
19. Краснощеков Е. А. Задачник по теплопередаче [Текст]. – 4-е изд., перераб. / Е. А. Краснощеков, А. С. Сукомел. – М.: ЭКОЛИТ, 2011. – 288 с.
20. СНиП 2.04.07-86\* Тепловые сети [Текст]. – Взамен СНиП II-Г.10-73\* ; введ. 1994–01–21. – М.: Минстрой России, 1994 – 48 с. – 90 с. – (Строительные нормы и правила).
21. СНиП 2.04.14-88 Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов [Текст]. – Взамен СНиП 2.04.07-86; введ. 1997–12–31. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1998. – 28 с. – (Строительные нормы и правила).
22. СНиП 2.04.05-91\*У. Отопление, вентиляция и кондиционирование [Текст]. – Взамен СНиП 2.04.05-91; введ. 1996–06–27. – К.: ЗНИИЭП, 1996.– 89 с. – (Строительные нормы и правила).
23. Андриященко, А. И. Теплофикационные установки и их использование [Текст] / А. И. Андриященко, Р. З. Аминов, Ю. М. Хлебалин. – М.: Высш. шк., 1989. – 256 с.
24. Румянцева, И. А. Эффективные теплоизоляционные материалы и изделия в московском строительстве [Текст] / И. А. Румянцева // 6-я конф. РНТОС, 26-28 апреля 2001 г.: Сб. докладов. – СПб: РНТОС. – С. 227–234.
25. Самарин, О. Д. О методике оценки энергоэффективности зданий. [Электронный ресурс] / О. Д. Самарин // «Современные системы теплогазоснабжения и вентиляции» : Сб. трудов, посвященный 75-летию факультета ТГВ МИСИ-МГСУ). – М.: МГАСУ. – 2003. – С. 25–31.

26. СК-2 (П2.02-2003). Перечень типовой документации общественных зданий для строительства в городах и поселках городского типа [Текст]. – Введ. П2.02-2003. – М.: ГУП ЦПП, 2003. – 197 с. (Строительный каталог).

27. СНиП II-3-79\*. Строительная теплотехника [Текст]. – Взамен СНиП II-A.7-71; введ. 1979–07–01. – М.: ГУП ЦПП, 1998. – 35 с. – (Строительные нормы и правила).

28. Иванов, Г. С. Методика оптимизации уровня теплозащиты зданий [Текст] / Г. С. Иванов // Стены и фасады. – 2001. – № 1-2. – С. 7–10.

29. СНиП 23-01-99. Строительная климатология [Текст]. – Взамен СНиП 2.01.01-82 ; введ. 1999–06–11. – М.: ГУП ЦПП, 2000. – 58 с. – (Система нормативных документов в строительстве).

30. МГСН 2.01-99. Энергосбережение в зданиях [Текст]. – Взамен МГСН 2.01-94; введ. 1999–02–23. – М.: Москомархитектура, 1999. – 51 с. – (Система нормативных документов в строительстве).

31. Территориальные строительные нормы проектирования энергосберегающих зданий (Проект) [Текст] // Окна и двери. – 2002. – № 1. – С. 41–46.

32. СНиП 2.04.01-85\*. Внутренний водопровод и канализация зданий [Текст]. – Взамен СНиП II-30-76 и СНиП II-34-76 ; введ. 1986–07–01. – М.: ГУП ЦПП, 2000. – 81 с. – (Строительные нормы и правила).

33. Васильев, Г. П. Результаты натурных исследований теплового режима экспериментального энергоэффективного дома [Текст] / Г. П. Васильев // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2002. – № 6. – С. 3–5.

34. ВСН 59-88. Электрооборудование жилых и общественных зданий. Нормы проектирования [Текст]. – Взамен СН 543-82 и СН 544-82 ;. 1988–12–02. – М.: Госкомархитектура, 1990. – 88 с. – (Ведомственные строительные нормы).

35. Никитин, Д. Трудный путь к солнцу: согреет ли Россию солнечная энергетика. [Электронный ресурс]. / Д. Никитин. – РБК. – 2013. – Режим доступа: <https://www.rbc.ru/economics/17/06/2013/57040a8a9a7947fcbd44a26c>

36. Как восток Украины отходит от традиционной энергетики: главные «зеленые» проекты. [Электронный ресурс]. – ЭлектроВести. – 2017. – Режим доступа: [http://elektrovesti.net/52408\\_kak-vostok-ukrainy-otkhodit-ot-traditsionnoy-energetiki-glavnye-zelenye-proekty](http://elektrovesti.net/52408_kak-vostok-ukrainy-otkhodit-ot-traditsionnoy-energetiki-glavnye-zelenye-proekty)

37. Ветроэнергетика [Текст] / Под редакцией Д. де Рензо ; пер. с англ. В.В. Зубарева и М.О. Франкфурта ; под ред. Я.И. Шефтера. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 271 с.

38. Пачколін, Ю. Е. Заходи енергоефективності освітлення та зменшення обсягів споживання електроенергії [Текст] : Методичні рекомендації / Ю. Е. Пачколін. – Запоріжжя: Зелений парус, 2016. – 476 с.

39. Коваленко, М. П. Енергозбереження – пріоритетний напрям державної політики України [Текст] / М. П. Коваленко, С. П. Денисюк. – К.: ЧЕЗ, 1998. – 425 с.

## ДОДАТОК А

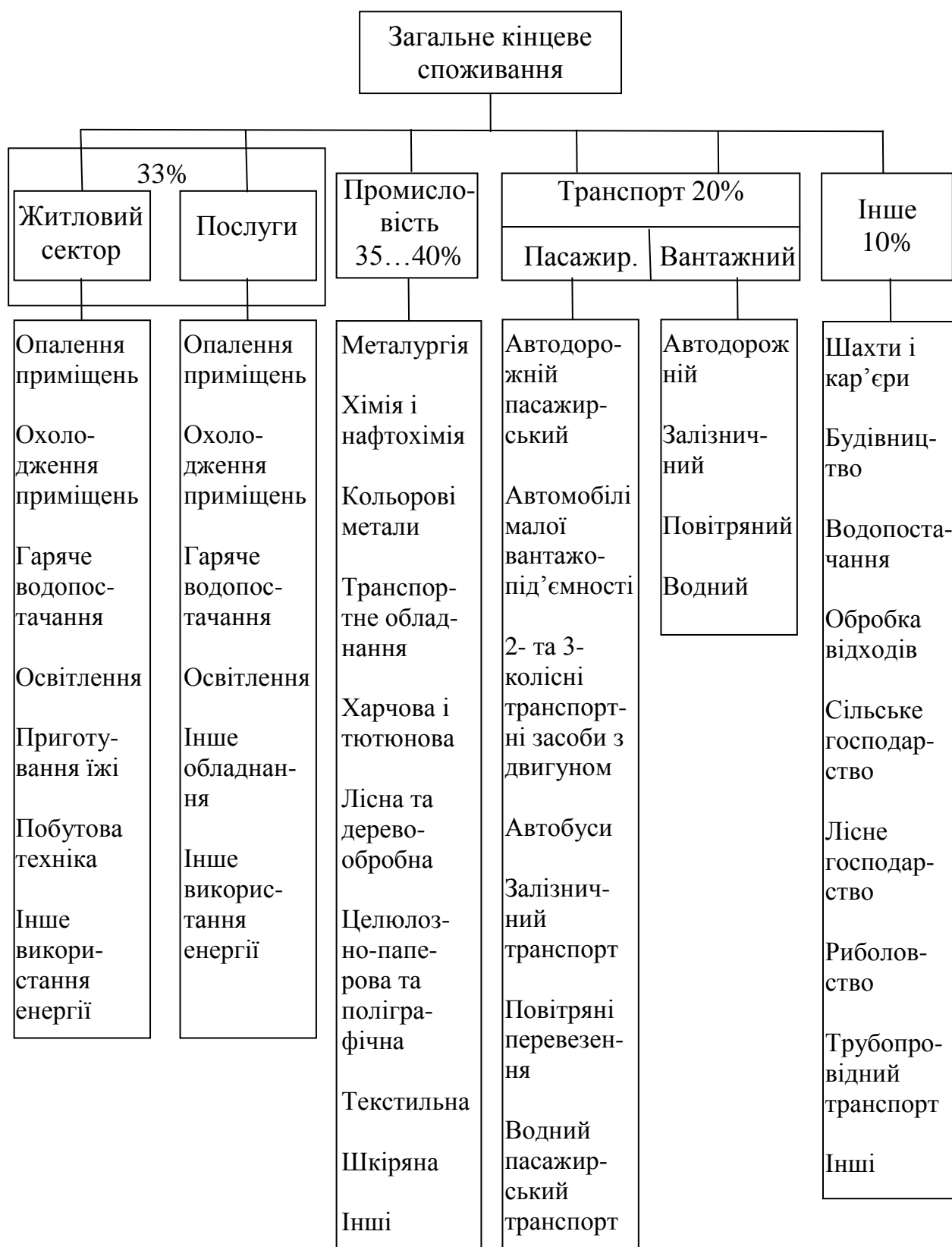


Рисунок А.1 – Структурно-логічна схема енергоспоживання в Україні

## ДОДАТОК Б

Таблиця Б.1 – Експертні оцінки енергоефективності заходів з економії палива при виробництві тепла в котельних [38]

Назва заходів	Економія (перевитрати) палива, %
Збільшення коефіцієнта надлишку повітря в топці на 0,1 від оптимальної величини призводить до втрат палива	-0,7
Зменшення присмоку повітря в газовому тракті на 0,1 від номіналу призводить до економії палива	0,5
Зниження температури вихідних газів (як результат заходів) призводить до економії палива (на кожні 10 °С)	0,6
Підігрівання води у водяному економайзері на кожні 6 °С від 0 °С призводить до економії палива	1,0
Переведення парового котла на нагрівання води призводить до економії палива	2,0
Відхилення нагрівання води від проектного значення на 10 % при зменшенні при збільшенні	-0,2 -0,5
Наявність накипу на внутрішній поверхні котла товщиною 1 мм призводить до втрат	-2,0
Експлуатація котла в режимі зниженого тиску призводить до втрат	-6,0
Зменшення присмоку повітря в топку і газоходи котлів на 0,1 %	0,5
Упровадження обдувних апаратів для очищення поверхні нагрівання котлоагрегату від золи та сажі	1,5
Своєчасне вилучення накипу з внутрішнього боку поверхні нагріву котла	1,5

Таблиця Б.2 – Перелік організаційно-технічних заходів та відсоток можливої економії паливно-енергетичних ресурсів [38]

Назва заходів	Економія ПЕР, %
1	2
<b>1. Котельні установки</b>	
Упровадження автоматики на опалювальних котельнях	6...7
Рациональне завантаження існуючого котельного обладнання	2...3
Використання промислових відходів (деревини) як палива	80
Своєчасне виконання профілактичних ремонтів	3,5...4
Налагоджування хімводоочищення котлової води для отримання безнакипного режиму роботи котлів	до 3
<b>2. Використання вторинних енергоресурсів</b>	
Застосування котлів-утилізаторів:	
– на твердому паливі	7,5
– на рідкому паливі	5,7
– використання тепло утилізаторів-повітропідігрівачів для подачі підігрітого повітря в топку котла	5,5...6,6
– використання теплоутилізаторів для підігрівання котлової води	3,3
Обладнання котлів поверхневими економайзерами або повітропідігрівачами	5...8
Обладнання котлів контактними водяними економайзерами:	
– при наявності за котлом поверхневого економайзера	8...10
– при відсутності за котлом поверхневого економайзера	12...18
Використання тепла відхідних газів від котла в контактних економайзерах для підігрівання води	15...20
Використання конденсату після технологічного процесу для потреб низькопотенційного споживання в опаленні, вентиляції, гарячому водопостачанні	6...8
Упровадження пристроїв для відведення конденсату до установок, що використовують пару	6
<b>3. Заходи з економії електроенергії в електроосвітлювальних установках</b>	
Заміна ламп розжарювання на:	
– люмінесцентні	40...66
– ртутні	23...57
– газорозрядні	7...12
– металогенні	55...75
– натрієві	57...76
Заміна люмінесцентних ламп на металогенні	до 43

Кінець таблиці Б.2

1	2
Заміна ртутних ламп на – металогенні – натрієві	22...56 26...59
Автоматичне керування зовнішнім та внутрішнім освітленням	15
4. Вентиляційні установки	
Автоматичне регулювання та керування вентиляційними установками залежно від температури зовнішнього повітря	10...15
Відключення вентиляційних установок на час обідньої перерви та передачі зміни	до 20
Застосування багато швидкісних електродвигунів замість регулювання шиберами в напірній лінії	20...30
Блокування вентиляторів теплових завіс з пристроями відкривання та закривання воріт	70

## ДОДАТОК В

Таблиця В.1 – Оцінка ефективності впровадження енергозберігаючих технологій та заходів з економії паливно-енергетичних ресурсів [39]

Група з економії ПЕР	Назва заходу	Очікувана економія ПЕР	Порівняльний показник
1	2	3	4
1.	Економія теплової енергії при опаленні будівель		
	Автоматизація та диспетчеризація котельних, абонентських уводів, центральних теплових пунктів	до 15	Від загальних витрат теплоти
	Встановлення на уводах тепловимірників, контроль за відпуском теплоти	до 5	Те ж
	Перехід в опалювальних системах від теплоносія пари до води	20...30	Від опалювального навантаження
	Зменшення у вихідні та неробочі дні температури в приміщеннях до +10 °С	10...15	Те ж
	Періодичне відключення систем опалення складів, сховищ тощо при плюсових зовнішніх температурах	3...7	Те ж
	Встановлення терморегуляторів і приладів опалення (місцеве регулювання)	6...7	Те ж
	Сторення екранів з алюмінієвої фольги між зовнішньою стіною та нагрівальним приладом	1...5	Те ж
	Періодичне промивання системи опалення	3	Те ж
	Налагодження та вдосконалення роботи регулюючих та опалювальних приладів	2...5	Те ж
2.	Підвищення теплового захисту будинків		
	Збільшення термічного опору зовнішніх огорожень існуючих будинків:		Від опалювального навантаження
	на 10%	2...4	
	на 20%	4...8	



## Кінець таблиці В.1

1	2	3	4
3.	Економія теплової енергії при гарячому теплопостачанні		
	Організація обліку витрат гарячої води  Утилізація теплоти стоків водопостачання	5  6...9	Від витрат тепла на гаряче теплопостачання
4.	Економія теплової енергії в системах вентиляції та кондиціювання повітря		
	Зменшення обміну повітря в нічний час та у вихідні дні до 0,5 л/год, в приміщеннях, що не використовуються  Автоматичне регулювання витяжного повітря  Утилізація теплоти витяжного повітря	Не менше 10  10  5...10	Від витрат теплоти на опалення будинків Від витрат теплоти на вентиляційні системи Від витрат теплоти на підігрівання припливного повітря
5.	Економія палива за рахунок використання теплоти з низьким потенціалом, вторинних енергоресурсів та нових видів енергії		
	Впровадження сонячних пасивних систем опалення на основі архітектурно-планувальних і технічних рішень	30...40	Від загальних витрат теплоти на традиційне опалення будівель

## ДОДАТОК Г

Заходи із заощадження паливно-енергетичних ресурсів і їхня ефективність у будинках (Версія датського технологічного інституту «HANBOG FOR HUSEJERE») [38]:

– зниження температури в опалювальний період у житлових приміщеннях на 1 °С забезпечує 8...10 % заощадження енергії на опалення, але до температури не нижче 13...15 °С;

– теплоізоляція дахів;

– теплоізоляція зовнішніх стін;

– теплозберігаючі вікна.

Таблиця Г.1 – Річне заощадження на 1 м<sup>2</sup> даху

Ізоляція, мм (до)	Ізоляція, мм (після)	Мазут, л	Газ, м <sup>3</sup>	Централізоване теплопостачання, Гкал
0	75	10	9	0,08
	100	11	10	0,09
	150	12	11	0,095
	200	13	12	0,1
	300	15	13	0,11
50	100	2	1,8	0,015
	150	3	2,7	0,023
	200	4	3,6	0,031
	300	5	4,5	0,039

Таблиця Г.2 – Річне заощадження на 1 м<sup>2</sup> даху

Ізоляція, мм (до)	Ізоляція, мм (після)	Мазут, л	Газ, м <sup>3</sup>	Централізоване теплопостачання, Гкал
неізольовані дерев'яні стіни	50	14	13	0,11
	100	16	14	0,12
	200	18	16	0,14
стіни з легкого бетону товщиною 24 см	50	5	4,5	0,039
	100	7	6,3	0,055

Таблиця Г.3 – Річне заощадження на 1 м<sup>2</sup> вікна

Ізоляція, мм (до)	Мазут, л	Газ, м <sup>3</sup>	Централізоване теплопостачання, Гкал
Одинарне	55	50	0,43
Подвійне	26	23	0,20
Потрійне	17	15	0,13
Подвійне низькоенергетичне	13	11	0,10
Потрійне низькоенергетичне	11	10	0,09