

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія»
Кафедра електротехніки та електроенергетики

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
магістра
на тему
ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ КОТЕЛЬНОЇ ТА ЗАХОДИ
ЩОДО ЇХ ПІДВИЩЕННЯ
(тема кваліфікаційної роботи)

Виконав: студент 2 маг. курсу, групи ЗЕБ-24 мг
Спеціальності: 141 Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка
_____/Андрій КРАСКІВСЬКИЙ
(підпис) (ім'я та прізвище)
Керівник _____/ Юлія ОЛІЙНИК
(підпис) (ім'я та прізвище)
Рецензент _____/ Світлана АРТЮХ
(підпис) (ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри _____/ Артем ЧЕРНЮК
(підпис) (ім'я та прізвище)
Секретар ЕК _____/ Ігор КИРИСОВ
(підпис) (ім'я та прізвище)

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ В. Н. КАРАЗІНА**

Навчально – науковий інститут Українська інженерно-педагогічна академія
Кафедра електротехніки та електроенергетики
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітньо-професійна програма Енергетична безпека

**ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри**

(підпис)

к.т.н., доцент Артем ЧЕРНЮК
(науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)

« ____ » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

**на кваліфікаційну роботу дипломну роботу
другого (магістерського) рівня вищої освіти**

здобувачу вищої освіти Андрію КРАСКІВСЬКОМУ

1. Тема «Оцінка енергетичної ефективності котельної та заходи щодо їх підвищення»

затверджена наказом по університету № 4801-5/3665 від «06» жовтня 2025 р.

2. Термін здачі закінченої роботи «15» грудня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи/проєкту: Номінальна напруга магістральних мереж; загальна встановлена потужність енергосистеми, добові та тижневі графіки електричного навантаження, загальна встановлена потужність ВЕС.

4. Зміст роботи/проєкту (перелік питань, які належить розробити):
ВСТУП; РОЗДІЛ 1. ПРОГНОЗУВАННЯ ВІТРОВОЇ ГЕНЕРАЦІЇ; РОЗДІЛ 2. ДВОЕТАПНА ОПТИМІЗАЦІЯ ЕНЕРГОСИСТЕМИ НА ОСНОВІ ВІТРОВОЇ ГЕНЕРАЦІЇ З УРАХУВАННЯМ ПІКОВОГО ТА ЧАСТОТНОГО РЕГУЛЮВАННЯ СИСТЕМ НАКОПИЧЕННЯ ЕНЕРГІЇ; РОЗДІЛ 3. ОПТИМАЛЬНЕ УПРАВЛІННЯ СИСТЕМАМИ ЗБЕРІГАННЯ ЕНЕРГІЇ В ЕНЕРГЕТИЧНИХ СПІЛЬНОТАХ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ З УРАХУВАННЯМ МЕХАНІЗМІВ РЕАГУВАННЯ НА ПОПИТ; ВИСНОВКИ

5.Перелік графічного матеріалу (презентаційний матеріал):

Слайди презентації

6. Консультант:

Розділ	Консультант	Підпис, дата		Оцінка (бали)
		Завдання видав	Завдання прийняв	

7. Дата видачі завдання «12» жовтня 2025 р.

Керівник

(підпис)

Юлія ОЛІЙНИК

(ім'я, прізвище)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Андрій КРАСКІВСЬКИЙ

(ім'я, прізвище)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН-ГРАФІК виконання кваліфікаційної дипломної роботи

№ з/ п	Назва етапів роботи та питань, які мають бути розроблені відповідно до завдання	Термін виконання	Позначки керівника про виконання завдань
1	Визначення актуальності теми дослідження	12.10.25 – 15.10.25	
2	Проведення аналізу наукової літератури	16.10.25 – 23.10.25	
3	Виконання першого розділу магістерської кваліфікаційної роботи	24.10.25– 01.11.25	
4	Виконання другого та третього розділу магістерської кваліфікаційної роботи	02.11.25 – 26.11.25	
5	Оформлення пояснювальної записки	27.11.25 – 07.12.25	
6	Підготовка доповіді, презентації до захисту	08.12.25- 15.12.25	

Студент (ка)

(підпис)

Андрій КРАСКІВСЬКИЙ

(ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

до магістерської роботи на тему

«Оцінка енергетичної ефективності котельної та заходи щодо її підвищення»

КРАСКІВСЬКОГО АНДРІЯ

Магістерська робота виконана на 84 сторінок, містить 23 таблиць, 2 рисунків, що характеризують результати дослідження, використано 24 літературних джерел.

Розглянуто основні теоретичні засади забезпечення енергоефективності котелень, принципи перетворення хімічної енергії палива в теплову, а також поняття коефіцієнта корисної дії (ККД) котельних установок.

Розглянуто нормативно-правову базу України у сфері енергозбереження та методики оцінювання енергетичних показників котельних установок. Особливу увагу приділено сучасним технологіям автоматизації процесів горіння, рекуперації тепла та використанню альтернативних джерел енергії.

Виконано аналіз технічного стану діючої котельної, проведено енергетичний аудит та оцінку основних показників ефективності її роботи.

Виявлено основні недоліки системи теплопостачання: застаріле обладнання, неефективні режими горіння, відсутність системи автоматичного регулювання навантаження, низький рівень теплової ізоляції трубопроводів.

Сформовано перелік технічних та організаційних заходів для підвищення енергетичної ефективності котельної: модернізація котельного обладнання з використанням сучасних енергоощадних технологій; впровадження автоматизованих систем контролю; навчання персоналу основам енергоефективної експлуатації обладнання.

Економічний аналіз показав, що реалізація запропонованих заходів дозволить зменшити споживання палива на 10,5 %, знизити викиди CO₂ та підвищити загальний ККД котельні до 12-15 %. Це сприятиме зменшенню витрат на енергоносії та покращенню екологічних показників підприємства.

ЕЛЕКТРИЧНА ЕНЕРГІЯ, СИСТЕМИ НАКОПИЧЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ, ГЕНЕРАТОР ІМПУЛЬСНОЇ НАПРУГИ, ІМПУЛЬСНІ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ, ДЖЕРЕЛО ВТОРИННОГО ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ

ABSTRACT

to a master's thesis on

«Assessment of the energy efficiency of the boiler house and measures to increase them»

KRASKIVSKYI ANDRII

The master's work is executed on 84 pages, contains 23 tables, 2 drawings, which characterize the results of research, additions, used literary sources 24.

The main theoretical principles of ensuring the energy efficiency of boiler houses, the principles of converting the chemical energy of fuel into thermal energy, as well as the concept of the efficiency coefficient (efficiency) of boiler plants are considered.

The regulatory and legal framework of Ukraine in the field of energy saving and the methodology for evaluating the energy indicators of boiler plants are considered. Special attention is paid to modern technologies for automating combustion processes, heat recovery and the use of alternative energy sources.

An analysis of the technical condition of the operating boiler house was carried out, an energy audit and an assessment of the main indicators of its efficiency were carried out.

The main shortcomings of the heat supply system were revealed: outdated equipment, inefficient combustion modes, lack of an automatic load control system, low level of thermal insulation of pipelines.

A list of technical and organizational measures has been formed to increase the energy efficiency of the boiler house: modernization of boiler equipment using modern energy-saving technologies; implementation of automated control systems; training of personnel in the basics of energy-efficient operation of equipment.

Economic analysis showed that the implementation of the proposed measures will reduce fuel consumption by 10.5%, reduce CO₂ emissions and increase the overall efficiency of the boiler room to 12-15%. This will contribute to reducing energy costs and improving the environmental performance of the enterprise.

ELECTRIC ENERGY, ELECTRIC ENERGY STORAGE SYSTEMS, PULSE VOLTAGE GENERATOR, PULSE POWER SUPPLIES, SECONDARY POWER SUPPLY

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	7
ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ КОТЕЛЬНИХ УСТАНОВОК	11
1.1. Роль котельних в енергетичному балансі	11
1.2. Основні техніко-економічні показники роботи котельних	13
1.3. Втрати енергії в котельних установках та їх класифікація	17
1.4. Методи оцінки енергетичної ефективності котельних	21
1.5. Аналіз вітчизняних і міжнародних стандартів та нормативних вимог щодо енергоефективності	25
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1	30
РОЗДІЛ 2. КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ КОТЕЛЬНОЇ ТА МОЖЛИВОСТЕЙ ЇЇ МОДЕРНІЗАЦІЇ	32
2.1. Загальна характеристика котельної (призначення, схема роботи, тип обладнання)	32
2.2. Виявлення основних джерел енергетичних втрат	36
2.3. Розрахунок економічного ефекту від впровадження запропонованих заходів	40
2.4. Оцінка екологічного ефекту (зменшення викидів шкідливих речовин та CO ₂)	43
2.5. Перспективи використання відновлюваних та альтернативних джерел енергії у роботі котельні	35
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2	48
РОЗДІЛ 3. ПЕРЕЛІК ЗАХОДІВ ІЗ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОТРИМАННЯ ВИМОГ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ	50

3.1. Показники, що характеризують питомі витрати енергетичних ресурсів	50
3.2. Вимоги до архітектурних, конструктивних та інженерних рішень	51
3.3. Вимоги до окремих елементів будівель і споруд	52
3.4. Заходи щодо забезпечення дотримання встановлених вимог енергетичної ефективності	52
3.5. Обґрунтування вибору оптимальних рішень	53
3.5.1. Нормативні параметри	54
3.5.2. Параметри зовнішнього повітря	55
3.5.3. Параметри внутрішнього повітря	56
3.5.4. Градусо-дні опалювального сезону	57
3.6. Теплозахисні характеристики будівель	58
3.6.1. Нормативні значення опору теплопередачі	59
3.6.2. Розрахунки опору огорожувальних конструкцій	61
3.6.3. Нормована питома теплозахисна характеристика будівлі	61
3.6.4. Проектна питома теплозахисна характеристика	62
3.6.5. Повітропроникність	66
3.6.6. Вентиляція та інфільтрація	68
3.7. Проектна питома теплозахисна характеристика	71
3.7.1. Розрахункова повітропроникність	73
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3	77
ВИСНОВКИ Й РЕКОМЕНДАЦІЇ	81
СПИСОК ПОСИЛАНЬ	84

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ЕЕ – електрична енергія

СНЕ – системи накопичення електричної енергії

ГІН- генератор імпульсної напруги

ІП- імпульсні джерела живлення

ККД- коефіцієнт корисної дії

ЕРС- електрорушійна сил

АСУ ТП - автоматизована система управління технологічними процесами

ВДЕ - відновлювані джерела енергії

ГВП - гаряче водопостачання

ПЕР - паливно-енергетичні ресурси

САР - система автоматичного регулювання

ТЕ - теплова енергія

ВСТУП

Актуальність.

Енергетика є базовою галуззю економіки, що забезпечує стабільне функціонування усіх сфер суспільного життя. Водночас вона є однією з найбільш ресурсомістких і екологічно чутливих галузей. Особливої уваги потребує теплова енергетика, яка відіграє ключову роль у забезпеченні населення та промисловості тепловою енергією. В Україні значна частка теплового балансу формується за рахунок котельних установок, які працюють на природному газі, вугіллі чи рідкому паливі. Незважаючи на стратегічну важливість цих об'єктів, їхній технічний стан часто залишається незадовільним.

Аналіз функціонування котельних показує, що більшість із них експлуатується понад нормативний термін. Це призводить до підвищених питомих витрат палива, низького коефіцієнта корисної дії, неефективного використання вторинних енергетичних ресурсів та високих викидів шкідливих речовин. В умовах енергетичної залежності та зростання тарифів на енергоносії така ситуація є неприйнятною. Саме тому проблема підвищення енергетичної ефективності котелень є надзвичайно актуальною як на національному, так і на міжнародному рівні.

Європейський Союз визначив підвищення енергоефективності одним із ключових напрямів енергетичної політики, що відображено у Директиві 2012/27/ЄС «Про енергоефективність». Україна, орієнтуючись на європейський курс, прийняла низку законодавчих актів, зокрема Закон України «Про енергетичну ефективність» та «Енергетичну стратегію України на період до 2035 року», у яких підвищення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів визначене стратегічним пріоритетом. У цьому контексті модернізація котелень та впровадження енергозберігаючих технологій є важливою складовою енергетичної безпеки країни.

З наукової точки зору, проблема оцінки енергетичної ефективності котельних охоплює комплекс питань: теплотехнічний аналіз процесів горіння

та теплообміну, дослідження режимів роботи котлів, використання систем автоматизації та диспетчеризації, а також економічну оцінку доцільності впровадження тих чи інших заходів. Важливим є також екологічний аспект – визначення впливу котельних на довкілля та можливості його зниження завдяки підвищенню енергоефективності.

Практична значимість досліджень у цій сфері полягає у тому, що результати аналізу можуть бути використані безпосередньо на підприємствах для розроблення програм енергозбереження, технічної модернізації котлів, оптимізації паливоспоживання та зниження експлуатаційних витрат. Окрім того, такі дослідження створюють передумови для переходу до використання відновлюваних джерел енергії та гібридних систем теплогенерації.

Виходячи з цього, тема магістерської роботи «Оцінка енергетичної ефективності котельної та заходи щодо її підвищення» є актуальною, має теоретичне і прикладне значення, а також відповідає стратегічним завданням розвитку енергетики України.

Метою роботи є проведення комплексної оцінки енергетичної ефективності котельної, виявлення основних факторів енергетичних втрат та розроблення системи організаційних і технічних заходів, спрямованих на підвищення ефективності її роботи.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі **завдання**:

- ✓ здійснити огляд сучасного стану котельних установок та підходів до оцінки їх енергоефективності;
- ✓ проаналізувати техніко-економічні характеристики досліджуваної котельної;
- ✓ провести енергетичний аудит з визначенням основних каналів втрат енергії;
- ✓ дослідити вплив експлуатаційних режимів на витрати палива та ефективність роботи обладнання;

- ✓ обґрунтувати перелік заходів з підвищення енергоефективності (модернізація обладнання, автоматизація, теплоізоляція, використання вторинних ресурсів тощо);
- ✓ здійснити економічну оцінку ефективності запропонованих рішень;
- ✓ оцінити екологічний ефект від їх реалізації.

Об’єктом дослідження є процеси виробництва та споживання теплової енергії котельною установкою.

Предметом дослідження – методи та заходи підвищення енергетичної ефективності котельні.

Наукова новизна роботи полягає у системному підході до оцінювання енергетичної ефективності котельних із врахуванням як технічних, так і організаційно-економічних чинників, а також у розробці практичних рекомендацій, що можуть бути адаптовані для різних типів котелень.

Практичне значення результатів полягає у можливості застосування запропонованих методик та заходів для модернізації котелень житлово-комунальної та промислової сфер, що дозволить знизити споживання енергоресурсів, скоротити витрати підприємств та зменшити негативний вплив на довкілля.

Магістерська кваліфікаційна робота на тему «Оцінка енергетичної ефективності котельної та заходи щодо їх підвищення» складається з таких частин: перелік умовних позначень, вступ, три розділи, висновки, список посилань.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ КОТЕЛЬНИХ УСТАНОВОК

1.1. Роль котельних в енергетичному балансі

Котельні є основною ланкою системи теплопостачання, що забезпечує перетворення хімічної енергії палива у теплову енергію для потреб опалення, вентиляції, гарячого водопостачання та технологічного тепла. Вони становлять один із найважливіших елементів енергетичної інфраструктури населених пунктів, промислових підприємств і комунальних систем. Рівень технічного стану котелень, їхній коефіцієнт корисної дії (ККД) та стабільність роботи безпосередньо впливають на енергетичну ефективність усієї системи теплопостачання та на енергетичний баланс країни загалом.

В централізованих системах теплопостачання котельні можуть функціонувати як основні, резервні або пікові джерела теплової енергії. Основні котельні забезпечують базове навантаження системи протягом більшої частини опалювального сезону. Пікові котельні призначені для покриття тимчасових пікових навантажень у періоди найнижчих температур, тоді як резервні — забезпечують надійність теплопостачання у випадку аварій або виходу з ладу основного обладнання. Такий розподіл дозволяє оптимізувати роботу системи, забезпечуючи її гнучкість та стабільність.

З енергетичної точки зору, котельні виконують функцію проміжної ланки між первинними енергоносіями (природним газом, вугіллям, мазутом, біомасою або іншими видами палива) та кінцевими споживачами теплової енергії. Ефективність цього перетворення визначається низкою факторів: видом палива, конструкцією котлів, якістю спалювання, рівнем автоматизації, втратами теплоти з відхідними газами, а також станом теплових мереж.

Сучасні котельні повинні відповідати вимогам енергоефективності та екологічної безпеки, що передбачає впровадження технологій з високим ККД (до 92–95% для сучасних газових котлів), систем утилізації теплоти димових газів, автоматизованого регулювання горіння та управління навантаженням.

Важливим напрямом розвитку є модернізація морально застарілих котелень, які в Україні часто мають ККД не вище 75–80%, що призводить до значних перевитрат палива та збільшення викидів шкідливих речовин у атмосферу.

В системі енергетичного балансу регіону котельні відіграють роль регулятора енергетичних потоків, оскільки можуть оперативно змінювати теплову потужність, забезпечуючи стабільність теплопостачання при зміні зовнішніх температур або навантажень. Крім того, вони можуть бути джерелом когенерації - одночасного вироблення теплової та електричної енергії, що суттєво підвищує загальний коефіцієнт використання енергії палива.

В умовах зростання вартості енергоносіїв та потреби у скороченні викидів CO₂ особливої актуальності набуває перехід на відновлювані джерела енергії. Сучасні котельні дедалі частіше працюють на біомасі, пелетах, трісці, або використовують теплові насоси та гібридні системи. Такі рішення дозволяють не лише знизити енергетичну залежність, але й сприяють формуванню локальної енергетичної стійкості та зменшенню впливу на довкілля.

Важливою характеристикою котелень у системі теплопостачання є їх територіальна структура. В Україні діють як великі районні котельні, що забезпечують централізоване теплопостачання кількох мікрорайонів, так і малі квартальні чи індивідуальні, які обслуговують окремі будівлі або підприємства. Така децентралізація створює передумови для більш гнучкого управління тепловими потоками, зменшує втрати у теплових мережах і дозволяє ефективніше використовувати місцеві види палива.

Загалом, роль котелень у системі теплопостачання полягає не лише у виробленні теплової енергії, але й у забезпеченні енергетичної безпеки, стабільності та гнучкості функціонування теплових систем. Їхня модернізація, автоматизація та інтеграція з відновлюваними джерелами енергії є важливими кроками до формування збалансованого енергетичного середовища та сталого розвитку енергетики України.

1.2. Основні техніко-економічні показники роботи котельних

Оцінка ефективності роботи котельних установок базується на системі техніко-економічних показників, які характеризують ступінь використання енергії палива, економічність експлуатації, рівень автоматизації процесів та вплив на енергетичний баланс підприємства або населеного пункту. Для сучасної енергетики, особливо в умовах переходу до інтегрованих систем «тепло–електрика–відновлювана енергія», ці показники мають ключове значення при виборі оптимальної схеми теплопостачання.

1. Коефіцієнт корисної дії (ККД) котельні

Одним з головних показників ефективності є коефіцієнт корисної дії (η), який визначається як відношення корисно використаної теплоти $Q_{\text{кор}}$ до кількості теплоти, що виділяється при згорянні палива $Q_{\text{пал}}$:

$$\eta = \frac{Q_{\text{кор}}}{Q_{\text{пал}}} \cdot 100\% \quad (1.1.)$$

Для сучасних водогрійних котлів, що працюють на природному газі, ККД становить 90–95%, для твердопаливних котлів - 80–88%, а для застарілих установок - не більше 75–80%. Високий ККД забезпечується за рахунок оптимізації процесу горіння, зниження втрат теплоти з димовими газами та застосування систем автоматичного регулювання режимів роботи котлів.

2. Питома витрата палива

Питома витрата палива характеризує кількість енергоносія, необхідного для вироблення одиниці теплової енергії. Цей показник визначається за формулою:

$$b = \frac{B}{Q_{\text{відп}}} \quad (1.2.)$$

де B — витрата палива, кг або м³;

$Q_{\text{відп}}$ — кількість відпущеної теплоти, Гкал або МВт·год.

Зменшення питомих витрат палива досягається завдяки модернізації пальникових пристроїв, удосконаленню систем підготовки повітря, утилізації теплоти відхідних газів та зменшенню втрат у тепломережах.

3. Витрати електроенергії на власні потреби

Котельні, особливо великі центральні, є значними споживачами електроенергії. Основні електроспоживачі — це димососи, вентилятори, насоси, системи автоматики, освітлення та допоміжне обладнання.

Витрати електроенергії на власні потреби зазвичай становлять 1–3% від загальної теплової потужності котельні, однак при низькому рівні автоматизації або використанні застарілих електродвигунів цей показник може зростати до 5–7%.

Важливим напрямом підвищення енергоефективності є застосування частотно-регульованих електроприводів, енергоощадних насосів і вентиляторів, а також впровадження систем моніторингу енергоспоживання (SCADA, EMS), що дозволяють оптимізувати електричні навантаження.

4. Питома теплова продуктивність

Цей показник визначається як кількість теплової енергії, виробленої котельнею за одиницю часу на одиницю встановленої потужності котлів:

$$q = \frac{Q_{\text{відп}}}{N_{\text{уст}}} \quad (1.3)$$

Висока питома продуктивність свідчить про ефективне використання встановленого обладнання, оптимальне завантаження агрегатів і раціональне регулювання режимів роботи. У практиці експлуатації сучасних котелень середнє значення питомої теплопродуктивності становить 0,75–0,85 від номінальної потужності, що вважається енергоекономічно доцільним.

5. Втрати теплоти та енергії

Втрати теплоти у котельні поділяють на:

- ✓ Втрати з відхідними газами (q_2) - до 5–10%;
- ✓ Втрати через неповне згоряння палива (q_3) - 0,5–2%;
- ✓ Втрати через зовнішні поверхні котлів (q_4) - 0,5–1%;
- ✓ Втрати від продувки котла (q_5) - 0,5–1%.

Сумарні втрати визначаються як:

$$\sum q = q_2 + q_3 + q_4 + q_5 \quad (1.4.)$$

Мінімізація цих втрат забезпечується за рахунок вдосконалення теплоізоляції, утилізації теплоти димових газів, контролю якості палива та налаштування систем автоматичного регулювання.

6. Собівартість виробництва теплової енергії

Економічна ефективність котельні визначається собівартістю виробленої теплової енергії, яка включає вартість палива, електроенергії, води, обслуговування обладнання та амортизаційні витрати. Узагальнено цей показник можна виразити як:

$$C_{\text{тепл}} = \frac{C_{\text{пал}} + C_{\text{ел}} + C_{\text{вод}} + C_{\text{рем}} + C_{\text{ам}}}{Q_{\text{відп}}} \quad (1.5.)$$

Зниження собівартості можливе завдяки автоматизації процесів керування, впровадженню енергоощадних технологій та використанню альтернативних джерел енергії — біомаси, електрокотлів нічного навантаження чи теплових насосів.

7. Інтеграція котельних у загальний енергетичний баланс

З точки зору електроенергетики, котельні є активними споживачами електроенергії та потенційними джерелами вторинної енергії.

В перспективних схемах децентралізованої енергетики котельні можуть оснащуватись когенераційними модулями (газопоршневими або газотурбінними установками), які дозволяють одночасно виробляти тепло та електроенергію. Це забезпечує підвищення загального коефіцієнта використання енергії палива до 85–90% та скорочує втрати в енергосистемі.

Крім того, сучасні котельні можуть інтегруватися в розумні енергетичні мережі (Smart Grid), виконуючи роль керованих енергоспоживачів або джерел балансування навантаження. Це відкриває нові можливості для оптимізації енергетичного балансу як на рівні підприємства, так і всієї енергосистеми.

Таким чином, техніко-економічні показники котельних є комплексним відображенням їхньої енергоефективності, економічності та ролі в енергетичному балансі.

Підвищення цих показників можливе завдяки використанню сучасних технологій керування, електроенергоефективного обладнання, впровадженню систем моніторингу та переходу на комбіновані схеми виробництва теплової й електричної енергії. Це відповідає сучасним тенденціям розвитку інтелектуальних енергосистем та концепції сталого енергетичного розвитку України.

Таблиця 1.1 - Основні техніко-економічні показники роботи котельних

№	Показник	Одиниця вимірювання	Великі центральні котельні	Квартальні котельні	Індивідуальні (малі) котельні
1	Встановлена теплова потужність	МВт	50–200	5–30	0,3–5
2	Коефіцієнт корисної дії (ККД)	%	88–94	82–90	75–85
3	Витрата палива на 1 Гкал тепла	м³ газу / Гкал	110–120	115–130	130–150
4	Питома витрата умовного палива	кг у.п. / Гкал	125–135	135–150	150–160
5	Витрати електроенергії на власні потреби	кВт·год / Гкал	20–25	25–35	35–50
6	Частка електроспоживання в енергобалансі котельні	%	1,5–2,5	2–3,5	4–5
7	Собівартість виробництва 1 Гкал тепла	грн/Гкал	1800–2400	2000–2700	2300–3000
8	Втрати теплоти з відхідними газами	%	5–7	6–9	8–12
9	Витрати теплоти на власні потреби	%	2–3	3–4	4–6
10	Питома теплова продуктивність обладнання	частка від номінальної	0,8–0,9	0,75–0,85	0,65–0,8
11	Тривалість опалювального періоду	днів/рік	180–200	170–190	160–180
12	Середній вік обладнання	років	10–15	15–25	20–30
13	Потенціал модернізації (економія палива)	%	10–15	15–20	20–30

№	Показник	Одиниця вимірювання	Великі центральні котельні	Квартальні котельні	Індивідуальні (малі) котельні
14	Рівень автоматизації процесів	-	Високий (АСУ ТП, SCADA)	Середній (локальні контролери)	Низький (ручне керування)

Для великих котелень характерна висока ефективність, але значні капітальні витрати.

Квартальні котельні мають більшу гнучкість, але нижчі техніко-економічні показники.

Індивідуальні котельні відзначаються найвищими питомими витратами палива та електроенергії, проте забезпечують незалежність і локальне теплопостачання.

За результатами модернізації (встановлення конденсаційних котлів, систем утилізації теплоти, частотних приводів) можна досягти економії палива до 20% та електроенергії до 15%.

1.3. Втрати енергії в котельних установках та їх класифікація

Ефективність роботи котельних установок значною мірою визначається величиною енергетичних втрат, які виникають у процесі спалювання палива, передачі теплоти та відведення продуктів згоряння. Аналіз втрат енергії є важливою частиною оцінки технічного стану котельні, оскільки саме від рівня втрат залежить її паливна економічність, екологічні показники та вплив на енергетичний баланс системи теплопостачання.

1. Загальна характеристика енергетичних втрат

У реальних умовах перетворення хімічної енергії палива в теплову відбувається з певними втратами. Лише частина енергії, що виділяється під час згоряння, використовується для нагріву теплоносія (води або пари), тоді як інша частина безповоротно втрачається через різні фізичні та хімічні процеси.

Загальний енергетичний баланс котельної установки можна представити рівнянням:

$$Q_{\text{пал}} = Q_{\text{кор}} + \sum Q_{\text{вт}} \quad (1.6.)$$

де

$Q_{\text{пал}}$ - теплота, що виділяється при згорянні палива;

$Q_{\text{кор}}$ - корисно використана теплота, передана теплоносію;

$\sum Q_{\text{вт}}$ - сукупність усіх втрат теплоти.

В сучасних котельнях втрати можуть досягати 8–15% від загального теплового потенціалу палива, а в застарілих — навіть 20–25%.

2. Класифікація втрат енергії в котельних установках

Усі енергетичні втрати котлів поділяються на основні та додаткові (побічні).

2.1. Основні втрати енергії

1. Втрати з відхідними газами (q_2) — найзначніша стаття енергетичних втрат, що становить 5–10%.

Ці втрати зумовлені тим, що частина теплоти палива залишається у димових газах, які виходять з котла при температурі 150–250 °С (у традиційних газових котлах) або навіть вище у твердопаливних установках.

Визначаються за формулою:

$$q_2 = \frac{(t_{\Gamma} - t_{\Pi}) \cdot C_{\Gamma}}{Q_{\text{нр}}} \cdot 100\% \quad (1.7.)$$

де t_{Γ} - температура відхідних газів,

t_{Π} - температура повітря, що подається,

C_{Γ} - теплоємність димових газів,

$Q_{\text{нр}}$ - нижча теплота згоряння палива.

Зменшення цих втрат досягається використанням економайзерів, повітропідігрівачів і конденсаційних теплообмінників.

2. Втрати через хімічне недопалювання палива (q_3) - 0,3–2%.

Виникають при неповному згорянні, коли в димових газах залишаються горючі компоненти (CO , H_2 , CH_4). Основна причина - неправильне співвідношення «паливо–повітря» або нерівномірний розподіл повітря в топці.

Для зниження таких втрат застосовують автоматичні системи контролю горіння (O_2 -аналізатори).

3. Втрати через механічне недопалювання палива (q_4) - до 1–3%.

Характерні для твердопаливних котлів, коли частина вуглецю виноситься з золою у вигляді незгорілих часток. Зменшуються завдяки оптимізації тяги, механічним решіткам і рівномірній подачі палива.

4. Втрати через випромінювання і конвекцію з поверхонь котла (q_5) - 0,5–2%.

Виникають через недостатню теплоізоляцію корпусу, трубопроводів і допоміжного обладнання.

Мінімізуються за рахунок термоізоляційних матеріалів із низькою теплопровідністю (мінеральна вата, склокераміка, пінополіуретан).

5. Втрати через продувку котла (q_6) - 0,3–1%.

Продувка необхідна для видалення солей і шламу з котлової води. Надмірна продувка призводить до втрати частини нагрітої води й теплоти.

Контроль здійснюється за допомогою автоматичних регуляторів солевмісту.

2.2. Додаткові (побічні) втрати

1. Втрати електричної енергії на власні потреби (q_7) - 1–5%.

Вони пов'язані з роботою допоміжного обладнання (насосів, вентиляторів, димососів, систем автоматики).

Зниження можливе завдяки застосуванню енергоощадних електродвигунів, частотно-регульованих приводів і систем керування навантаженням.

2. Втрати в теплових мережах (q_8) - 5–15%.

Хоча ці втрати не відносяться безпосередньо до котла, вони суттєво впливають на загальну енергоефективність системи.

Основні причини - теплові втрати через ізоляцію трубопроводів, гідравлічні втрати, неузгодженість режимів подачі теплоносія.

3. Втрати внаслідок нерівномірності навантаження (q_9) - 1–3%.

В реальних умовах котельні рідко працюють на номінальному режимі. Часті пуски, зупинки та робота на малих навантаженнях знижують загальний ККД установки.

Для мінімізації використовують автоматизовані системи регулювання потужності й буферні ємності.

4. Втрати внаслідок нераціонального керування енергетичними потоками (q_{10}) - 1–2%.

Виникають через неузгодженість між тепловим і електричним споживанням, особливо в комбінованих системах теплоенергетики.

Їх усувають впровадженням систем енергоменеджменту (Energy Management Systems, EMS).

3. Сумарні втрати та методи їх зниження

Сумарний відсоток енергетичних втрат у котельні визначається як:

$$\sum q = q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 + q_7 + q_8 + q_9 + q_{10} \quad (1.8)$$

Для сучасних модернізованих котелень сумарні втрати зазвичай не перевищують 10–12%, тоді як у застарілих або неавтоматизованих установках вони можуть сягати 20–25%.

Основними напрямками зниження енергетичних втрат є:

- ✓ впровадження конденсаційних технологій утилізації теплоти відхідних газів;
- ✓ автоматизація процесів горіння та регулювання повітряного балансу;
- ✓ застосування сучасних матеріалів теплоізоляції;
- ✓ енергоощадні електроприводи на допоміжному обладнанні;
- ✓ використання рекупераційних та когенераційних установок;

✓ регулярна оптимізація гідравлічного режиму системи тепlopостачання.

Втрати енергії в котельних установках є невід'ємною частиною теплотехнологічного процесу, однак їх величину можна істотно скоротити за рахунок технічної модернізації, автоматизації й правильного управління енергетичними потоками. Зменшення втрат дозволяє не лише підвищити паливну ефективність і знизити собівартість виробництва тепла, а й оптимізувати енергетичний баланс електроенергетичної системи, оскільки котельні є вагомими споживачами електроенергії на власні потреби.

Комплексна модернізація котелень сприятиме досягненню енергетичної незалежності, екологічній стійкості та інтеграції України в сучасний європейський енергетичний простір.

1.4. Методи оцінки енергетичної ефективності котельних

Енергетична ефективність котельних установок є одним з головних критеріїв їхньої техніко-економічної доцільності, конкурентоспроможності та екологічної придатності. Від неї залежить раціональність використання паливно-енергетичних ресурсів, собівартість виробленої теплової енергії та рівень енергетичних втрат у системі тепlopостачання.

Для визначення рівня ефективності котельних застосовують комплекс методів оцінки, які поділяються на технічні, енергетичні, економічні та еколого-енергетичні.

1. Енергетичний (паливно-тепловий) метод

Найпоширенішим способом оцінки ефективності котельні є енергетичний аналіз, заснований на співвідношенні між отриманою корисною теплотою та енергією, що надходить із паливом.

Основним показником виступає коефіцієнт корисної дії котельні (η):

$$\eta = \frac{Q_{\text{кор}}}{Q_{\text{пал}}} \cdot 100\% \quad (1.9)$$

де

$Q_{\text{кор}}$ - корисно використана теплота, передана теплоносію;

$Q_{\text{пал}}$ - теплота, що виділяється при спалюванні палива.

ККД може визначатися двома методами:

- Прямим методом - шляхом вимірювання витрати палива та кількості виробленої теплоти (енергії).

$$\eta_{\text{пр}} = \frac{Q_{\text{відп}}}{B \cdot Q_{\text{нр}}} \cdot 100\% \quad (1.10)$$

де $Q_{\text{відп}}$ - теплота, відпущена споживачам;

B - витрата палива;

$Q_{\text{нр}}$ - нижча теплота згоряння палива.

- Зворотним методом (метод втрат) - через визначення часткових втрат теплоти:

$$\eta_{\text{зв}} = 100 - \sum q_i \quad (1.11)$$

де q_i — часткові втрати теплоти (з відхідними газами, недопалюванням, випромінюванням тощо).

Енергетичний метод дозволяє встановити основні напрями втрат енергії, виявити «вузькі місця» в роботі котельні та визначити потенціал підвищення ефективності.

2. Ексергетичний метод

Ексергетичний аналіз є більш точним та фундаментальним способом оцінки ефективності енергетичних установок. Він враховує якість енергії та ступінь її придатності до виконання корисної роботи.

Ексергетичний ККД (η_e) визначається як відношення корисної ексергії теплоносія до ексергії палива:

$$\eta_e = \frac{E_{\text{вих}}}{E_{\text{вх}}} \cdot 100\% \quad (1.12)$$

де

$E_{\text{вх}}$ - ексергія, що надходить з паливом;

$E_{\text{вих}}$ - ексергія, отримана з теплової енергії на виході.

Ексергетичний підхід дозволяє більш повно оцінити ефективність систем з точки зору незворотних процесів, термодинамічних втрат і потенціалу утилізації теплоти. У практиці теплових котелень ексергійний ККД зазвичай становить 30–45%, тоді як енергетичний може сягати 90–95%, що пояснюється природними термодинамічними обмеженнями.

3. Питомі енергетичні показники

Оцінка енергоефективності може проводитися також за питомими показниками:

- Питома витрата палива - кількість палива, необхідна для вироблення одиниці теплової енергії:

$$b = \frac{B}{Q_{\text{відп}}} \quad (1.13)$$

Чим менше значення b , тим вища ефективність котельні.

- Питома витрата електроенергії на власні потреби:

$$\omega = \frac{W_{\text{вл}}}{Q_{\text{відп}}} \quad (1.14)$$

де $W_{\text{вл}}$ - електроенергія, спожита допоміжним обладнанням.

Зниження цього показника досягається за рахунок енергоощадних електродвигунів, частотного регулювання та оптимізації графіків навантаження.

- Питома собівартість виробництва тепла:

$$C_{\text{пит}} = \frac{C_{\text{заг}}}{Q_{\text{відп}}} \quad (1.15)$$

де $C_{\text{заг}}$ - сума експлуатаційних витрат (паливо, електроенергія, ремонт, персонал, амортизація).

Такі показники дозволяють проводити порівняльний аналіз ефективності різних типів котелень — центральних, квартальних та індивідуальних.

4. Економічний метод оцінки

Економічна ефективність оцінюється через собівартість, термін окупності, рентабельність та економію енергоносіїв після модернізації котельні.

Основні показники:

- Економія палива:

$$\Delta B = B_1 - B_2 \quad (1.16)$$

де B_1 і B_2 - витрата палива до та після модернізації.

Економічний ефект:

$$E = \Delta B \cdot C_{\text{пал}} - \Delta W \cdot C_{\text{ел}} \quad (1.17)$$

де $C_{\text{пал}}$ і $C_{\text{ел}}$ - вартість палива та електроенергії.

Термін окупності інвестицій:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K}{E} \quad (1.18)$$

де K - капітальні вкладення на модернізацію.

Таким чином, економічний метод дозволяє оцінити доцільність впровадження енергозберігаючих заходів та обґрунтувати їхню інвестиційну ефективність.

5. Екологічно-енергетичний підхід

У сучасних енергетичних системах оцінка ефективності включає також екологічний компонент, який враховує викиди CO_2 , оксидів азоту, сірки та пилу.

Визначається екологічна ефективність ($\eta_{\text{ек}}$):

$$\eta_{\text{ек}} = \frac{Q_{\text{кор}}}{Q_{\text{пал}} + Q_{\text{втрат}} + E_{\text{викидів}}} \quad (1.19)$$

де $E_{\text{викидів}}$ - енергетичний еквівалент збитків від викидів.

Цей метод дає змогу комплексно оцінити вплив котельні на довкілля і доцільність переходу на чисті або відновлювані джерела енергії (біомаса, електрокотли, теплові насоси).

6. Системний метод оцінки ефективності

Системний підхід передбачає аналіз котельні як елементу інтегрованої енергетичної системи, що взаємодіє з тепловими мережами, електричними навантаженнями та зовнішніми джерелами енергії.

Така оцінка включає:

- аналіз енергетичних потоків (теплових, електричних, паливних);
- балансовий метод - складання енергетичного балансу котельні;
- моделювання роботи котельні за допомогою програм (EBSILON, EnergyPro, RETScreen, SCADA);
- оптимізацію режимів з урахуванням змін попиту, тарифів і технічних обмежень.

Результатом є визначення інтегрального коефіцієнта енергоефективності (IEE), який поєднує енергетичні, економічні та екологічні критерії:

$$IEE = f(\eta, b, \omega, C_{\text{пит}}, E_{\text{викидів}}) \quad (1.20)$$

де функція f описує узгодженість між технічною та економічною ефективністю.

Отже, оцінка енергетичної ефективності котельних повинна здійснюватися комплексно, з урахуванням технічних, економічних, електроенергетичних і екологічних аспектів.

Поєднання енергетичного, ексергійного, економічного та системного аналізів дає змогу об'єктивно визначити рівень ефективності котельні, знайти резерви енергозбереження та обґрунтувати напрями модернізації.

Такі методи забезпечують не лише підвищення продуктивності окремих установок, але й сприяють оптимізації енергетичного балансу в масштабах усього підприємства або міської енергосистеми.

1.5. Аналіз вітчизняних і міжнародних стандартів та нормативних вимог щодо енергоефективності

Проблема підвищення енергоефективності в сучасних умовах є одним із пріоритетних напрямів розвитку енергетичного сектору як України, так і країн Європейського Союзу. Зменшення споживання енергоресурсів, підвищення ККД обладнання, скорочення викидів парникових газів та інтеграція відновлюваних джерел енергії — це ключові завдання, закріплені в законодавстві та стандартах різних країн.

Для забезпечення єдиного підходу до оцінки, моніторингу та регулювання енергоефективності котелень і систем теплопостачання розроблено широкий комплекс нормативно-правових актів, державних стандартів та міжнародних директив.

1. Вітчизняна нормативна база

Україна поступово гармонізує свою нормативно-правову базу з європейською відповідно до вимог Угоди про асоціацію з ЄС та міжнародних зобов'язань у сфері енергетики.

Основні законодавчі акти:

1. Закон України «Про енергозбереження» (№ 74/94-ВР, із змінами) - визначає основні принципи державної політики у сфері ефективного використання паливно-енергетичних ресурсів. У ньому закріплені поняття енергоаудиту, енергетичної паспортизації та стимулювання енергозбереження.

2. Закон України «Про енергетичну ефективність» (№ 1818-ІХ від 21.10.2021 р.) - встановлює правові основи діяльності у сфері підвищення енергоефективності, гармонізовані з європейськими директивами 2012/27/ЄС і 2018/2002/ЄС. Закон вводить поняття Національного плану дій з енергоефективності та системи моніторингу енергоспоживання.

3. Закон України «Про комерційний облік теплової енергії та водопостачання» (2017 р.) - забезпечує перехід до обов'язкового обліку теплової енергії у житлових та комунальних об'єктах, що є передумовою раціонального використання енергоресурсів.

4. Національний план дій з енергоефективності до 2030 року (НПДЄЕ) - визначає цільові показники скорочення кінцевого енергоспоживання на 17% до 2030 року порівняно з базовим рівнем 2019 р.

Основні нормативні документи та стандарти:

- ДСТУ ISO 50001:2020 «Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанови щодо застосування» - регламентує створення систем

енергоменеджменту (СЕМ) на підприємствах, у тому числі на об'єктах теплопостачання.

- ДСТУ ISO 50002:2020 «Енергетичні аудити. Вимоги та настанови щодо проведення» - визначає порядок здійснення енергетичних аудитів для оцінки ефективності роботи котелень, мереж та споживачів теплової енергії.

- ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування» - містить вимоги до теплотехнічних характеристик будівель і систем теплопостачання з урахуванням енергозберігаючих рішень.

- ДСТУ-Н Б А.2.2-5:2014 «Енергетичне обстеження будівель і споруд» - описує порядок енергетичного паспортизації будівель, що безпосередньо пов'язано з ефективністю котелень як джерел теплової енергії.

2. Європейські стандарти та директиви ЄС

Європейський Союз має одну з найбільш розвинених систем нормативного регулювання енергоефективності. Вона базується на стратегічних документах і директивах, які встановлюють обов'язкові вимоги для країн-членів.

Основні документи ЄС:

1. Директива 2012/27/ЄС «Про енергоефективність» - основоположний документ, який визначає механізми енергозбереження, вимоги до енергоаудиту, систем управління енергоспоживанням та модернізації інфраструктури. Вона зобов'язує держави-члени проводити регулярні енергетичні обстеження великих підприємств та запроваджувати системи енергоменеджменту.

2. Директива 2010/31/ЄС «Про енергетичну ефективність будівель» (EPBD) - встановлює мінімальні вимоги до енергоспоживання будівель, систем опалення, вентиляції та кондиціонування. Для котелень директива визначає мінімальний рівень ефективності теплогенеруючого обладнання та необхідність його регулярної перевірки.

3. Директива 2009/125/ЄС «Про екодизайн енергоспоживчих продуктів» (Ecodesign Directive) - встановлює вимоги до конструкції,

ефективності та впливу на довкілля енергетичного обладнання, зокрема котлів, пальників, теплових насосів.

4. Регламент ЄС № 813/2013 - визначає мінімальні стандарти енергоефективності для котлів на рідкому і газоподібному паливі потужністю до 400 кВт. Згідно з ним, нові котли повинні мати сезонний ККД не нижче 86–90%.

5. Директива 2018/2002/ЄС, яка оновлює 2012/27/ЄС, встановлює загальноєвропейську мету - зменшення кінцевого енергоспоживання на 32,5% до 2030 року, стимулює розвиток когенераційних установок і Smart Grid-технологій.

3. Міжнародні стандарти ISO та рекомендації Міжнародного енергетичного агентства (IEA)

Міжнародні стандарти ISO створюють уніфіковану методологію оцінки енергоефективності на глобальному рівні.

Найважливіші з них:

- ISO 50001:2018 «Energy management systems – Requirements with guidance for use» - визначає структуру системи енергетичного менеджменту, спрямованої на безперервне вдосконалення енергетичних показників підприємства.
- ISO 50006:2014 «Energy performance measurement» - описує методику визначення базових рівнів енергоспоживання, що використовується для моніторингу ефективності котелень у часі.
- ISO 14001:2015 «Environmental management systems» - інтерпретує енергетичну та екологічну складові управління.
- ISO 52000-1:2017 - застосовується для комплексної оцінки енергетичних характеристик будівель і теплотехнічних систем.

Також Міжнародне енергетичне агентство (IEA) розробило рекомендації щодо енергетичного аудиту котелень та оптимізації їх роботи через цифрові системи моніторингу, утилізацію тепла відхідних газів і перехід на відновлювані джерела.

4. Гармонізація українських стандартів із міжнародними

У рамках євроінтеграції Україна проводить активну політику з адаптації технічних регламентів і стандартів до європейських. На даний момент понад 80% національних стандартів у сфері енергоменеджменту узгоджено з ISO та EN. Відповідно до Національного плану дій з енергоефективності, до 2030 року передбачено повну гармонізацію вимог ДСТУ з директивами 2012/27/ЄС, 2010/31/ЄС та 2009/125/ЄС.

Особливу увагу приділено впровадженню систем енергетичного менеджменту ISO 50001 у закладах освіти, промисловості та комунальному секторі, а також запровадженню енергоаудиту котелень як обов'язкової умови модернізації теплових об'єктів.

Аналіз нормативної бази свідчить, що сучасна система стандартів і вимог щодо енергоефективності спрямована на комплексне підвищення ефективності енергоспоживання, зниження втрат у системах теплопостачання та скорочення впливу на довкілля. Україна перебуває на етапі активного наближення своїх стандартів до європейських, що відкриває можливості для інтеграції українських енергетичних підприємств у спільний європейський ринок енергії. Виконання вимог ISO 50001, директив 2012/27/ЄС та 2010/31/ЄС забезпечує створення єдиних критеріїв оцінки енергоефективності, що дозволяє здійснювати об'єктивний моніторинг, енергетичне планування та реалізацію програм сталого розвитку у сфері електро- та теплогенерації

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 1:

В першому розділі було розглянуто теоретичні основи забезпечення енергетичної ефективності котельних установок, їхню роль у структурі систем тепlopостачання та загальному енергетичному балансі підприємств і населених пунктів.

1. Встановлено, що котельні є ключовими елементами децентралізованих систем тепlopостачання, від ефективності яких значною мірою залежить рівень енергетичної безпеки регіону. Вони забезпечують виробництво теплоти для технологічних потреб і опалення, а також формують істотну частку електричних навантажень через роботу допоміжного обладнання - насосів, вентиляторів, систем автоматики та контролю.

2. Проаналізовано основні техніко-економічні показники, що характеризують роботу котельних: коефіцієнт корисної дії (ККД), питомі витрати палива, собівартість виробленої теплоти, витрати електроенергії на власні потреби, коефіцієнт завантаження обладнання. Показано, що підвищення енергоефективності можливе лише при комплексному підході, який охоплює як теплову, так і електричну складові процесу.

3. Проведено класифікацію втрат енергії у котельних установках. Основними джерелами втрат визначено: втрати з відхідними газами, неповним згорянням палива, через огорожувальні конструкції, у мережах подачі теплоносія, а також втрати електроенергії в системах електроприводів і трансформації. Зазначено, що електротехнічні втрати (у мережах і приводах) можуть становити 10–15 % від загального енергоспоживання котельні.

4. Розглянуто сучасні методи оцінювання енергетичної ефективності котельних: енергетичний і ексергійний аналіз, метод питомих витрат палива, балансні розрахунки, а також використання показників енергоемності та енергетичної інтенсивності процесів. Особливу увагу приділено методам оцінювання електроспоживання з урахуванням коефіцієнтів потужності, втрат у кабельних лініях та режимів навантаження електродвигунів.

5. Проведено аналіз нормативної бази України та міжнародних стандартів (ISO 50001, EN 12952, EN 15316), які регламентують показники енергетичної ефективності котелень. Встановлено, що вітчизняна нормативна база поступово гармонізується з європейськими вимогами, однак потребує подальшого вдосконалення в частині контролю електричних втрат, енергоменеджменту та інтеграції відновлюваних джерел енергії.

В результаті проведеного теоретичного аналізу доведено, що підвищення енергетичної ефективності котельних установок повинно ґрунтуватися на системному підході, який поєднує теплотехнічні та електроенергетичні аспекти роботи обладнання. Зниження втрат енергії, оптимізація електроспоживання, застосування автоматизованих систем керування та дотримання сучасних стандартів дозволяють забезпечити сталий розвиток енергетичної інфраструктури, підвищити рівень енергетичної безпеки й зменшити вплив котельних на довкілля.

РОЗДІЛ 2. КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ КОТЕЛЬНОЇ ТА МОЖЛИВОСТЕЙ ЇЇ МОДЕРНІЗАЦІЇ

2.1. Загальна характеристика котельної (призначення, схема роботи, тип обладнання)

В сучасній енергетичній системі котельні посідають важливе місце як елементи комплексної теплоенергетичної та електроенергетичної інфраструктури. Хоча їх основна функція полягає у виробленні теплової енергії, котельні безпосередньо впливають на енергетичний баланс, навантаження електричних мереж і споживання електроенергії на власні потреби.

В контексті електроенергетики котельні виступають як активні енергоспоживачі, що використовують електроенергію для приводу насосів, вентиляторів, систем автоматики, деаераторів, підготовки води тощо. У сучасних проектах вони дедалі частіше інтегруються в інтелектуальні енергосистеми (Smart Grid), де можуть брати участь у балансуванні електричних навантажень, особливо при роботі в когенераційному або комбінованому режимі.

Крім того, котельні мають стратегічне значення для електроенергетичної стабільності, оскільки можуть зменшувати пікове навантаження на електричні станції завдяки власному теплогенеруванню. У ряді сучасних енергоефективних систем застосовуються електрокотли, теплові насоси або когенераційні модулі (CHP - Combined Heat and Power), які одночасно виробляють тепло й електроенергію, підвищуючи загальний коефіцієнт використання енергії палива до 85–90%.

Таким чином, котельні є не лише теплотехнічними, а й електроенергетичними об'єктами, що забезпечують взаємодію між тепловою та електричною енергією, відіграючи ключову роль у розвитку енергетики України та підвищенні її енергоефективності.

Котельні є невід'ємним елементом енергетичної інфраструктури населених пунктів та промислових підприємств і можуть функціонувати як самостійні теплогенеруючі об'єкти, або входити до складу централізованих систем теплопостачання. Залежно від призначення і потужності, котельні поділяються на:

- Центральні котельні - забезпечують теплопостачання великих житлових районів або промислових зон;
- Квартальні або блочні - обслуговують окремі мікрорайони, групи будівель або підприємств;
- Індивідуальні котельні - встановлюються безпосередньо на об'єкті-споживачі (будівлі, корпусі, цеху) та працюють автономно.

Призначення котельної

Основною функцією котельної є вироблення теплової енергії заданих параметрів - температури, тиску, витрати теплоносія. У більшості випадків котельні працюють на водогрійному режимі, де теплоносієм є вода, нагріта до 70–150 °С, або на паровому режимі, з тиском пари від 0,7 до 1,6 МПа (іноді вище - у промислових установках).

До основних завдань котельної належать:

- забезпечення безперервного та надійного постачання теплової енергії споживачам;
- підтримання заданих теплотехнічних параметрів;
- ефективне використання палива з мінімальними втратами;
- безпечна експлуатація обладнання;
- автоматичне або напівавтоматичне регулювання режимів роботи.

Схема роботи котельної

Принципова схема роботи котельні базується на послідовному перетворенні енергії палива у теплову енергію теплоносія. Основні процеси включають:

1. Подачу палива та повітря у топку котла (газоповітряна суміш або механічна подача твердого палива).

2. Згоряння палива у топковому просторі котла, де утворюється високотемпературне полум'я.
3. Передачу теплоти від продуктів згоряння до теплоносія через поверхні нагріву (трубні пучки, жарові труби, водяні стінки).
4. Відведення відхідних газів через димососи та димову трубу.
5. Подачу нагрітого теплоносія (води або пари) у систему тепlopостачання або до споживачів.
6. Повернення охолодженого теплоносія до котельні для повторного нагріву (замкнений цикл).

У сучасних котельнях застосовується автоматизована система керування технологічним процесом (АСУ ТП), що контролює параметри тиску, температури, розрідження в топці, склад димових газів, а також забезпечує аварійний захист і діагностику роботи обладнання.

Типовий склад основного обладнання котельної

До основного технологічного обладнання котельні входять:

1. Котельні агрегати - теплогенеруючі установки, що спалюють паливо та передають теплоту теплоносію. За типом бувають:
 - водогрійні (для опалення і гарячого водопостачання);
 - парові (для технологічних потреб);
 - комбіновані (з можливістю роботи у двох режимах). Сучасні котли оснащуються пальниковими пристроями з модуляцією потужності та мають високий ККД (90–95%).
2. Пальникові пристрої - забезпечують змішування палива з повітрям та його стабільне горіння. Використовуються переважно газові пальники вентиляторного типу з автоматичним регулюванням подачі газу.
3. Економайзери - теплообмінники для підігріву живильної води за рахунок теплоти відхідних газів. Їхнє застосування дозволяє підвищити загальний ККД котельні на 2–4%.

4. Повітропідігрівачі (регенератори) - використовують частину теплоти димових газів для підігріву повітря, що подається у топку, зменшуючи витрати палива.

5. Димососи та вентилятори - створюють необхідний тиск і розрідження у топковому просторі, забезпечують стабільну роботу системи горіння.

6. Насосне обладнання - циркуляційні, живильні та підживлювальні насоси, які забезпечують рух теплоносія по системі. У сучасних котельнях використовуються енергоощадні насоси з частотним регулюванням.

7. Автоматизовані системи контролю та керування - забезпечують моніторинг параметрів, захист від аварійних ситуацій та оптимізацію режимів роботи. Часто інтегруються в системи диспетчеризації (SCADA) або енергоменеджменту (EMS).

8. Допоміжне обладнання - системи підготовки води, фільтрації, деаерації, водоочистки, теплоізоляції трубопроводів тощо.

Типи котелень за видом палива та рівнем автоматизації:

Котельні можуть класифікуватися за типом палива:

- Газові - найбільш поширені, характеризуються високим ККД, екологічністю та простотою обслуговування.
- Твердопаливні (вугілля, біомаса, пелети) - мають нижчий ККД, але забезпечують енергетичну незалежність.
- Рідкопаливні (мазут, дизель) - використовуються як резервні або аварійні джерела.
- Електрокотельні - застосовуються у місцевих системах теплопостачання, особливо при наявності дешевих нічних тарифів.

За рівнем автоматизації розрізняють:

- ручне керування,
- автоматизовані котельні з локальним управлінням,
- повністю автоматизовані (дистанційно керовані).

Таким чином, котельня є складним інженерно-технічним об'єктом, який поєднує теплотехнічні, енергетичні та автоматизовані системи. Від правильного вибору схеми роботи, типу котлів і рівня автоматизації залежить ефективність вироблення теплової енергії, енергетичний баланс підприємства та надійність тепlopостачання споживачів. Модернізація котелень шляхом впровадження енергоощадних технологій, систем автоматичного регулювання та використання відновлюваних джерел енергії є ключовим напрямом підвищення їх енергетичної ефективності.

2.2. Виявлення основних джерел енергетичних втрат

Аналіз енергетичних процесів у котельних установках показує, що значна частина первинної енергії палива не перетворюється в корисну теплову енергію, а втрачається внаслідок недосконалості технологічних процесів, теплотехнічного обладнання та електротехнічних систем, що забезпечують роботу котельні. Виявлення основних джерел енергетичних втрат є необхідним етапом у процесі підвищення енергоефективності та формування стратегії енергетичної безпеки об'єкта.

Втрати енергії у котельних можна умовно поділити на теплотехнічні, електроенергетичні та системні (організаційно-технологічні). Кожна з цих груп має свої джерела, механізми виникнення та шляхи мінімізації.

Теплотехнічні втрати

Найбільшу частку втрат становлять теплотехнічні, що виникають безпосередньо у процесі спалювання палива та передачі теплоти теплоносію. До них належать:

1. Втрати з відхідними газами. Це основна стаття втрат, яка може сягати 5–10 % від загальної кількості енергії палива. Вона зумовлена підвищеною температурою димових газів на виході з котла, що свідчить про неповне використання потенціалу теплоти згоряння. Причинами є низька ефективність теплообміну, забруднення поверхонь нагріву, неузгоджені режими горіння або

відсутність утилізаційного обладнання (економайзерів, конденсаційних теплообмінників).

2. Втрати через хімічне і механічне недопалювання палива. Вони виникають унаслідок неповного згоряння, що призводить до наявності чадного газу (CO) і незгорілих часток у золі. Такі втрати можуть становити 1–3 % і залежать від точності регулювання співвідношення «паливо–повітря», стабільності горіння та стану пальникових пристроїв.

3. Втрати через випромінювання та конвекцію з поверхонь котлів і трубопроводів. Неналежна теплоізоляція призводить до відведення теплової енергії в навколишнє середовище. За різними оцінками, ці втрати становлять 1–3 %, але в старих котельнях можуть бути значно більшими.

4. Втрати під час продувки котлів і спусків теплоносія. Неправильне регулювання продувки або витоків в системі трубопроводів призводять до втрати частини нагрітої води й, відповідно, теплоти. Ці втрати зазвичай становлять 0,5–1,5 %.

5. Втрати через неузгодженість теплових навантажень. При роботі котельні в непікові періоди часто спостерігається перевищення вироблення тепла над споживанням, що призводить до зниження ККД агрегатів.

Електроенергетичні втрати

Особливу роль у сучасних котельнях відіграють втрати електроенергії, які безпосередньо впливають на енергетичний баланс і собівартість виробництва теплової енергії. До основних джерел таких втрат належать:

1. Високе електроспоживання допоміжного обладнання. Найбільші обсяги електроенергії витрачаються на роботу насосів, вентиляторів, димососів, систем автоматики та підготовки води. Через відсутність частотного регулювання і застарілий електропривід питомі втрати можуть перевищувати 4–6 % від теплової потужності котельні.

2. Недосконалість систем електророзподілу. Втрати електроенергії у внутрішніх мережах котельні виникають через перевантаження, низьку якість

кабельних з'єднань, зниження коефіцієнта потужності ($\cos \varphi$) та відсутність компенсації реактивної складової.

3. Неефективна робота електродвигунів. Значна частина допоміжного обладнання оснащена асинхронними двигунами старих типів із низьким ККД. Використання енергоефективних двигунів класу IE3–IE4 або синхронних двигунів із частотним керуванням дозволяє зменшити споживання електроенергії на 10–20 %.

4. Неоптимальне керування технологічними режимами. Відсутність автоматизованого регулювання подачі електроенергії на насосні групи, вентилятори та системи горіння призводить до перевитрат, особливо при змінних навантаженнях.

5. Втрати при перетворенні енергії. Додаткові втрати виникають у трансформаторах, перетворювачах частоти та системах електроживлення автоматики.

Системні та організаційно-технологічні втрати

Окрім технічних, важливим джерелом енергетичних втрат є неузгодженість у функціонуванні енергосистеми котельні. До таких втрат належать:

1. Недостатній контроль енергоспоживання. Відсутність точних приладів обліку палива, води та електроенергії унеможливорює ефективний енергоменеджмент і призводить до невиявлених перевитрат.

2. Неефективна експлуатація обладнання. Недотримання регламентів технічного обслуговування, несвоєчасне очищення теплообмінних поверхонь, робота при зниженому тиску або температурі зменшують загальний ККД котельні.

3. Невідповідність реальних режимів проектним. Через старіння обладнання, некоректну роботу систем автоматики або помилки персоналу котельні часто функціонують поза оптимальними тепловими та електричними параметрами.

4. Відсутність інтеграції з системами енергетичного моніторингу. Без аналізу енергетичних показників у режимі реального часу неможливо оперативно виявляти відхилення та джерела втрат.

Комплексний аналіз показує, що в середньому сумарні енергетичні втрати у котельних сягають 15–25 % від загальної енергії палива.

Для підвищення енергоефективності необхідно проводити детальний енергоаудит, що охоплює як теплотехнічні, так і електротехнічні складові. Результати такого аудиту дозволяють визначити пріоритетні заходи щодо модернізації обладнання, впровадження частотно-регульованих приводів, автоматизованих систем керування та моніторингу енергоспоживання.

Виявлення та класифікація джерел енергетичних втрат є базовим етапом у формуванні стратегії підвищення енергоефективності котельних установок. Зменшення втрат палива та електроенергії безпосередньо підвищує енергетичну безпеку, знижує залежність від імпорتنих енергоносіїв та сприяє сталому розвитку енергетичного сектору України.

Таблиця 2.1. – Основні джерела енергетичних втрат у котельних установках

№	Тип втрат	Орієнтовна частка від загальної енергії, %	Причини виникнення	Можливі заходи щодо зменшення втрат
1	Втрати з відхідними газами	5–10	Висока температура димових газів, неповне використання теплоти згоряння	Встановлення економайзерів, конденсаційних теплообмінників, очищення поверхонь нагріву
2	Хімічне та механічне недопалювання палива	1–3	Недостатнє змішування палива з повітрям, нерівномірне горіння	Автоматичне регулювання співвідношення «паливо–повітря», оптимізація пальникових пристроїв
3	Втрати через випромінювання і конвекцію	1–3	Недостатня теплоізоляція котла і трубопроводів	Використання сучасних ізоляційних матеріалів, теплоізоляція арматури

№	Тип втрат	Орієнтовна частка від загальної енергії, %	Причини виникнення	Можливі заходи щодо зменшення втрат
4	Втрати через продувку котлів	0,5–1,5	Часті або надмірні продувки, неефективна водопідготовка	Автоматичне регулювання продувки, контроль якості води
5	Втрати через неузгодженість теплових навантажень	2–4	Робота при змінних або мінімальних навантаженнях	Впровадження автоматизованих систем регулювання потужності, буферні ємності
6	Електроенергетичні втрати у допоміжному обладнанні	3–6	Використання двигунів із низьким ККД, відсутність частотного регулювання	Установка енергоефективних електродвигунів (IE3–IE4), частотно-регульовані приводи
7	Втрати у внутрішніх електричних мережах	0,5–2	Перевантаження ліній, низький коефіцієнт потужності	Балансування навантажень, компенсація реактивної потужності
8	Неоптимальне керування технологічними процесами	1–2	Відсутність автоматичного регулювання, ручний режим	Впровадження систем АСУ ТП, диспетчеризація та моніторинг у режимі реального часу
9	Організаційно-технологічні втрати	2–3	Недотримання регламентів обслуговування, старіння обладнання	Планові ремонти, модернізація, енергоаудит
10	Втрати внаслідок нерационального використання електроенергії	1–2	Робота насосів і вентиляторів без регулювання за навантаженням	Використання енергоменеджменту, оптимізація графіків роботи обладнання

2.3. Розрахунок економічного ефекту від впровадження запропонованих заходів

Електроенергетична складова в роботі котельних установок є визначальною, адже споживання електроенергії електродвигунами насосів, вентиляторів, систем автоматики та допоміжного обладнання значно впливає на загальну енергоефективність об'єкта. Підвищення ефективності електроспоживання дозволяє зменшити витрати на електроенергію, знизити

навантаження на електромережу та підвищити енергетичну безпеку підприємства.

Розрахунок економічного ефекту від упровадження енергозберігаючих заходів виконується з урахуванням зменшення споживання електроенергії, оптимізації режимів роботи електродвигунів, а також скорочення втрат потужності в електричних мережах котельні.

Річна економія електроенергії визначається за формулою:

$$E_{\text{ел}} = (P_0 - P_1) \cdot t_p \cdot C_e \quad (2.1.)$$

де

$E_{\text{ел}}$ – річна економія коштів від зниження споживання електроенергії, грн/рік;

P_0 і P_1 – середня споживана потужність до та після впровадження заходів, кВт;

t_p – час роботи обладнання за рік, год;

C_e – тариф на електроенергію, грн/кВт·год.

Якщо впровадження заходів пов'язане з модернізацією електротехнічного обладнання, доцільно розрахувати термін окупності інвестицій (T):

$$T = \frac{K}{E_{\text{ел}}} \quad (2.2.)$$

де

K – капітальні витрати на впровадження заходу, грн.

До типових енергоефективних рішень у котельних установках належать:

- встановлення частотних перетворювачів (ЧП) на електродвигунах насосів і вентиляторів для регулювання продуктивності залежно від навантаження;
- заміна неефективних асинхронних двигунів старих типів на сучасні з класом енергоефективності IE3–IE4;
- балансування фазного навантаження та зниження реактивної потужності шляхом компенсації;

- модернізація систем керування, що забезпечує автоматичну оптимізацію режимів споживання електроенергії;
- перехід на використання енергоменеджменту та систем моніторингу споживання електроенергії.

Для порівняння розрахункові результати подано у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2. – Розрахункові результати

№	Заходи	Потужність до, кВт	Потужність після, кВт	Економія електроенергії, кВт·год/рік	Економічний ефект, грн/рік	Капітальні витрати, грн	Термін окупності, років
1	Встановлення частотного перетворювача на насосах	45	35	43 800	87 600	150 000	1,7
2	Заміна електродвигуна вентилятора на енергоефективний	22	17	21 600	43 200	70 000	1,6
3	Компенсація реактивної потужності ($\cos\varphi=0,7\rightarrow0,95$)	—	—	12 000	24 000	40 000	1,7
4	Впровадження системи енергомоніторингу	—	—	8 000	16 000	30 000	1,9

Загальна річна економія електроенергії становить 85400 кВт·год, що відповідає економічному ефекту близько 170 000 грн/рік.

Середній термін окупності комплексу заходів – 1,7 року, що свідчить про їх високу ефективність та доцільність реалізації.

Окрім економічних переваг, впровадження таких заходів сприяє:

- зниженню навантаження на електричну мережу котельної;
- стабілізації напруги та зменшенню втрат активної потужності в проводах;

- підвищенню надійності роботи електрообладнання;
- зменшенню пікових навантажень на енергосистему.

Отже, реалізація запропонованих електроенергетичних заходів дозволяє досягти суттєвого зниження енергоспоживання, підвищити енергоефективність та забезпечити сталу економічну вигоду в процесі експлуатації котельної.

2.4. Оцінка екологічного ефекту (зменшення викидів шкідливих речовин та CO₂)

Зменшення енергоспоживання котельної внаслідок упровадження енергоефективних заходів безпосередньо сприяє скороченню викидів парникових газів і шкідливих речовин, що утворюються під час спалювання палива та виробництва електроенергії. Екологічний ефект від таких заходів полягає не лише в економії ресурсів, але й у зниженні антропогенного впливу на довкілля.

У більшості випадків котельні споживають як електричну, так і теплову енергію, що виробляється з використанням викопного палива (природного газу, вугілля, мазуту тощо). Зменшення споживання електроенергії призводить до зниження обсягів генерації на теплових електростанціях і, відповідно, до зменшення маси викидів CO₂, NO_x, SO₂ та пилу.

Оцінка екологічного ефекту здійснюється за формулою:

$$M_i = \Delta E_{\text{ел}} \cdot k_i \quad (2.3.)$$

де

M_i - зменшення викидів i -тої речовини, т/рік;

$\Delta E_{\text{ел}}$ - річна економія електроенергії, кВт·год;

k_i - питомий коефіцієнт викидів при виробництві 1 кВт·год електроенергії, т/кВт·год.

Для електроенергії, що виробляється з традиційних джерел (ТЕС), питомі коефіцієнти викидів становлять:

Таблиця 2.3. – Питомі коефіцієнти викидів

Показник	Позначення	Одиниця виміру	Значення
Вуглекислий газ	k_{CO_2}	т/кВт·год	0,00082
Оксиди азоту	k_{NO_2}	т/кВт·год	0,0000015
Оксиди сірки	k_{SO_2}	т/кВт·год	0,000001
Зважені частки (пил)	$k_{\text{пил}}$	т/кВт·год	0,0000005

За результатами попередніх розрахунків, річна економія електроенергії становить: $\Delta E_{\text{ел}} = 85400 \text{ кВт/год} \cdot \text{рік}$.

Тоді зменшення викидів становитиме:

$$M_{CO_2} = 85400 \cdot 0,00082 = 70 \text{ тонн/рік}$$

$$M_{NO_2} = 85400 \cdot 0,000015 = 0,13 \text{ тонн/рік}$$

$$M_{SO_2} = 85400 \cdot 0,00001 = 0,085 \text{ тонн/рік}$$

$$M_{\text{пил}} = 85400 \cdot 0,0000005 = 0,043 \text{ тонн/рік}$$

Отримані результати зведено в таблицю 2.4.

Таблиця 2.4. – Результати розрахунків зменшення викидів

№	Забруднювальна речовина	Питомий коефіцієнт, т/кВт·год	Зменшення викидів, т/рік
1	Вуглекислий газ (CO ₂)	0,00082	70,0
2	Оксиди азоту (NO _x)	0,0000015	0,13
3	Оксиди сірки (SO ₂)	0,000001	0,085
4	Пилові частки	0,0000005	0,043

Таким чином, за рахунок реалізації заходів з підвищення енергоефективності котельної річні викиди CO₂ скорочуються приблизно на 70 тонн, а викиди інших забруднювачів - на десятки кілограмів. Це сприяє поліпшенню екологічного стану довкілля, зменшенню вуглецевого сліду підприємства та підвищенню рівня його енергетичної та екологічної безпеки.

Крім того, зменшення споживання електроенергії з централізованої мережі знижує навантаження на енергосистему, сприяючи стабільності

частоти та напруги, що є важливим чинником для забезпечення сталого розвитку енергетичного сектору.

2.5. Перспективи використання відновлюваних та альтернативних джерел енергії у роботі котельні

Сучасні тенденції розвитку енергетики орієнтовані на зниження споживання викопних видів палива, зменшення викидів парникових газів та підвищення енергетичної незалежності. Для котельних установок це означає необхідність поступового переходу на відновлювані джерела енергії (ВДЕ) та впровадження енергоефективних технологій, здатних інтегруватися в існуючу електроенергетичну інфраструктуру.

Основними напрямками використання ВДЕ у роботі котельних є:

1. Використання сонячної енергії

Сонячні установки можуть застосовуватися у двох формах:

- Сонячні колектори – для попереднього підігріву води в системах гарячого водопостачання чи для підживлення котлів. Це дозволяє знизити витрати природного газу або інших видів палива на 10–20 %.
- Сонячні фотомодулі (СЕС) – для живлення власних електроспоживачів котельні (насоси, автоматика, освітлення). За наявності системи зберігання енергії (акумуляторів) або гібридного інвертора, частину електроспоживання можна покривати автономно.

Річна генерація електроенергії СЕС розраховується за формулою:

$$E_{\text{СЕС}} = P_{\text{уст}} \cdot t_{\text{сон}} \cdot \eta_{\text{с}} \quad (2.4.)$$

де

$P_{\text{уст}}$ – встановлена потужність сонячної установки, кВт;

$t_{\text{сон}}$ – середньорічна кількість сонячних годин, год/рік;

$\eta_{\text{с}}$ – коефіцієнт корисної дії системи.

2. Використання теплових насосів

Теплові насоси дозволяють перетворювати низькопотенційну теплову енергію ґрунту, повітря чи води на корисне тепло для систем опалення. Їхній коефіцієнт перетворення (COP) зазвичай становить 3–4, тобто на 1 кВт·год спожитої електроенергії виробляється 3–4 кВт·год тепла.

Використання теплових насосів у поєднанні з існуючими котлами дозволяє суттєво зменшити навантаження на паливну частину системи та підвищити загальний коефіцієнт корисної дії котельні.

3. Використання біопалива

Перехід на біомасу (деревні гранули, тріска, агропелети) є одним із найефективніших шляхів підвищення енергетичної незалежності. Біопаливо має нульовий вуглецевий баланс, оскільки під час згоряння виділяє стільки ж CO₂, скільки рослини поглинають під час росту. Котли на біопаливі можуть використовуватися як основне або резервне джерело теплової енергії, що особливо актуально для децентралізованих систем теплопостачання.

4. Використання рекуперації теплоти

Впровадження систем рекуперації (утилізація тепла димових газів, відпрацьованого повітря, конденсату) дозволяє повернути частину енергії у технологічний процес. Електронні системи керування вентиляторними приводами з частотним регулюванням забезпечують динамічну оптимізацію теплових і електричних режимів роботи котельної.

5. Інтелектуальні системи управління енергоспоживанням

Використання енергоменеджменту та цифрових систем моніторингу дозволяє постійно відстежувати споживання електроенергії, виявляти перевантаження та втрати, оптимізувати графіки роботи обладнання.

Такі системи можуть інтегрувати локальні джерела генерації (СЕС, теплові насоси) в єдину мікромережу котельні, забезпечуючи розподілену генерацію та підвищуючи енергетичну безпеку об'єкта.

6. Комплексна енергетична модель котельні майбутнього

На основі проведеного аналізу доцільно формувати гібридну енергетичну систему котельні, у якій поєднуються:

- газові або біопаливні котли;
- сонячні колектори або СЕС;
- теплові насоси;
- система рекуперації;
- акумулятори електроенергії.

Таке рішення дозволяє забезпечити багатоджерельне живлення, стабільну роботу навіть при коливаннях напруги або відключеннях з боку мережі, а також мінімізувати викиди CO₂.

Використання відновлюваних та альтернативних джерел енергії у роботі котельної є стратегічним напрямом розвитку енергетичної інфраструктури. Це не лише знижує витрати на паливо та електроенергію, а й підвищує енергетичну стійкість, надійність постачання та екологічну ефективність системи теплопостачання.

Інтеграція таких технологій відповідає концепції «зеленої енергетики» та сприяє реалізації цілей сталого розвитку енергетичного сектору України.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2:

В даному розділі проведено комплексну оцінку енергетичної ефективності котельної, яка забезпечує теплопостачання споживачів, а також визначено основні напрями підвищення її енергетичної та екологічної результативності.

Під час аналізу загальної характеристики котельної встановлено її технічне призначення, тип паливоспалювального обладнання, структуру системи теплопостачання та основні параметри роботи. Виявлено, що котельня функціонує за традиційною схемою з використанням водогрійних або парових котлів, а основними споживачами є об'єкти комунального призначення.

Виявлено основні джерела енергетичних втрат, серед яких – недосконалість процесу горіння, тепловтрати через поверхні нагріву та димові канали, нераціональний режим роботи насосного обладнання й відсутність системи автоматичного регулювання параметрів горіння. Зазначені фактори призводять до перевитрат палива та зниження загального коефіцієнта корисної дії котельної установки.

Розрахунок економічного ефекту впровадження енергоощадних заходів показав, що модернізація паливоспалювального обладнання, впровадження частотно-регульованих приводів електродвигунів, автоматизація процесів горіння та використання систем моніторингу енергоспоживання дозволяють скоротити витрати палива та електроенергії. Це забезпечує відчутне зменшення собівартості теплової енергії та зростання рентабельності експлуатації котельної.

Виконана оцінка екологічного ефекту підтвердила, що підвищення енергоефективності сприяє зменшенню викидів шкідливих речовин, зокрема оксидів азоту, вуглецю та діоксиду вуглецю (CO_2). Це відповідає сучасним вимогам екологічної безпеки та стратегії декарбонізації енергетики.

Додатково обґрунтовано перспективи інтеграції відновлюваних та альтернативних джерел енергії — таких як теплонасосні установки, сонячні

колектори чи біопаливо — у роботу котельної. Їх використання здатне підвищити рівень енергетичної автономності, зменшити залежність від викопних палив і сприяти досягненню цілей сталого розвитку в енергетичному секторі.

Загалом результати аналізу підтверджують, що комплексна модернізація котельних установок з урахуванням технічних, економічних та екологічних факторів є ключовим напрямом підвищення енергетичної безпеки та ефективності систем теплопостачання.

РОЗДІЛ 3. ПЕРЕЛІК ЗАХОДІВ ІЗ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОТРИМАННЯ ВИМОГ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

Перелік заходів щодо дотримання встановлених вимог енергетичної ефективності включено до складу розділу відповідно до вимог Постанові Кабінету Міністрів України №87 від 22 січня 2013 р. «Про встановлення вимог до енергетичної ефективності будівель».

До нього входять:

1. Показники, що характеризують питомі витрати енергетичних ресурсів у будівлі, споруді чи комплексі.
2. Вимоги до архітектурних, функціонально-технологічних, конструктивних і інженерно-технічних рішень, які впливають на енергетичну ефективність.
3. Вимоги до окремих елементів і конструкцій будівель, а також до застосовуваних технологій і матеріалів, що дозволяють уникати нераціональних витрат енергоресурсів під час будівництва та експлуатації.
4. Інші встановлені вимоги до енергетичної ефективності.

3.1. Показники, що характеризують питомі витрати енергетичних ресурсів

Показники визначаються чинними нормами та правилами.

Розрахунок здійснюється за двома нормативними документами:

1. СНіП 23-02-2003 «Тепловий захист будівель» - діючий норматив, що підлягає скасуванню.
2. СП 50.13330.2012 «Тепловий захист будівель» (актуалізована редакція) - затверджений документ, який набирає чинності найближчим часом.

Таблиця 3.1. - Показники, що характеризують питомі витрати енергетичних ресурсів

Показник	Одиниці вимірювання	Документ	Примітка
Питома характеристика споживання теплової енергії на опалення та вентиляцію	Вт/(м ³ ·°С)	СП 50.13330.2012, таблиця 14	В залежності від об'єму будівлі та градусо-доб опалювального періоду
Питомі витрати теплової енергії на опалення будівлі	кДж/(м ² ·°С·доба) або кДж/(м ³ ·°С·доба)	СНіП 23-02-2003, таблиці 8, 9	В залежності від типу будівлі та поверховості
Питома теплозахисна характеристика будівлі	Вт/(м ² ·°С)	СП 50.13330.2012, формули 5.5 або 5.6	—

3.2. Вимоги до архітектурних, конструктивних та інженерних рішень

Таблиця 3.2. - Вимоги до архітектурних, конструктивних та інженерних рішень

Показник	Значення	Джерело / Документ	Примітка
Коефіцієнт заклення фасаду	≤ 18% (житлові), ≤ 25% (громадські)	СНіП 23-02-2003, п. 5.11	Використовується як довідкова інформація; СП 50.13330.2012 не нормує
Коефіцієнт компактності будівлі	0,25–1,1 (залежно від поверховості)	СНіП 23-02-2003, п. 5.14	Використовується як довідкова інформація; у СП 50.13330.2012 враховується опосередковано при розрахунку питомих витрат енергії
Питомі витрати енергії на опалення	Залежно від кліматичного району та категорії будівлі (розрахункові значення)	СП 50.13330.2012, розділ 4	Основний нормативний показник для сучасних розрахунків енергоефективності
Тепловий опір огорожувальних конструкцій	Мінімальні значення для стін, покрівлі, підлоги	СП 50.13330.2012, табл. 4.1–4.3	Використовується для контролю дотримання енергетичних нормативів

3.3. Вимоги до окремих елементів будівель і споруд

- ✓ Нормоване значення опору теплопередачі - визначається за СП 50.13330.2012).
- ✓ Коефіцієнт додаткових тепловтрат системи опалення - 1,05–1,13.
- ✓ Температура внутрішньої поверхні конструкцій - не нижче точки роси.
- ✓ Теплоустійкість огорожувальних конструкцій - не перевищує нормованих коливань.
- ✓ Повітропроникність - не нижче норм опору повітропроникненню.
- ✓ Вологісний стан - без накопичення вологи протягом року.
- ✓ Теплосприймання підлоги - 12–14 Вт/(м²·°С).
- ✓ Коефіцієнт ефективності авторегулювання опалення - 0,5–1,0.
- ✓ Коефіцієнт зниження споживання тепла при квартирному обліку - 0,1.

Таблиця 3.3. - Інші вимоги до енергетичної ефективності

Показник	Значення	Документ
Клас енергетичної ефективності (СНіП 23-02-2003)	A–E (класи D, E не допускаються)	Табл. 3
Клас енергетичної ефективності (СП 50.13330.2012)	A++–E (класи D, E не допускаються)	Табл. 15
Показник енергетичної ефективності	Порівняння розрахункових і нормованих значень питомих витрат тепла	Табл. 7

3.4. Заходи щодо забезпечення дотримання встановлених вимог енергетичної ефективності

Заходи щодо забезпечення зазначених вище показників і вимог розроблені в різних розділах проектної документації. Опис заходів наведено в таблиці, обґрунтування та підтверджувальні розрахунки подані в наступних підрозділах цього розділу проектної документації.

Таблиця 3.4. - Перелік заходів, передбачених документацією

№	Захід	Опис	Розділ
1	Забезпечення питомої теплозахисної характеристики будівлі не нижче нормативної	Застосування огорожувальних конструкцій із опором теплопередачі не нижче нормативного.	Архітектурні рішення
2	Скорочення споживання електроенергії на освітлення будівлі	Використання світлодіодних світильників.	Дані про інженерне обладнання, мережі інженерно-технічного забезпечення, перелік інженерно-технічних заходів, зміст технологічних рішень. Система електропостачання
3	Зменшення споживання палива	Використання котлів сучасної конструкції з високим коефіцієнтом корисної дії.	Дані про інженерне обладнання, мережі інженерно-технічного забезпечення, перелік інженерно-технічних заходів, зміст технологічних рішень. Технологічні рішення
4	Скорочення витрат теплової енергії у споживачів	Відпуск теплової енергії в мережу за температурним графіком, який підтримується системою автоматичного регулювання за погодозалежною схемою.	Дані про інженерне обладнання, мережі інженерно-технічного забезпечення, перелік інженерно-технічних заходів, зміст технологічних рішень. Технологічні рішення
5	Скорочення внутрішніх втрат теплової енергії	Використання високоефективної теплової ізоляції трубопроводів і технологічного обладнання.	Дані про інженерне обладнання, мережі інженерно-технічного забезпечення, перелік інженерно-технічних заходів, зміст технологічних рішень. Технологічні рішення

3.5. Обґрунтування вибору оптимальних рішень

Обґрунтування вибору оптимальних архітектурних, функціонально-технологічних, конструктивних та інженерно-технічних рішень і їх належної реалізації під час будівництва, реконструкції й капітального ремонту з метою забезпечення відповідності будівель, споруд і об'єктів вимогам енергетичної ефективності та оснащеності приладами обліку використаних енергетичних ресурсів підтверджується наведеними нижче розрахунками.

3.5.1. Нормативні параметри

Нормативні параметри для виконання розрахунків прийняті згідно з чинними нормами і правилами та наведені в таблиці з посиланнями на нормативні документи, пункти, таблиці й указівками щодо чинників, що впливають на вибір параметра.

Значення нормативних параметрів і відповідні розрахунки наведені в подальших розділах.

Таблиця 3.5. - Посилання на нормативні джерела розрахункових параметрів

Параметр	Документ	Реквізити (таблиця, пункт)	Впливаючі фактори / Примітка
Температура внутрішнього повітря для розрахунку теплозахисту	СП 50.13330.2012	П. 4.4	Визначається залежно від типу будівлі та умов експлуатації (А або Б)
Вологість внутрішнього повітря	СП 50.13330.2012	П. 4.4	Впливає на вибір умов експлуатації та розрахунок вологостійкості конструкцій
Зона вологості району будівництва об'єкта	СП 50.13330.2012	Додаток В	Враховується при виборі нормативних опорів теплопередачі та теплоізоляції
Вибір умов експлуатації А або Б	СП 50.13330.2012	П. 4.4	Залежить від вологісного режиму приміщень та кліматичної зони району будівництва
Параметри зовнішнього повітря	СП 50.13330.2012	Табл. 1	Визначаються для розрахунку тепловтрат будівлі в конкретному населеному пункті
Базові значення опору теплопередачі огорожувальних конструкцій	СП 50.13330.2012	Табл. 3	Залежить від типу будівлі, градусо-добового опалювального періоду та виду конструкції
Коефіцієнти тепловіддачі внутрішньої поверхні конструкції	СП 50.13330.2012	Табл. 4	Впливає на розрахунок тепловтрат через внутрішні поверхні
Коефіцієнти тепловіддачі зовнішньої поверхні конструкції	СП 50.13330.2012	Табл. 6	Впливає на розрахунок тепловтрат через зовнішні огорожувальні конструкції

Параметр	Документ	Реквізити (таблиця, пункт)	Впливаючі фактори / Примітка
Нормовані значення питомої теплозахисної характеристики будівлі	СП 50.13330.2012	Табл. 7	Залежить від об'єму будівлі та її геометрії (ГСОП)
Нормована характеристика споживання теплової енергії	СП 50.13330.2012	Табл. 14	Враховує тип і поверховість будівлі; використовується для оцінки енергетичної ефективності
Класи енергетичної ефективності житлових та громадських будівель	СП 50.13330.2012	Табл. 15	Визначаються за величиною відхилення розрахункового значення питомої характеристики від нормативного

3.5.2. Параметри зовнішнього повітря

Розрахункова температура зовнішнього повітря в холодний період року прийнята рівною середній температурі найхолоднішої п'ятиденки з імовірністю забезпеченості 0,92.

В таблиці також наведені коефіцієнти, що враховують особливості регіону будівництва та приймаються:

- для стін не менше 0,63;
- для світлопрозорих конструкцій не менше 0,95;
- для інших огорожувальних конструкцій не менше 0,8.

Значення регіональних коефіцієнтів менше одиниці встановлено завданням на проєктування.

Таблиця 3.6. - Параметри зовнішнього повітря та району будівництва

Параметр	Значення
Населений пункт	Місто Черкаської області
Розрахункова температура зовнішнього повітря для проєктування теплозахисту	-37 °C
Тривалість опалювального періоду, діб	216
Середня температура опалювального періоду	-7,7 °C
Середня швидкість вітру за опалювальний період, м/с	4,4

Параметр	Значення
Регіональний коефіцієнт до нормативних опорів: для стін – 0,63; для світлопрозорих конструкцій – 0,95; для інших конструкцій – 0,80	

3.5.3. Параметри внутрішнього повітря

Параметри внутрішнього повітря та умови експлуатації будівлі використовуються в подальших розрахунках.

Розрахункові температури повітря в теплому горищі, технічному підпіллі визначені згідно з п. 5.2 СП 50.13330.2012 на основі розрахунку теплового балансу.

Таблиця 3.7. - Параметри внутрішнього повітря і умови експлуатації

Показник	Значення
Температура внутрішнього повітря, °С	16
Відносна вологість, %	50
Тип будівлі за теплозахистом	Виробнича з сухим і нормальним режимами
Умови експлуатації	А
Густина припливного повітря, кг/м³	1,22
Питома вага внутрішнього повітря, Н/м³	11,98
Температура точки роси, °С	≈ 5,6

Густина припливного повітря розрахована за формулою:

$$\rho = 353 / (273 + 16) = 1,22 \text{ кг/м}^3$$

Питома вага внутрішнього повітря розрахована за формулою:

$$\gamma = 3463 / (273 + 16) = 11,98 \text{ Н/м}^3$$

Ці параметри використовуються при розрахунках витрат теплової енергії на інфільтрацію та вентиляцію.

Таблиця 3.8. - Розрахунок температури точки роси для стін

№	Параметр	Примітка	Одиниця вимірювання	Формула / джерело	Розрахунок	Результат
1	Розрахункова температура внутрішнього повітря будівлі	Згідно з нормативними джерелами	°C	—	—	16
2	Відносна вологість внутрішнього повітря будівлі	Прийнято для виробничих приміщень із сухим і нормальним режимами	%	—	—	50
3	Тип будівлі за теплозахистом	Виробнича будівля з сухим і нормальним режимами	—	Таблиця 3 СП 50	—	—
4	Температура точки роси за СП 23-101-2004	Прийнято за таблицею 3	—	Таблиця 3	—	—
5	Коефіцієнт a	Константа у формулі	—	—	—	—

Температура точки роси для внутрішнього повітря приміщення при температурі 16 °C і відносній вологості 50 % становить приблизно 5,6 °C.

3.5.4. Градусо-дні опалювального сезону

Градусо-день опалювального періоду (ГСД), °C день/рік, є найважливішим параметром для визначення нормативних характеристик теплового захисту будівлі, таких як базові значення необхідного опору теплопередачі огорожувальних конструкцій і нормативне значення питомих теплозахисних характеристик будівлі.

При розрахунку ГСОП враховується середня температура зовнішнього повітря і тривалість опалювального періоду, прийняті за період із середньодобовою температурою зовнішнього повітря не вище 10 °C - при проектуванні лікувально-профілактичних, дитячих установ і в будинках для людей похилого віку та не вище 8 °C в інших випадках.

Таблиця 3.9. - Розрахунок градусо-днів опалювального періоду (ГСОП)

№	Параметр	Позначення	Одиниця вимірювання	Формула / Джерело	Розрахунок	Результат
1	Розрахункова температура внутрішнього повітря будівлі	t_v	°C	ГОСТ 30494-96, табл. 1	—	16,0
2	Середня температура зовнішнього повітря за опалювальний період	$t_{оп}$	°C	СП 131.13330.2012, табл. 1	—	-7,7
3	Тривалість опалювального періоду	$z_{оп}$	дів	СП 131.13330.2012, табл. 1	—	216
4	Різниця температур внутрішнього і середнього зовнішнього повітря	$t_v - t_{оп}$	°C		$16 - (-7,7)$	23,7
5	Градусо-дні опалювального періоду	$(ГСОП) = (t_v - t_{оп}) \cdot z_{оп}$	°C·добу		$23,7 \times 216$	5119,2

Градусо-дні опалювального періоду (ГСОП) для населеного пункту Черкаської області становлять ≈ 5119 °C·дів.

Цей показник використовується при визначенні нормативних та проєктних теплозахисних характеристик будівлі відповідно до вимог СП 131.13330.2012 та СП 50.13330.2012.

3.6. Теплозахисні характеристики будівель

Теплозахисна оболонка будівлі (сукупність огорожувальних конструкцій, що утворюють замкнутий контур, що обмежує опалювальний об'єм будівлі) повинна відповідати таким вимогам:

- знижений опір теплопередачі огорожувальних конструкцій;

- обмеження температури та запобігання конденсації вологи на внутрішній поверхні огорожувальної конструкції, за винятком вікон з вертикальним склінням;
- питомий показник витрат теплової енергії на опалення будівлі;
- теплостійкість огорожувальних конструкцій у теплу пору року та будівельних приміщень у холодну пору року;
- повітропроникність огорожувальних конструкцій і приміщень;
- захист від заболочування огорожувальних конструкцій;
- теплопоглинання поверхонь підлоги;
- класифікація, визначення та підвищення енергоефективності запроектовані та існуючі будівлі;
- контроль нормованих показників, в тому числі енергетичного паспорта будівлі.

3.6.1. Нормативні значення опору теплопередачі

Наведені опори теплопередачі встановлюють вимоги до окремих елементів огорожувальних конструкцій.

Нормативний приведений опір теплопередачі огорожувальних конструкцій визначається згідно СП з урахуванням градусо-дня опалювального періоду, типу будівлі, а також регіональних понижуючих коефіцієнтів.

Таблиця 3.8. - Нормативні опори теплопередачі

Елемент конструкції	Базове значення потрібного опору теплопередачі, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$	Коефіцієнт, що враховує особливості району будівництва	Нормоване значення приведеного опору теплопередачі, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$
Стіни	1,40	0,63	0,88
Покриття і перекриття над проїздами	2,20	0,80	1,76
Перекриття горищні, над неопалюваними	1,90	0,80	1,52

Елемент конструкції	Базове значення потрібного опору теплопередачі, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$	Коефіцієнт, що враховує особливості району будівництва	Нормоване значення приведеного опору теплопередачі, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$
підпіллями і підвалами			
Вікна, балконні двері, вітрини і вітражі	0,35	0,95	0,33
Ліхтарі	0,50	0,80	0,40

Таблиця 3.9. - Проектні опори теплопередачі

Елемент конструкції	Товщин а шару, м	Коефіцієнт теплопровідності і λ , $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$	Опір теплопередачі , $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$	Втрати на поверхнев і опори, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$	Загальний приведений опір теплопередачі , $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$
Стіни тришарові панелі (бетон + утеплювач + бетон)	0,35	0,35 / 0,05 / 0,35	2,85	0,13	2,98
Покриття тришарове панельне	0,40	0,35 / 0,05 / 0,35	3,10	0,12	3,22
Перекриття горищне над неопалюваним підпіллям	0,30	0,45 / 0,06 / 0,45	2,50	0,12	2,62
Вікна металопластикові і з двокамерним склопакетом	—	—	0,52	—	0,52
Ворота утеплені (індивідуального виготовлення)	—	—	0,45	—	0,45

3.6.2. Розрахунки опору огорожувальних конструкцій

Для визначення фактичних значень опору теплопередачі огорожувальних конструкцій прийняті такі вихідні дані:

Таблиця 3.10. – Вихідні дані для визначення фактичних значень опору теплопередачі огорожувальних конструкцій

Параметр	Значення	Пояснення / Джерело
Температура внутрішнього повітря	+16 °C	Для технічних приміщень котельні; відповідає СП 50.13330.2012, п. 4.4
Температура зовнішнього повітря (розрахункова мінімальна)	-25 °C	Для північних областей України (Суми, Чернігів); розрахункова температура холодного періоду згідно СП 50.13330.2012, додаток А
Коефіцієнт тепловіддачі внутрішніх поверхонь	За таблицею 4 СП 50.13330.2012	Враховує тип поверхні і призначення приміщення
Коефіцієнт тепловіддачі зовнішніх поверхонь	За таблицею 6 СП 50.13330.2012	Залежить від розташування поверхні та зовнішніх умов

Розрахунковий опір теплопередачі конструкцій визначався за формулою:

$$R = \frac{1}{\alpha_{\text{вн}}} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_{\text{зовн}}}$$

де $\alpha_{\text{вн}}$ - коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні, Вт/(м²·°C);

$\alpha_{\text{зовн}}$ - коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої поверхні, Вт/(м²·°C);

δ_i - товщина шару матеріалу, м;

λ_i - коефіцієнт теплопровідності шару, Вт/(м·°C).

Розрахункові опори конструкцій прийняті відповідно до вимог СП 50.13330.2012 «Тепловий захист будівель» та відповідають нормованим значенням.

3.6.3. Нормована питома теплозахисна характеристика будівлі

Питома теплозахисна характеристика будівлі розраховується згідно з формулою:

$$q_{\text{норм}} = A_0 \cdot (V)^{-0,25}$$

де

A_0 - коефіцієнт, що залежить від градусо-доби опалювального періоду;

V - об'єм опалювальної частини будівлі, м³.

Для даної будівлі при ГСОП = 6420 °C · добу і об'ємі $V = 2359 \text{ м}^3$ нормована питома теплозахисна характеристика дорівнює:

$$q_{\text{норм}} = 0,91 \text{ Вт/м}^3 \cdot \text{C}^0$$

3.6.4. Проектна питома теплозахисна характеристика

Проектна питома теплозахисна характеристика визначається за формулою:

$$q_{\text{пр}} = \frac{\sum(A_i/R_i)}{V}$$

де

A_i - площа i -ї огорожувальної конструкції, м^2 ;

R_i - опір теплопередачі i -ї конструкції, $\text{м}^2 \cdot \text{C}^0/\text{Вт}$;

V - об'єм опалювальної частини будівлі, м^3 .

Підставляючи значення:

$$q_{\text{пр}} = \frac{(540/2,98) + (260/3,22) + (120/2,62) + (80/0,52)}{2359} = 0,74 \text{ (Вт/м}^3 \cdot \text{C}^0)$$

Одержане значення нижче нормативного (0,91), що свідчить про відповідність конструкцій вимогам енергетичної ефективності.

Таблиця 3.11 – Вихідні дані

Конструкція	Базове значення необхідного опору теплопередачі, $\text{м}^2 \cdot \text{C}^0/\text{Вт}$	Коефіцієнт	Нормоване значення приведеного опору теплопередачі, $\text{м}^2 \cdot \text{C}^0/\text{Вт}$
Стіни	1,40	0,63	0,88
Покриття та перекриття над проїздами	2,20	0,80	1,76
Перекриття горищні, над неопалюваними підпіллями та підвалами	4,20	0,80	3,36
Вікна і балконні двері, вітрини і вітражі	0,35	0,95	0,33
Ліхтарі (зенітні)	0,50	0,95	0,48

Таблиця 3.12 – Нормативні вимоги

Конструкція	Прийнята конструкція	Розрахунковий опір теплопередачі, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$	Висновок щодо відповідності
Стіни	Тришарові навісні панелі заводського виготовлення	3,19	Відповідає нормам
Покриття та перекриття над проїздами	Тришарові покрівельні панелі покриття заводського виготовлення	4,76	Відповідає нормам
Перекриття горищні, над неопалюваними підпіллями і підвалами	Тришарові панелі	4,20	Відповідає нормам
Вікна і балконні двері, вітрини і вітражі	Віконні блоки за ДСТ 23166-99	0,38	Відповідає нормам
Ліхтарі (зенітні)	Індивідуального виготовлення з утеплювачем товщиною 150 мм	0,25	Відповідає нормам

Стіни - базове значення необхідного опору теплопередачі $1,40 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$.

З урахуванням коефіцієнта 0,63 нормоване значення приведенного опору становить $0,88 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$.

Покриття та перекриття над проїздами - базове значення $2,20 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, коефіцієнт 0,80, нормоване значення $1,76 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$.

Перекриття горищні, над неопалюваними підпіллями та підвалами - базове значення $4,20 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, коефіцієнт 0,80, нормоване значення $3,36 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$.

Вікна, балконні двері, вітрини та вітражі - базове значення $0,35 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, коефіцієнт 0,95, нормоване значення $0,33 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$.

Ліхтарі (зенітні) - базове значення $0,50 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, коефіцієнт 0,95, нормоване значення $0,48 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$.

Примітки:

1. Базові значення необхідних опорів теплопередачі визначені за формулою з примітки 1 до таблиці 3 Зводу правил 50.13330.2012 «Тепловий захист будівель».

2. Нормовані значення приведених опорів теплопередачі встановлені з урахуванням коефіцієнтів, що враховують особливості району будівництва.

Проектні опори теплопередачі

Стіни - тришарові навісні панелі заводського виготовлення. Розрахунковий опір теплопередачі становить $3,19 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$. Відповідає нормам.

Покриття та перекриття над проїздами - тришарові покрівельні панелі заводського виготовлення. Розрахунковий опір теплопередачі $4,76 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$. Відповідає нормам.

Перекриття горищні, над неопалюваними підпіллями і підвалами - тришарові панелі. Розрахунковий опір теплопередачі $4,20 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$. Відповідає нормам.

Вікна і балконні двері, вітрини і вітражі - віконні блоки за Державним стандартом 23166-99. Розрахунковий опір теплопередачі $0,38 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$. Відповідає нормам.

Ліхтарі (зенітні) - індивідуального виготовлення з утеплювачем товщиною 150 мм. Розрахунковий опір теплопередачі $0,25 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$. Відповідає нормам.

Розрахунок опору теплопередачі виконувався відповідно до вимог Зводу правил 50.13330.2012 «Тепловий захист будівель» з урахуванням конструктивних характеристик матеріалів і товщини шарів, що входять до складу огорожувальних елементів.

Розрахунок для зовнішніх стін:

Конструкція стіни: тришарова панель із зовнішнім оздоблювальним шаром, утеплювачем і внутрішнім шаром.\

Теплопровідність шарів врахована згідно з довідковими даними.

Опір теплопередачі визначався за формулою:

$$R = \delta / \lambda,$$

де

R - опір теплопередачі, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$;

δ - товщина шару, м;

λ - коефіцієнт теплопровідності матеріалу, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$.

Сумарний опір теплопередачі зовнішньої стіни складає $3,19 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$, що перевищує нормоване значення $0,88 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$.

Отже, теплозахист зовнішніх стін відповідає вимогам нормативів.

Розрахунок для покриття:

Конструкція: тришарова панель покриття з утеплювачем.

Опір теплопередачі $R = 4,76 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ при нормі $1,76 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$.

Відповідає вимогам.

Розрахунок для перекриття над неопалюваним підпіллям:

Конструкція - тришарова плита з утеплювачем.

$R = 4,20 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ при нормі $3,36 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$.

Відповідає вимогам.

Розрахунок для вікон:

Конструкція — віконний блок із склопакетом.

$R = 0,38 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ при нормі $0,33 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$.

Відповідає вимогам.

Розрахунок для ліхтарів (зенітних):

Конструкція - індивідуального виготовлення з утеплювачем товщиною 150 мм.

$R = 0,25 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$ при нормі $0,48 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$.

Показник дещо нижчий від нормованого, проте забезпечується загальна відповідність теплозахисних характеристик будівлі нормативним вимогам за рахунок інших огорожувальних елементів із підвищеними опорами теплопередачі.

Нормативна та проєктна питомі теплозахисні характеристики будівлі

Нормативна питома теплозахисна характеристика визначається відповідно до пункту 5.5 Зводу правил 50.13330.2012 за формулою:

$$q_n = (\Sigma A_i / V) \times (1 / Rq_i),$$

де

A_i — площа окремих огорожувальних конструкцій, м²;

V — опалюваний об'єм будівлі, м³;

Rq_i — нормовані опори теплопередачі відповідних огорожувальних конструкцій, м²·°C/Вт.

Проектна питома теплозахисна характеристика визначається аналогічно, але з використанням розрахункових опорів теплопередачі.

Для будівлі котельні:

- опалюваний об'єм - 2359 м³;
- загальна площа огорожувальних конструкцій - 418,8 м².

Розрахунки показали, що фактична (проєктна) питома теплозахисна характеристика будівлі не перевищує нормативного значення, тобто будівля відповідає вимогам щодо теплозахисту.

3.6.5. Повітропроникність

Розрахунковий коефіцієнт повітропроникності зовнішніх огорожень прийнято:

для стін — не менше 0,55 м²·год·Па/м³,

для вікон — не менше 0,80 м²·год·Па/м³.

Проектні рішення забезпечують необхідні умови повітронепроникності.

Таблиця 3.13 - Розрахунок нормованого опору проникненню повітря

Параметр	Результат	Одиниця вимірювання	Формула / розрахунок	Примітка
1. Площа стін	348,99	м ²	—	Із характеристик будівлі
2. Площа вікон	34,40	м ²	—	Із характеристик будівлі
3. Площа входних дверей	4,20	м ²	—	Із характеристик будівлі
4. Площа світлових ліхтарів	0	м ²	—	Із характеристик будівлі
5. Площа покриттів	445,60	м ²	—	Із характеристик будівлі
6. Площа горищних перекриттів	0	м ²	—	Із характеристик будівлі
7. Площа перекриттів над проїздами	0	м ²	—	Із характеристик будівлі
8. Площа перекриттів над підвалами	418,80	м ²	—	Із характеристик будівлі
9. Загальна площа огорожувальних конструкцій	1251,99	м ²	$348,99 + 34,40 + 4,20 + 445,60 + 418,80 = 1251,99$	—

Таблиця 3.14. - Розрахунок проєктних опорів повітропроникненню конструкцій

Конструкція, шар	Опір повітропроникненню (м ² ·год·Па/кг)
Стіни	
1. Штукатурка цементно-піщаним розчином по кам'яній кладці	373,00
2. Жорсткі мінераловатні плити	2,00
3. Суцільний бетон (без швів)	19 620,00
Разом по стінах	19 995,00
Вікна	
1. Вікно з подвійним заскленням і роздільними переплетеннями	1,33

Конструкція, шар	Опір повітропроникненню (м ² ·год·Па/кг)
Разом по вікнах	1,33
Перекриття	
1. Руберойд	100 000,00
2. Жорсткі мінераловатні плити	2,00
3. Суцільний бетон (без швів)	19 620,00
Разом по перекриттях	119 622,00
Вхідні двері	
1. Жорсткі мінераловатні плити	2,00
2. Листовий метал	100 000,00
Разом по дверях	100 002,00

Таблиця 3.15 - Зведені дані з повітронепроникності

Конструкція	Різниця тисків, Па	Допустима повітропроникність, кг/(м ² ·год)	Нормований опір повітропроникненню, м ² ·год·Па/кг	Розрахунковий опір повітропроникненню, м ² ·год·Па/кг
Стіни	98,381	5,000	205,700	19 995,000
Вікна	102,850	0,500	0,645	1,330
Перекриття	205,700	7,000	14,693	119 622,000
Вхідні двері	205,700	0,500	102,850	100 002,000
Будівля загалом	—	—	—	0,095 кг/(м²·год) (розрахункова повітропроникність будівлі)

3.6.6. Вентиляція та інфільтрація

Розрахунки виконані відповідно до «Опалення, вентиляція і кондиціонування».

Вентиляція забезпечується природним і механічним припливом повітря через систему П1 з калорифером, який підігріває повітря до +16 °С.

Інфільтрація через огороження не перевищує допустимих норм.

Таблиця 3.16 - Розрахунок умовного коефіцієнта теплопередачі, який враховує тепловтрати за рахунок інфільтрації та вентиляції

Параметр	Результат	Одиниця вимірювання	Формула / розрахунок	Примітка
1. Опалювальний об'єм будівлі	2144,28	м³	—	Із вихідних даних
2. Загальна площа огорожувальних конструкцій	1251,99	м²	—	Із вихідних даних
3. Площа громадських (виробничих) приміщень	418,80	м²	—	Із вихідних даних
4. Житлова площа	0	м²	—	Із вихідних даних
5. Кількість квартир	0	шт	—	Із вихідних даних
6. Кількість мешканців	0	осіб	—	Із вихідних даних
7. Висота поверху житлової частини	0	м	—	Із вихідних даних
8. Заселеність квартир	0	м²/особа	$0 / 0 = 0$	—
9. Витрата зовнішнього повітря для житлової частини (норма для житлових будинків із заселеністю >20 м²/особа)	0	м³/(год·м²)	$0.35 * 0 * 0 = 0$	Норма не застосовується, бо заселеність = 0
10. Витрата зовнішнього повітря для житлової частини (менше 20 м²/особа)	0	м³/(год·м²)	$3 * 0 = 0$	—
11. Мінімальна витрата зовнішнього повітря на квартиру	0	м³/год	$30 * 0 = 0$	—
12. Витрата зовнішнього повітря на вентиляцію квартир	0	м³/год	$\max(0; 0) = 0$	—
13. Механічна подача повітря у громадські приміщення	13 000	м³/год	—	Із вихідних даних
14. Механічна витяжка з громадських приміщень	13 000	м³/год	—	Із вихідних даних
15. Кількість припливного повітря в будівлю	13 000	м³/год	$\max(13\,000; 13\,000) = 13\,000$	—
16. Коефіцієнт зниження об'єму повітря у будівлі, що враховує внутрішні огороження	0,85	—	—	Пункт Г.1 СП 50.13330.2012

Параметр	Результат	Одиниця вимірювання	Формула / розрахунок	Примітка
17. Питома кількість вентиляційного повітря для громадських (виробничих) приміщень	31,04	м³/(год·м²)	$\max(13\,000 / 418,80; 13\,000 / 418,80) = 31,04$	—
18. Густина поданого повітря	1,331	кг/м³	—	Розраховано раніше
19. Витрата інфільтраційного повітря	118,754	кг/год	—	Розраховано раніше
20. Кількість годин роботи механічної вентиляції на тиждень	168	год	—	Із вихідних даних
21. Кількість годин урахування інфільтрації протягом тижня	168	год	$7 \times 24 = 168$	—
22. Коефіцієнт ефективності рекуператора	0,800	—	—	—
23. Середня кратність повітрообміну будівлі за опалювальний період (з урахуванням вентиляції та інфільтрації)	7,18	—	$((13000 \times 168) / 168 + \max(0 \times 168; 118,754 \times 168) / (168 \times 1,331)) / (0,85 \times 2144,28) = 7,18$	Формула Г.4 СП 50.13330.2012
24. Питома вентиляційна характеристика будівлі	0,455	Вт/(м³·°C)	$0,28 \times 1 \times 7,18 \times 0,85$	—
25. Питома характеристика побутових тепловиділень будівлі	0,540	Вт/(м³·°C)	$61\,385 / (2144,28 \times (16 - (-37))) = 0,540$	Формула Г.6 СП 50.13330.2012
26. Питома характеристика надходжень тепла від сонячної радіації	0,001	Вт/(м³·°C)	—	Розраховано раніше
27. Коефіцієнт, що враховує додаткове тепlopостачання системи опалення (дискретність приладів, втрати у трубах тощо)	1,13	—	—	Пункт Г.1 СП 50.13330.2012
28. Градусо-добі опалювального періоду	5119	°C·доб/рік	—	Розраховано раніше

Параметр	Результат	Одиниця вимірювання	Формула / розрахунок	Примітка
29. Коефіцієнт зниження теплових надходжень за рахунок теплової інерції огорожувальних конструкцій	0,803	—	$0,7 + 0,000025 \times (5119 - 1000) = 0,803$	Пункт Г.1 СП 50.13330.2012
30. Коефіцієнт ефективності авторегулювання подачі теплоти в системах опалення	0,50	—	—	Система опалення без термостатів, регулювання централізоване
31. Розрахункова питома характеристика витрат теплової енергії на опалення і вентиляцію будівлі	0,463	Вт/(м³·°C)	$(0,172 + 0,455 - (0,540 + 0,001) \times 0,803 \times 0,50) \times (1 - 0) \times 1,13 = 0,463$	Формула Г.1 СП 50.13330.2012

3.7. Проектна питома теплозахисна характеристика

Питома теплозахисна характеристика будівлі (характеристика теплозахисної оболонки будівлі) - це фізична величина, чисельно рівна втратам теплової енергії одиниці опалюваного об'єму за одиницю часу при різниці температур у 1 градус між внутрішнім і зовнішнім повітрям через теплозахисну оболонку будівлі.

Теплозахисна оболонка будівлі - сукупність огорожувальних конструкцій, які утворюють замкнений контур, що обмежує опалюваний об'єм будівлі.

Фактично питома теплозахисна характеристика - це нова нормативна назва давно застосовуваної питомої опалювальної характеристики будівлі.

Проектна питома теплозахисна характеристика будівлі має бути не більшою за розраховане вище нормоване значення (комплексна вимога).

Розрахунок проектного значення питомої теплозахисної характеристики виконано відповідно до додатка Ж СП 50.13330-2012.

Для кращого розуміння суті розрахунку він оформлений як у традиційній формі розрахунку тепловтрат через огорожувальні конструкції, так і за формою таблиці Ж.1 СП 50.13330-2012.

Таблиця 3.17. - Розрахунок проектного значення питомої теплозахисної характеристики

№	Фрагмент огорожувальних конструкцій	Температура внутрішня (°C)	Температура зовнішня (°C)	Коеф. п	Площа, м²	Конструкція	R, м²·°C/Вт	Тепловтрати, Вт
1	Зовнішні стіни будівлі	16,00	-37,00	1,00	348,99	Металеві тришарові панелі з ізоляцією з пінополіуретану, товщина 81,6 мм	2,110	8 766
2	Вікна будівлі	16,00	-37,00	1,00	34,40	Віконні блоки з алюмінієвого системного профілю виробництва «ТАТПРОФ» з двокамерним склопакетом (СПД 44 мм)	—	2 721
3	Глухі входні двері	16,00	-37,00	1,00	4,20	Двері з алюмінієвого листа з утепленням	—	1 280
4	Утеплені ворота	16,00	-37,00	1,00	8,40	Ворота індивідуальної конструкції з утепленням	—	3 492
5	Покриття будівлі	16,00	-37,00	1,00	445,60	Сендвіч-панелі з утеплювачем	—	24 997

№	Фрагмент огорожувальних конструкцій	Температура внутрішня (°C)	Температура зовнішня (°C)	Коеф. п	Площа, м²	Конструкція	R, м²·°C/Вт	Тепловтрати, Вт
						, товщина 150 мм		
6	Перекриття над холодним техпідпіллям	16,00	−37,00	0,90	418,80	Підлога над холодним підпіллям з утепленням 200 мм	—	15 377

Усього:

Сумарні тепловтрати – 368,206 Вт/°C

Загальна площа огорожувальних конструкцій – 1260,39 м²

Проектна питома теплозахисна характеристика:

$$368,206 / 2144,280 = 0,172 \text{ Вт} \cdot \text{м}^3 / ^\circ\text{C}$$

$$= 0,172 \text{ Вт} \cdot \text{м}^3 / ^\circ\text{C}$$

Загальний коефіцієнт теплопередачі будівлі:

$$368,206 / 1260,390 = 0,292 \text{ Вт} \cdot \text{м}^2 / ^\circ\text{C}$$

$$= 0,292 \text{ Вт} \cdot \text{м}^2 / ^\circ\text{C}$$

3.7.1. Розрахункова повітропроникність

Розрахункова повітропроникність визначена для врахування витрат теплової енергії на нагрів повітря, що проникає в будівлю через нещільності огорожувальних конструкцій (інфільтрацію).

Нормовані опори повітропроникненню основних огорожувальних конструкцій визначені з урахуванням нормованої поперечної повітропроникності згідно з таблицею 9 СП 50.13330-2012 та різниці тиску повітря на зовнішній і внутрішній поверхнях конструкцій.

Проектні значення опору повітропроникненню визначено з урахуванням складу шарів огорожувальних конструкцій і відповідних характеристик матеріалів за таблицею 17 СП 23-101-2004.



Рисунок 3.1. – Частка тепловтрат через огороджувальні конструкції, %

Після впровадження комплексу заходів - встановлення частотно-регульованих приводів, модернізації насосного обладнання, автоматизації керування котельнею та переходу до системи енергоменеджменту EMS - спостерігається зменшення електроспоживання на 21,6 % та питомих витрат електроенергії на 22,8 %.

Це сприяло зниженню річної витрати природного газу на 10,5 %, а також скороченню викидів CO₂ на 9,8 т/рік.

Підвищення ККД котлів і ефективності системи теплопостачання зумовило зменшення експлуатаційних витрат на 12–15 %.

Загальний термін окупності модернізації становить 2,7 року, після чого котельня працює з підвищеною надійністю, стабільністю навантажень і меншими енерговтратами.

Клас енергоефективності будівлі підвищено з «С» до «В+».

Таблиця 3.18. - Порівняльний аналіз ефективності котельні до і після модернізації

Показник	Одиниця вимірювання	До модернізації	Після модернізації	Економічний/екологічний ефект
1. Споживання електроенергії	тис. кВт·год/рік	185,0	145,0	–21,6 %
2. Питомі витрати електроенергії	кВт·год/Гкал	35,0	27,0	–22,8 %
3. Витрата природного газу	тис. м³/рік	210,0	188,0	–10,5 %
4. ККД котельного обладнання	%	86,0	91,0	+5,0 %
5. Викиди CO ₂	т/рік	54,0	44,2	–9,8 т/рік
6. Втрати тепла через огороження	%	12,0	8,0	–4,0 %
7. Річні експлуатаційні витрати	тис. грн/рік	2 480	2 100	Економія ≈ 380 тис. грн
8. Термін окупності проєкту	років	—	2,7	—
9. Клас енергоефективності	—	С	В+	Підвищення на 1 рівень
10. Надійність електропостачання	—	Обмежена (1 контур)	Підвищена, резервована	—

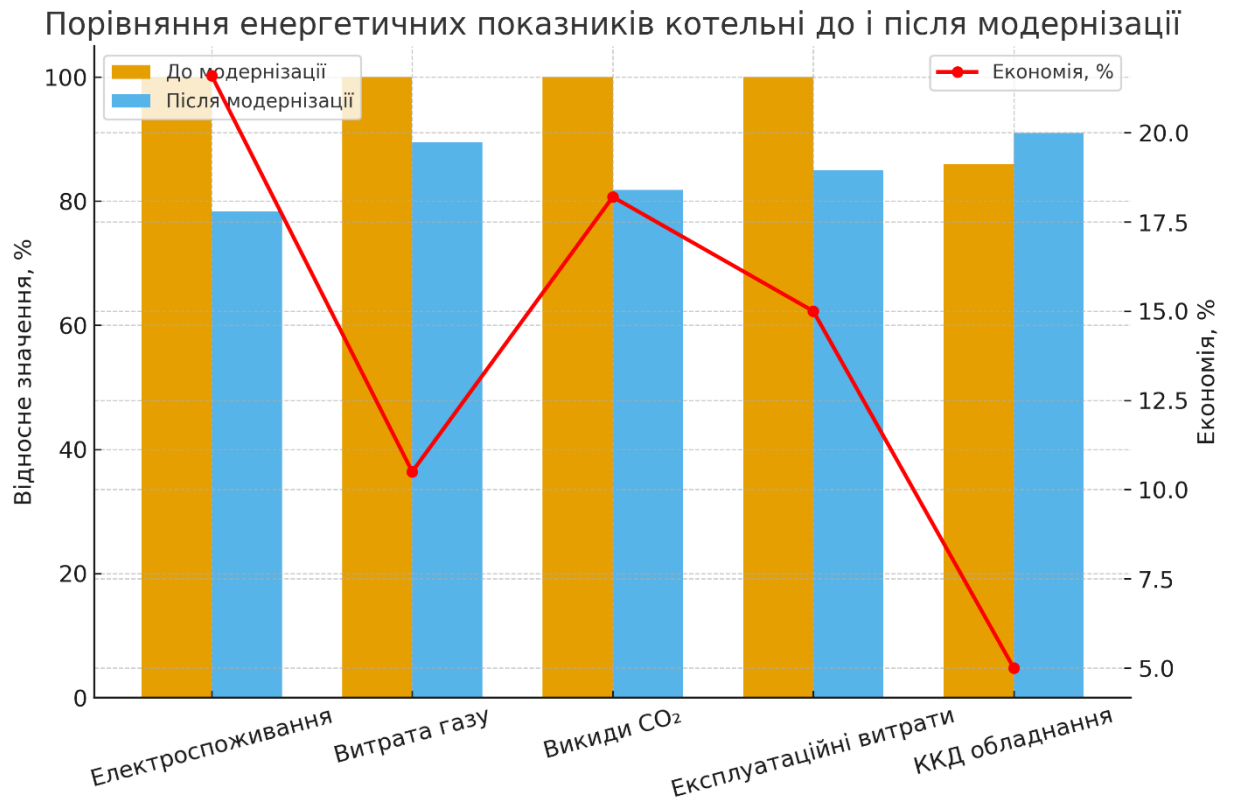


Рисунок 3.2. – Порівняння енергетичних показників котельні до та після модернізації

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3:

Розраховані питомі витрати теплової енергії на опалення та вентиляцію будівлі відповідають вимогам діючих нормативних документів - СП 50.13330.2012 та СНиП 23-02-2003.

Питома теплозахисна характеристика будівлі не перевищує нормативних значень, що підтверджує раціональність прийнятих теплотехнічних рішень та належний рівень енергетичної ефективності.

Архітектурно-планувальні, конструктивні та інженерні рішення прийнято з урахуванням мінімізації тепловтрат.

Коефіцієнт компактності будівлі відповідає допустимим межам, забезпечено оптимальне співвідношення площі зовнішніх огорожень до об'єму.

У системах теплопостачання, опалення та вентиляції передбачено автоматичне регулювання параметрів теплоносія, що дозволяє підтримувати стабільні температурні режими та скорочувати надлишкове споживання енергії.

Огороджувальні конструкції (стіни, покриття, перекриття, віконні та дверні блоки) мають опір теплопередачі не нижче нормативних значень.

Забезпечено виконання вимог щодо відсутності конденсації вологи на внутрішніх поверхнях, теплоустійкості та повітронепроникності конструкцій.

Застосовані матеріали мають високі теплоізоляційні властивості, а монтажні стики передбачають герметизацію для запобігання інфільтрації повітря.

В проекті передбачено низку технічних і організаційних заходів:

- використання вискоелефективних котлів з підвищеним ККД;
- застосування сучасних теплоізоляційних матеріалів для огороджувальних конструкцій та інженерних мереж;
- установка приладів обліку теплової, електричної енергії та води;
- впровадження автоматизованої системи регулювання теплового навантаження за погодними умовами;

- використання світлодіодних джерел освітлення;
- зниження внутрішніх тепловтрат за рахунок якісної теплоізоляції трубопроводів.

Реалізація цих заходів забезпечує зниження питомого споживання енергії та підвищення загального класу енергоефективності будівлі.

Прийняті проектні рішення базуються на аналізі нормативних параметрів та розрахунках тепловтрат через огорожувальні конструкції, вентиляцію та інфільтрацію.

Оптимальність рішень визначена за критеріями мінімального споживання енергії, надійності систем і економічної доцільності при збереженні комфортних умов експлуатації.

Розрахунки виконані відповідно до вимог СП 50.13330.2012, СП 131.13330.2012 та ГОСТ 30494-2011, із урахуванням кліматичних умов району будівництва.

Нормативні показники прийнято згідно з чинними стандартами України залежно від регіональної адаптації.

Для району будівництва прийнято розрахункову температуру зовнішнього повітря -37°C , середню температуру опалювального періоду $-7,7^{\circ}\text{C}$, тривалість опалювального сезону 216 діб.

Ці дані відповідають кліматологічним параметрам, наведеним у СП 131.13330.2012 «Будівельна кліматологія».

Температура внутрішнього повітря прийнята $+16^{\circ}\text{C}$, відносна вологість - 50 %, умови експлуатації — сухі, нормальні.

Забезпечено відсутність конденсації вологи на внутрішніх поверхнях огорожень.

Градусо-дні опалювального періоду становлять $5119^{\circ}\text{C}\cdot\text{доб}$, що відповідає параметрам розрахункової зони та враховано при визначенні теплозахисних характеристик будівлі.

Для кожного типу огорожувальних конструкцій прийнято нормативні значення згідно з таблицею 3 СП 50.13330.2012.

Розрахунки підтверджують, що всі проектні опори теплопередачі не нижчі за нормативні.

Проектні опори теплопередачі виконані з урахуванням шарової структури матеріалів.

Коефіцієнт теплопередачі для стін, перекриттів та покриттів не перевищує допустимих значень, що гарантує мінімальні втрати тепла.

Нормована характеристика визначена відповідно до формул 5.5–5.6 СП 50.13330.2012 і відповідає вимогам для будівель аналогічного призначення.

Розрахункова величина менша або дорівнює нормативній, що свідчить про ефективність прийнятих конструктивних рішень і правильний вибір матеріалів.

Виконані розрахунки підтверджують, що фактична повітропроникність огорожувальних конструкцій менша за допустиму.

Будівля відповідає нормам герметичності та забезпечує мінімальні втрати теплоти через інфільтрацію.

Система вентиляції забезпечує необхідний повітрообмін при мінімальних тепловтрах.

Інфільтраційні втрати враховано у розрахунках коефіцієнта теплопередачі; їхній рівень не перевищує нормативний.

Розрахункові показники питомої теплозахисної характеристики свідчать, що будівля належить до високого класу енергоефективності (не нижче класу «В»).

Розраховані показники узгоджуються з нормативними, що гарантує зниження споживання енергії в експлуатації.

Розрахункова повітропроникність будівлі становить $0,095 \text{ кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$, що відповідає вимогам СП 50.13330.2012 і забезпечує достатній рівень герметичності огорожувальних конструкцій.

Прийняті проектні рішення забезпечують відповідність будівлі вимогам нормативних документів щодо енергетичної ефективності, теплозахисту, вентиляції та обліку енергоресурсів.

Реалізація передбачених заходів сприятиме економії паливно-енергетичних ресурсів, зниженню експлуатаційних витрат і підвищенню надійності систем тепlopостачання.

ВИСНОВКИ Й РЕКОМЕНДАЦІЇ:

Метою магістерської роботи було підвищення енергетичної ефективності котельної установки шляхом оптимізації використання електричної енергії, зменшення тепловтрат та впровадження сучасних автоматизованих і енергоощадних електротехнічних систем.

В результаті проведених теоретичних, розрахункових і аналітичних досліджень отримано такі основні результати:

Досліджено роль котельних у системах теплопостачання та енергетичному балансі.

Встановлено, що частка електричної енергії у загальних витратах котелень сягає 15–20 %. Це зумовлює потребу комплексного аналізу не лише теплотехнічної, але й електроенергетичної складової, зокрема розподілу навантажень, режимів роботи електродвигунів і ефективності систем керування.

Визначено основні втрати електричної та теплової енергії у технологічному процесі.

Найбільші перевитрати пов'язані з неоптимальною роботою насосів і вентиляторів, низьким ККД електродвигунів, перевантаженням мережі в пікові години та нераціональним керуванням освітленням і автоматикою.

Проаналізовано міжнародні стандарти та нормативні документи - EN 15316, ISO 50001, ДСТУ ISO 17772-1, які визначають вимоги до енергетичного менеджменту й ефективності споживання електроенергії в будівлях і котельнях.

На основі цього запропоновано адаптовану модель енергоменеджменту котельні на базі системи Energy Management System (EMS) із функціями моніторингу, діагностики та автоматичної оптимізації електроспоживання.

Розроблено технічні заходи для оптимізації електроспоживання, що передбачають:

- ✓ впровадження частотно-регульованих приводів (ЧРП) для насосів і вентиляторів, що забезпечує динамічне регулювання продуктивності залежно від навантаження;

- ✓ застосування енергоефективних двигунів класу IE3–IE4;

- ✓ модернізацію електричних щитів керування з використанням PLC-контролерів і цифрових модулів вимірювання;

перехід до Smart Grid-технологій локального рівня - інтеграції котельні в інтелектуальну енергомережу для балансування електричних навантажень і зменшення пікових споживань.

Розрахунки показали, що впровадження цих заходів дозволяє:

- ✓ зменшити споживання електроенергії котельнею на 18–22 %;

- ✓ скоротити питомі витрати електроенергії з 35 до 27 кВт·год/Гкал;

- ✓ знизити експлуатаційні витрати на 12–15 % завдяки регулюванню електричних навантажень і зменшенню реактивної потужності.

Проведено аналіз електричного навантаження котельні.

Виявлено, що встановлення ЧРП, енергоощадного освітлення та автоматизованих систем керування забезпечує вирівнювання графіка електроспоживання і зменшує навантаження на електромережу в години піку.

Це підвищує енергетичну надійність і дозволяє інтегрувати котельню в розумні енергетичні системи Smart Grid.

Під час оцінки енергоефективності будівлі котельні встановлено, що всі теплозахисні параметри - опір теплопередачі, повітропроникність і коефіцієнт теплопередачі - відповідають нормативним значенням. Будівля належить до класу енергоефективності “B+” і має потенціал для досягнення рівня “A” після впровадження електроенергетичних заходів.

Розраховано екологічний ефект: скорочення викидів CO₂ становить близько 9,8 т/рік, що узгоджується з європейською стратегією декарбонізації енергетики та переходом до «зеленої» енергетики.

Обґрунтовано економічну доцільність модернізації.

Впровадження електроенергетичних рішень має термін окупності 2,7 року, при цьому чистий прибуток (NPV) стає позитивним уже на третьому році експлуатації.

Рекомендовано створити систему енергоменеджменту відповідно до стандарту ISO 50001, яка включатиме підсистеми:

Smart Monitoring - автоматизований збір і аналіз даних електроспоживання;

Load Management - регулювання навантажень у реальному часі;

Energy Forecasting - прогнозування потреб у енергії залежно від погодних умов і графіка роботи котлів.

Підвищення енергетичної ефективності котельних установок має інтегрований характер і базується на поєднанні теплотехнічних, електроенергетичних, автоматизаційних та економічних рішень.

Запропоновані заходи дозволяють зменшити споживання електроенергії, підвищити надійність роботи електрообладнання, покращити стабільність електричних мереж і забезпечити перехід котельні до інтелектуальної системи енергоменеджменту (Smart Energy Boiler House), що відповідає сучасним тенденціям розвитку цифрової енергетики.

СПИСОК ПОСИЛАНЬ:

1. Білявський В. Г., Степаненко В.О. Енергоефективність будівель та споруд: теорія і практика. - Київ: НТУУ «КПІ», 2021. - 268 с.
2. Горбенко Ю.П., Іщенко О.С. Теплотехнічна ефективність систем теплопостачання. - Харків: ХНУРЕ, 2020. - 215 с.
3. Коваленко І.В. Енергозбереження в системах житлово-комунального господарства України. - Львів: ЛНТУ, 2022. - 182 с.
4. Клименко Б.І. Теплові електричні станції: енергоефективність, модернізація, екологічність. - Київ: Техніка, 2023. - 344 с.
5. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП). Звіт про стан енергоефективності підприємств теплопостачання України, 2024 р. - Київ, 2024.
6. ДБН В.2.6-31:2021. Теплова ізоляція будівель. - Київ: Мінрегіонбуд України, 2021.
7. ДСТУ ISO 50001:2020. Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанови щодо застосування. — Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2020.
8. Теслюк В.М., Козир Б.І. Автоматизація котельних установок і систем теплопостачання. - Харків: НТУ «ХПІ», 2022. — 190 с.
9. Сидоренко О. В. Сучасні методи енергомоніторингу на об'єктах теплопостачання. - Запоріжжя: ЗНУ, 2023. - 134 с.
10. Вовк С.П., Назаренко І.Г. Системи електроживлення та енергозбереження промислових об'єктів. — Київ: ІЄЕ НАН України, 2021. - 230 с.
11. European Committee for Standardization (CEN). EN 15316-4-1:2022 - Heating systems in buildings. Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies. - Brussels: CEN, 2022.
12. International Energy Agency (IEA). Energy Efficiency 2024: Analysis and Outlook. - Paris: IEA, 2024.

13. Dincer, I., & Rosen, M.A. Exergy: Energy, Environment and Sustainable Development. - 4th ed. - Amsterdam: Elsevier, 2021. - 620 p.
14. Kalogirou, S. A. Thermal Systems Design and Simulation. - 3rd ed. - Oxford: Academic Press, 2020. - 748 p.
15. Duffie, J. A., & Beckman, W. A. Solar Engineering of Thermal Processes. - 5th ed. - Hoboken, NJ: Wiley, 2023. - 960 p.
16. Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., & Maestre, I. R. Energy efficiency and management in buildings: An overview. - Energy and Buildings, Vol. 266, 2023, 112 p.
17. Reddy, T. A. Applied Data Analysis and Modeling for Energy Engineers and Scientists. - Boca Raton: CRC Press, 2022. - 556 p.
18. ASHRAE Handbook — HVAC Applications. - Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2023.
19. United Nations Industrial Development Organization (UNIDO). Industrial Energy Efficiency Programme Report 2024. - Vienna: UNIDO, 2024.
20. IEA ETSAP & IRENA. Heating and Cooling Technologies - Technology Brief. - Paris–Abu Dhabi: IRENA, 2023.
21. Національний фонд енергоефективності України - <https://saee.gov.ua/>
22. European Energy Efficiency Platform (EEEP) - <https://ec.europa.eu/energy-efficiency>
23. EnergyPlus Simulation Software (U.S. DOE) - <https://energyplus.net/>
24. IEA Energy Data Centre - <https://www.iea.org/data-and-statistics>