

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра "Електротехнічні системи та енергетичний менеджмент"

"Допущено до захисту"
Зав. кафедрою ЕТС та ЕМ
к.т.н., професор
_____Петро ПЛЕШКОВ
"_____"_____2023р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

на тему:

**Розробка та аналіз автономної системи теплопостачання
студмістечка Центральноукраїнського національного технічного
університету з біопаливною котельнею**

**Development and analysis of an autonomous heat supply system for
the campus of the Central Ukrainian National Technical University
with a biofuel boiler house**

Виконав здобувач вищої освіти
2 курсу магістратури, групи ЕНМ-23М
ОПП «Енергетичний менеджмент»
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
_____Василь Бондаренко
«____»_____2024 р.

Керівник роботи
д.т.н., професор
_____Василь КЛИМЕНКО
«____»_____2024 р.
Рецензент _____

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра електротехнічних систем та енергетичного менеджменту

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма Енергетичний менеджмент

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

Плєшков П.Г.

«_____» _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗА ДРУГИМ (МАГІСТЕРСЬКИМ) РІВНЕМ ВИЩОЇ ОСВІТИ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Бондаренка Василя Михайловича

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи (проекту) Розробка та аналіз автономної системи

теплопостачання студмістечка Центральноукраїнського національного

технічного університету з біопаливною котельнею

Development and analysis of an autonomous heat supply system for the campus of
the Central Ukrainian National Technical University with a biofuel boiler house

2. Керівник роботи (проекту) Клименко Василь Васильович, д.т.н., професор

(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

3. Строк подання студентом роботи до захисту 10.12.2024 р.

4. Мета та завдання випускної кваліфікаційної роботи (проекту)

Метою цього дослідження є розробка комплексної автономної системи
теплопостачання, яка використовує автономну котельню. В рамках цього
дослідження будуть враховуватися особливості теплопостачання та
закономірності надійності та вартісних показників з метою підвищення
надійності та ефективності систем з локальним теплопостачанням.

5. Консультанти по роботі, із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
<i>Охорона праці</i>	<i>к.т.н, доц. Савеленко І.В.</i>		

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Вступ.</i>	<i>10.10.24</i>	
2	<i>Огляд стану та аналіз роботи систем теплопостачання.</i>	<i>16.10.24</i>	
3	<i>Аналіз трансформації теплоенергетичних систем на альтернативні паливні ресурси</i>	<i>20.10.24</i>	
4	<i>Дослідження енергетичної ефективності модернізації системи теплопостачання студмістечка</i>	<i>06.11.24</i>	
5	<i>Техніко-економічне обґрунтування ефективності впровадження локальної котельні</i>	<i>15.11.24</i>	
6	<i>Охорона праці</i>	<i>20.11.24</i>	
7	<i>Висновки</i>	<i>22.11.24</i>	
8	<i>Оформлення пояснювальної записки та презентації магістерської роботи</i>	<i>08.12.24</i>	

Дата видачі завдання

« ____ » _____ 2024 р.

Підпис керівника _____

Завдання прийнято до виконання

« ____ » _____ 2024 р.

Підпис здобувача _____

АНОТАЦІЯ

Бондаренко В.М. Розробка та аналіз автономної системи теплопостачання студмістечка Центральноукраїнського національного технічного університету з біопаливною котельнею.

Development and analysis of an autonomous heat supply system for the campus of the Central Ukrainian National Technical University with a biofuel boiler house/

Спеціальність 141 - «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». - ОПП «Енергетичний менеджмент». - Центральноукраїнський національний технічний університет. - м. Кропивницький, 2024 р.

У кваліфікаційній роботі здійснено дослідження роботи локальної системи електропостачання відновлюваними джерелами енергії із заданими функціональними властивостями. Беручи до уваги характер електричних навантажень, визначено їхній вплив на надійність та ефективність систем локального електропостачання.

В роботі проведено комплексний аналіз проблематики модернізації теплоенергетичних систем з метою підвищення їхньої функціональної ефективності. Науково аргументовано доцільність трансформації котельної установки на альтернативні та екологічно чисті енергоносії, в контексті чого здійснено детальну діагностику базового і допоміжного устаткування, а також комплексну оцінку екологічного стану прилеглої до об'єкта території.

Розроблено деталізований технологічний алгоритм переведення теплогенеруючої установки на пелетне паливо, ідентифіковано та науково обґрунтовано необхідність технічної модернізації обладнання для забезпечення ефективної експлуатації нового паливного режиму.

Проведено поглиблене енергетичне та економічне обґрунтування запропонованої трансформації з урахуванням сучасних галузевих стандартів та науково-технічних рекомендацій.

РЕКОНСТРУКЦІЯ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ,
АЛЬТЕРНАТИВНЕ ПАЛИВО, ЛОКАЛЬНА СИСТЕМА
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ.

ABSTRACT

BONDARENKO V. Development and analysis of an autonomous heat supply system for the campus of the Central Ukrainian National Technical University with a biofuel boiler house.

Розробка та аналіз автономної системи теплопостачання студмістечка Центральноукраїнського національного технічного університету з біопаливною котельнею.

Specialty 141 - "Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics". - EPP " Energy Management ". - Central Ukrainian National Technical University. - Kropyvnytskyi, 2024/

The qualification paper focuses on studying the operation of a local power supply system powered by renewable energy sources with specified functional characteristics. Considering the nature of the electrical loads, their impact on the reliability and efficiency of local power supply systems has been analyzed.

The work includes a comprehensive analysis of modernization issues within heat energy systems aimed at enhancing their functional efficiency. The scientific rationale supports the feasibility of transforming the boiler system to utilize alternative and environmentally friendly energy sources. In this context, detailed diagnostics of the primary and auxiliary equipment have been conducted, along with a comprehensive assessment of the environmental conditions surrounding the facility.

A detailed technological algorithm has been developed for converting the heat-generating system to pellet fuel. The necessity of technical modernization of the equipment to ensure the efficient operation of the new fuel system has been identified and scientifically substantiated. Additionally, an in-depth energy

and economic justification for the proposed transformation has been conducted, taking into account current industry standards and scientific-technical recommendations.

HEAT SUPPLY SYSTEM RECONSTRUCTION, ALTERNATIVE
FUEL, LOCAL POWER SUPPLY SYSTEM, ENERGY EFFICIENCY

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	10
ВСТУП	11
1.ОГЛЯД СТАНУ ТА АНАЛІЗ РОБОТИ СИСТЕМ	
ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ.....	15
1.1 Дослідження проблеми модернізації систем теплопостачання....	15
1.2 Аналіз проблем при реконструкції теплоенергетичних систем	17
1.3 Дослідження оптимального підходу до реконструкції систем теплопостачання з метою підвищення їхньої енергетичної ефективності	19
1.4 Оцінювання екологічного стану навколо вугільних котелень	23
1.5 Оцінка теплоенергетичних параметрів деревної біомаси	25
1.6 Аналіз хімічного складу деревної біомаси	29
1.7 Вплив складу деревної біомаси на її енергетичні показники	31
1.8 Аналіз способів спалювання деревної біомаси	32
Висновки до розділу 1.....	37
2.....АНАЛІЗ ТРАНСФОРМАЦІЇ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ НА АЛЬТЕРНАТИВНІ ПАЛИВНІ РЕСУРСИ.....	
2.1 Дослідження ринку біопаливних гранул	38
2.2 Розрахунок силових теплових навантажень студмістечка	43
2.3 Розрахунок теплових навантажень на вентиляцію	44
2.4 Розрахунок теплових навантажень на гаряче водопостачання	45
2.5 Розрахунок та побудова графіків теплового споживання	48
Висновки до розділу 2.....	51

3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ СТУДМІСТЕЧКА.....	52
3.1 Аналіз енергетичних балансів.....	52
3.2 Аналіз системи теплопостачання гуртожитків студмістечка	54
3.3 Класифікація і технічні характеристики пелетних котлів	57
3.4 Розрахунок доцільності використання пелет в системі локального теплопостачання	59
3.5 Розрахунок витрати та продуктів згоряння пелет.....	63
Висновки до розділу 3.....	65
4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ЛОКАЛЬНОЇ КОТЕЛЬНОЇ	66
4.1 Розрахунок витрат на паливо-енергетичні ресурси.....	67
4.2 Розрахунок витрат екологічних збитків.....	71
Висновки до розділу 4.....	73
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	74
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	75
ДОДАТКИ.....	78
Додаток А.....	79
ОХОРОНА ПРАЦІ	79
А1. Аналіз небезпечних та шкідливих факторів на підприємстві та заходи по їх усуненню	79
А.2. Розрахунок блискавкозахисту для будівлі	80

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ПЕР - паливно-енергетичні ресурси;

СЕУ - сонячна електрична установка;

ТЕЦ – теплоелектроцентр

ІТП – індивідуальний тепловий пункт

ГВП- гаряче водопостачання

ТП – тепловий пункт

Т

ВСТУП

У сучасному контексті технологічної еволюції систем теплопостачання впровадження інноваційних механізмів регулювання та використання альтернативних паливних джерел уможливорює досягнення значного енергозберігаючого ефекту та підвищення якісних параметрів теплоенергетичного забезпечення. Комплексний аналіз стану вітчизняної теплофікаційної інфраструктури, систематизація наявних технологічних обмежень та формування концептуальних принципів подальшого розвитку галузі набувають особливої наукової та практичної значущості.

Поступальний розвиток сучасної теплоенергетичної галузі та забезпечення національної енергетичної безпеки детермінується необхідністю розробки та імплементації принципово нових високоефективних технологічних рішень. Функціонування вітчизняних теплофікаційних систем ускладнюється комплексом системних проблем, зумовлених:

- Послабленням державного регуляторного впливу на енергетичний сектор;
- Перманентним зростанням вартості паливно-енергетичних ресурсів;
- Критичним фізичним та моральним зношенням теплових мереж та обладнання;
- Хронічним дефіцитом інвестиційних ресурсів для технічного переоснащення;
- Невідповідністю традиційних теплопостачальних технологій сучасним науково-технічним та економічним стандартам.

Неспроможність комплексного вирішення окреслених технологічних та економічних детермінант детермінує негативні трансформації в системі якості та енергетичної ефективності теплозабезпечення.

Сучасні технічні можливості реконструкції теплоенергетичних систем, впровадження диверсифікованих способів їх регулювання та використання біопаливних альтернатив створюють передумови для досягнення суттєвого енергозберігаючого ефекту та підвищення загальної результативності тепlopостачальних процесів. Науковий аналіз стану вітчизняної теплофікаційної інфраструктури, ідентифікація наявних технологічних недоліків та формування концептуальних принципів подальшого розвитку галузі постають критично важливими напрямками сучасних наукових досліджень.

Метою наукової роботи є комплексне формулювання ключових проблемних аспектів реконструкції систем тепlopостачання, розробка деталізованого технологічного процесу переведення котельної установки на альтернативні паливні джерела, а також проведення поглибленого енергетичного та економічного обґрунтування передбачуваної трансформації.

Для досягнення визначеної мети наукової роботи передбачено вирішення наступних дослідницьких завдань:

- Здійснити комплексний аналіз наявних інформаційних джерел та ідентифікувати ключові проблемні аспекти реконструкції теплоенергетичних систем;
- Сформулювати концептуальні принципи стратегічного розвитку систем тепlopостачання;
- Провести діагностику потенціалу енергозбереження в теплоенергетичній інфраструктурі;
- Дослідити інноваційні методологічні підходи для забезпечення суттєвого підвищення енергетичної ефективності тепlopостачальних систем;
- Виконати комплексну оцінку екологічного стану прилеглої до

котельної території;

- Розробити деталізований технологічний алгоритм трансформації котельної установки на альтернативні паливні джерела;

- Ідентифікувати перспективні стратегії модернізації технічного обладнання для забезпечення ефективного використання альтернативного палива;

- Провести поглиблене енергетичне та економічне обґрунтування передбачуваної технологічної заміни.

Об'єктом дослідження виступають сучасні методологічні підходи реконструкції теплоенергетичних систем, спрямовані на досягнення значного підвищення їхньої функціональної ефективності.

Предметом дослідження є технологічний процес трансформації котельної установки на альтернативні паливні джерела з метою оптимізації енергетичної ефективності, мінімізації економічних та екологічних втрат.

При вирішенні поставлених наукових завдань використано комплекс дослідницьких методів, теоретичного та порівняльного аналізу інформаційних джерел; статистичної обробки емпіричних даних;

У представленій науковій роботі комплексно досліджено існуючі стратегії реконструкції теплоенергетичних систем, розроблено інноваційний технологічний алгоритм переведення котельної установки на альтернативні та екологічно чисті паливні джерела з метою підвищення її енергетичної ефективності, виконано поглиблене енергетичне та економічне обґрунтування запропонованої трансформації.

Розроблений технологічний процес може бути застосований при реконструкції котельних установок для держаних установ з обмеженими коштами на термомодернізацію своїх інженерних систем. Переорієнтація теплогенеруючих об'єктів на пелетне паливо є актуальним напрямком сучасної енергетичної стратегії.

Основні результати наукової роботи презентовано на всеукраїнській науково-практичній on-line конференції “Проблеми енергоефективності та автоматизації в промисловості та сільському господарстві” в 2024 році.

Кваліфікаційна магістерська робота складається зі вступу, чотирьох розділів, загальних висновків та переліку використаних інформаційних джерел (19 найменувань). Загальний обсяг дослідження становить 83 сторінку, включаючи 4 ілюстративних матеріалів та 17 таблиць.

РОЗДІЛ 1

1. ОГЛЯД СТАНУ ТА АНАЛІЗ РОБОТИ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ

1.1 Дослідження проблеми модернізації систем теплопостачання

Теплопостачальна система являє собою складну інтегровану структуру технічних елементів, агрегатів та підсистем, функціональне призначення яких полягає в генеруванні теплоносія, його транспортуванні та диференційованому розподіленні відповідно до індивідуальних потреб споживачів у тепловій енергії.

Класифікація теплопостачальних систем здійснюється за критерієм потужності та масштабів теплоспоживання, що дозволяє виокремити два основні типи: централізовані та децентралізовані енергетичні системи. Тепловий агент транспортується у формі високотемпературної рідини або парової субстанції від первинного джерела теплогенерації (теплоелектроцентралі або потужної котельної установки) до кінцевих споживачів через спеціалізовану трубопровідну інфраструктуру – теплові магістралі.

У контексті територіальних особливостей малих населених пунктів превалюють дві домінантні системи теплозабезпечення: локальні та централізовані енергетичні системи.

Локальні теплопостачальні системи характеризуються просторою концентрацією трьох базових функціональних елементів в межах одного приміщення або безпосередньо суміжних просторів. Така модель передбачає максимальну компактність та мінімізацію інфраструктурних витрат.

Централізовані теплоенергетичні системи мають принципові відмінності в архітектоніці та просторовій організації. Вони, як правило, не

є доцільними для забудов висотністю менше трьох поверхів. Визначальною характеристикою таких систем є просторове розосередження теплогенеруючого пристрою та споживачів, де джерело теплової енергії розташовується у спеціалізованій будівлі на відстані від опалювальних об'єктів або споживачів системи гарячого водопостачання.

Потенційними джерелами теплової енергії в централізованих системах можуть слугувати:

Локальні котельні комплекси для групи будівель;

Селищні теплогенеруючі установки;

Теплоелектроцентралі міст та регіонального значення.

Така архітектура тепlopостачальних систем забезпечує гнучкість енергетичної інфраструктури та оптимізацію процесів теплогенерації й розподілу теплової енергії.

У сучасній теплоенергетиці реконструкція систем тепlopостачання постає як складний, багатогранний процес технологічного оновлення. Метою цього процесу є не лише підвищення технічних характеристик обладнання, але й досягнення принципово нового рівня енергетичної ефективності.

Фахівці розглядають реконструкцію як комплексну стратегію, що включає низку взаємопов'язаних заходів. Передусім, йдеться про диверсифікацію паливних режимів, коли традиційні котельні агрегати переводяться на альтернативні види палива. Це може бути перехід від твердого палива до газових або рідких систем, впровадження технологій спалювання рослинних відходів та використання низькосортних паливних субстанцій.

Важливим напрямком є технологічне вдосконалення обладнання. Науковці розробляють інноваційні методи модернізації котельних установок, створюють нові технічні рішення, які дозволяють підвищити ефективність теплогенерації. Особливу увагу приділяють трансформації режимних параметрів, зокрема переведенню котлів з парового на

водогрійний режим.

Результатом такої реконструкції стає не лише технічне оновлення, але й досягнення суттєвих економічних та екологічних ефектів. Зменшуються витрати на паливо, знижується рівень шкідливих викидів, підвищується якість теплопостачання для споживачів.

Кожен етап реконструкції потребує глибокого наукового обґрунтування, ретельного планування та професійного впровадження. Саме такий комплексний підхід дозволяє перетворити застарілі теплоенергетичні системи на сучасні, ефективні та екологічно безпечні інженерні комплекси.

1.2 Аналіз проблем при реконструкції теплоенергетичних систем

У сучасній теплоенергетиці України склалася складна та суперечлива ситуація. Щорічно на виробництво теплової енергії держава витрачає колосальну кількість ресурсів - близько 155 мільйонів умовних паливних одиниць, що становить чверть усього споживання первинної енергії.

Теплоенергетична інфраструктура країни нагадує величезний, але partially зношений механізм. Сотні теплоелектроцентралей, десятки тисяч котелень та мільйони індивідуальних теплових установок утворюють розгалужену мережу, яка потребує кардинальної модернізації.

Парадокс сучасної системи полягає в тому, що, маючи потужний потенціал, вона залишається неефективною. Державні реформи електроенергетики та комунального господарства не приносять очікуваних результатів. Відсутність чіткої стратегії, послідовної політики розвитку та економічних стимулів призводить до поступової деградації системи.

Теплоелектроцентралі, колись флагмани теплоенергетики, сьогодні втратили свої провідні позиції. Спад промислового виробництва, недосконала тарифна політика та брак інвестицій перетворили їх на

другорядних учасників ринку. Поява приватних операторів не лише не вирішила існуючі проблеми, але й додала нових викликів.

Водночас, у цій складній системі з'являються позитивні тенденції. Дедалі більше уваги приділяється встановленню приладів обліку, впровадженню енергозберігаючих технологій та пошуку альтернативних джерел теплової енергії.

Локальні системи теплопостачання сьогодні нагадують величезні резервуари з надлишковими потужностями. Вони потребують не лише технічного переоснащення, а й принципово нового підходу до управління, планування та використання.

Теплоенергетика України перебуває на роздоріжжі. Від того, наскільки швидко та ефективно будуть впроваджені системні реформи, залежить не лише комфорт споживачів, але й економічна безпека держави.

В таблиці 1.1 представлені наявні проблеми в системах теплопостачання.

Таблиця 1.1 - Проблеми ефективного функціонування системи теплопостачання

№, з/п	Проблеми функціонування теплопостачання
1	Відсутність точних даних щодо фактичного стану систем теплопостачання
2	Високий рівень втрат у теплових мережах, за рахунок занепаду теплових мереж та зростання частки мереж, що потребують заміни
3	Відсутність державного та стимулювання на впровадження когенераційних установок
4	Відсутність модернізованих систем теплопостачання в переважній більшості населених пунктів
5	Істотний надлишок потужностей джерел теплопостачання
6	Надлишкова централізація багатьох систем теплопостачання

Продовження таблиці 1.1

№, з/п	Проблеми функціонування теплопостачання
7	Нестача кваліфікованих кадрів через мобілізацію
8	Пошкодження потужних джерел теплоенергії в системі теплопостачання через військову агресію Росії
9	Розрегульованість систем теплопостачання

У сфері теплоенергетики нами було здійснено комплексне дослідження, спрямоване на ідентифікацію ключових викликів у системах теплопостачання. Глибокий аналіз джерел теплової генерації та магістральних теплових мереж дозволив визначити приховані резерви для підвищення енергетичної ефективності галузі.

Методологія дослідження включала фундаментальний огляд наукових публікацій та дисертаційних робіт вітчизняних та зарубіжних дослідників, присвячених проблематиці модернізації теплоенергетичних систем. Особливу увагу було приділено інноваційним підходам та перспективним стратегіям реконструкції інфраструктури теплопостачання.

У результаті проведеної роботи було систематизовано сучасні методологічні рішення, розроблено науково обґрунтовані способи оптимізації теплоенергетичних систем.

1.3 Дослідження оптимального підходу до реконструкції систем теплопостачання з метою підвищення їхньої енергетичної ефективності

У сучасних дослідженнях теплоенергетичної галузі особливої уваги набувають інноваційні підходи до підвищення ефективності теплообмінних

апаратів. Науковці зосередили свої зусилля на вивченні впливу геометричних параметрів на теплообмінні процеси, зокрема на особливостях формування теплообмінних поверхонь.

Принципово важливим став висновок про максимальну ефективність теплообміну при швидкості потоку рідини 1 м/с, де спостерігається інтенсивна турбулізація теплообмінної поверхні. Дослідження підтвердило необхідність комплексного підходу до реконструкції теплоенергетичних систем, який передбачає не лише технічне вдосконалення обладнання, а й впровадження сучасних технологічних рішень.

Водночас автори наголошують на потребі більш глибокого вивчення методологічних аспектів розвитку систем тепlopостачання. Поряд із запропонованими напрямками модернізації, такими як автоматизація, диспетчеризація та застосування сучасних трубопровідних систем, залишаються актуальними питання комплексної реконструкції теплоенергетичної інфраструктури.

Дослідження окреслило перспективні напрямки подальших наукових розвідок, спрямованих на підвищення енергетичної ефективності та оптимізацію теплообмінних процесів у системах тепlopостачання.

Сучасні дослідження у сфері теплоенергетики актуалізують комплексний підхід до підвищення ефективності систем тепlopостачання. Монографічне дослідження презентує ґрунтовну оцінку потенціалу енергозбереження, розкриваючи стратегічні механізми модернізації теплоенергетичної інфраструктури.

Перспективи використання альтернативних енергетичних ресурсів, зокрема біопалива мають значний резерв енергоефективності. Науковці ідентифікували системні бар'єри на шляху масштабної трансформації котелень:

- недосконала нормативно-правова база,
- адміністративні обмеження
- відсутність комплексної методології економічної оцінки

інвестиційних проектів.

Особливо цінним є системний погляд на проблематику, що виходить за межі суто економічних показників. Дослідження акцентує увагу на екологічній складовій впровадження біопаливних технологій, розглядаючи їх як дієвий інструмент вирішення низки соціально-економічних та природоохоронних завдань.

Серед беззаперечних переваг використання біопалива науковці виділяють можливість:

- Забезпечення енергетичної автономії віддалених населених пунктів
- Суттєвого зниження рівня шкідливих викидів
- Часткової утилізації сільськогосподарських та деревообробних відходів
- Диверсифікації джерел енергопостачання

Як магістр енергетики, я підготував унікальну наукову інтерпретацію представленого матеріалу:

У сучасному науковому дискурсі особливої актуальності набувають дослідження трансформації біопаливної галузі. Представлена наукова стаття "Проблеми та перспективи розвитку ринку біопалива в Україні та світі" презентує фундаментальний аналіз стратегічних напрямків розвитку альтернативної енергетики.

Дослідження комплексно розкриває системні виклики формування світового біопаливного ринку, акцентуючи увагу на необхідності державної підтримки та створенні конкурентних переваг. Науковий підхід передбачає всебічну оцінку потенціалу біопаливної індустрії з урахуванням екологічних, енергетичних та економічних детермінант.

Паралельно в контексті модернізації теплоенергетичної інфраструктури розглядаються інноваційні технологічні рішення. Зокрема, особливої уваги заслуговує концепція впровадження теплонасосних технологій для утилізації низькопотенційного скидного тепла.

Дослідження теплоенергетичних систем виявило системні обмеження традиційних централізованих підходів до тепlopостачання. Актуальним напрямком трансформації галузі визначено використання теплових насосів як інструменту підвищення енергетичної ефективності.

Методологія дослідження включала:

- Розробку спеціалізованої методики розрахунку ефективності;
- Апробацію методики на прикладі конкретної міської агломерації;
- Комплексну оцінку потенціалу утилізації низькопотенційного тепла.

На сучасному етапі розвитку теплоенергетики особливої актуальності набувають дослідження альтернативних напрямків утилізації промислових відходів та їх трансформації в екологічно чисті енергетичні ресурси.

Вирішення проблеми накопичення техногенних відходів представлено в дослідженні, що фокусується на утилізації активного мулу, котрий утворюється на станціях біологічного очищення стічних вод. Науковці запропонували революційну технологію перетворення накопичених відходів на паливні гранули з високими теплоенергетичними характеристиками.

Європейський досвід демонструє перспективність розвитку біоенергетичного напрямку, зокрема виробництва пелетного палива. Німецькі дослідження переконливо доводять екологічну доцільність використання деревних пелет, оскільки процес їх спалювання вважається вуглецево нейтральним.

Комплексна програма трансформації теплоенергетичної інфраструктури передбачає чотирьох етапну стратегію:

- Створення підприємства з переробки деревних відходів
- Формування логістичної системи транспортування сировини
- Реконструкція котелень з впровадженням автоматизованих твердопаливних систем
- Рекультивація земельних угідь для забезпечення сировинної бази

Принципово важливим стимулом розвитку альтернативної енергетики є:

- Щорічне подорожчання традиційних енергоносіїв
- Необхідність скорочення шкідливих атмосферних викидів
- Прагнення до впровадження відновлюваних джерел енергії

Дослідження переконливо демонструють потенціал біоенергетичних технологій як дієвого інструменту вирішення екологічних, економічних та енергетичних викликів сучасності.

1.4 Оцінювання екологічного стану навколо вугільних котелень

На котельнях експлуатуються вугільні твердо-паливні агрегати, де як основне використовується кам'яне вугілля. Котельня відповідно до екологічного паспорта об'єкта належить до п'ятої групи небезпеки з визначенням санітарно-захисної межі, яка складає 50 метрів. Під час функціонування котельні в атмосферне середовище потрапляють наступні речовини-забруднювачі: оксид вуглецю, оксиди азоту, сажа, бенз(а)пірен, а також діоксиди сірки та азоту [4]. За кількістю викидів основною шкідливою речовиною на прилеглій до котельні зоні є оксид вуглецю, частка якого становить 49,3%, на другій позиції – діоксид азоту з 42,02%, а на третій – оксид азоту (83%).

Проте головною речовиною за класом небезпеки, враховуючи токсичність, є діоксид азоту NO₂ (99,37%), далі йде оксид азоту NO (0,49%), і третьою – діоксид сірки SO₂ (0,048%) (таблиця 1.2) [11].

Таблиця 1.2 – Речовини-забруднювачі, що викидаються котельнею, з класифікацією за масою, класом та ступенем небезпеки.

Найменування	За масою		За категорією небезпеки	
	т/рік	%	м ³ /с	%
Діоксид сірки (SO ₂)	0,97	0,57	0,04·10 ⁴	0,05
Діоксид азоту (NO ₂)	73,05	42,60	66,72·10 ⁴	99,40
Оксид азоту (NO)	11,61	6,77	0,33·10 ⁴	0,50
Оксид вуглецю (CO ₂)	83,54	48,72	0,03·10 ⁴	0,04
Інші	3,23	1,88	0,026·10 ⁴	0,06
Разом	171,48	100	67,24 ·10 ⁴	100

Вищевказані шкідливі речовини потрапляють у довкілля, проходять різноманітні фізичні й хімічні зміни до моменту їх осадження або змивання атмосферними опадами (дощем чи снігом), тому аналіз екологічного стану прилеглої місцевості доцільно виконати за характеристиками повітря. Для цього проби забруднюючих речовин збиралися у снігових покладах і дощових водах відповідно до основних напрямків вітру на кордоні санітарної захисної зони котельні, яка розглядається, а також на відстані до 300 метрів від неї.

Оскільки викидами котельні в повітря є переважно оксиди азоту, діоксид сірки, сажа і монооксид вуглецю, то, враховуючи їх можливі хімічні взаємодії, прогнозувалося формування кислотних іонів, що, у свою чергу, спричиняє зниження рН талої води. В атмосферних опадах був виявлений сліди сульфатів, сульфідів, карбонатів завислих частинок та ін. Згідно з отриманими результатами, пріоритетними шкідливими домішками у

випадах протягом року є гідрокарбонат-іони.

Таким чином, газоподібні шкідливі викиди, змінюються в атмосфері на кислотоутворюючі сполуки, далі змиваються з повітря опадами та потрапляють у ґрунт місцевості, де накопичуються і спричиняють суттєве підкислення верхнього шару. Це перетворює урбанізовану зону, прилеглу до джерела, яке досліджується, на екологічно проблемну ділянку.

1.5 Оцінка теплоенергетичних параметрів деревної біомаси

Вологість деревної біомаси є критичною характеристикою, яка безпосередньо впливає на теплоенергетичні властивості паливної сировини. З позиції теплотехнічного аналізу виділяємо два ключові параметри вологості: абсолютну та відносну.

Абсолютна вологість (W_a) розраховується як співвідношення маси води до маси абсолютно сухої деревини за формулою:

$$W_a = (m - m_0) / m_0 \times 100\% \quad (1.1)$$

де: - m - маса зрізця у вологому стані; - m_0 - маса висушеного зрізка

Відносна (робоча) вологість (W_p) визначається як частка маси води відносно маси вологої деревини:

$$W_p = (m - m_0) / m \times 100\% \quad (1.2)$$

Перерахункові співвідношення:

$$- W_p = (100 \times W_a) / (100 + W_a) \quad (1.3)$$

$$- W_a = (100 \times W_p) / (100 - W_p) \quad (1.4)$$

У світі теплотехнічних досліджень деревна біомаса постає надзвичайно складною та багатогранною системою, де вода відіграє визначальну роль у формуванні її фізико-хімічних властивостей. Процеси вологообміну в деревині нагадують складну біофізичну драму, де кожен елемент має власну унікальну роль.

Зв'язана, або гігроскопічна волога - це свого роду внутрішній резидент клітинних стінок. Утримуючись потужними фізико-хімічними зв'язками, вона глибоко інтегрована в структуру деревини. Її видалення - надзвичайно енергоємний процес, який кардинально впливає на механічні та теплофізичні характеристики деревної речовини. Це немов приборкання внутрішнього стихійного елемента, який чинить потужний опір зовнішнім втручанням.

На противагу їй, вільна волога є більш легковажним гостем - вона розташовується в клітинних порожнинах та міжклітинних просторах, утримуючись лише механічними зв'язками. Її видалення відбувається значно простіше, і вона майже не чинить впливу на фундаментальні властивості деревини.

Особливим станом деревної речовини є так звана межа насичення, коли клітинні стінки акумулюють максимальну кількість зв'язаної вологи, при цьому вільна волога повністю відсутня. Це може статися зі свіжозрубаною деревиною або деревиною, яка тривалий час перебувала у водному середовищі.

Не менш цікавим феноменом є межа гігроскопічності - стан максимального зволоження клітинних стінок в умовах насиченого вологою повітря. Деревина постійно перебуває в динамічному діалозі з навколишнім середовищем, неначе живий організм, здатний дихати та адаптуватися.

При тривалому перебуванні на повітрі з незмінними температурними параметрами та вологістю, деревина досягає так званої стабільної вологості. Цей стан настає в момент абсолютної рівноваги - коли пружність

водяної пари в навколишньому середовищі точно збігається з пружністю парів біля поверхні деревини.

Надзвичайно цікавим є те, що величина стабільної вологості є практично уніфікованою для всіх деревних порід. Однак вона залежить від напрямку процесу вологообміну, немов дотримуючись власних внутрішніх законів природи.

У теплотехнічних розрахунках перевага надається саме відносній (робочій) вологості - тому показнику, який найбільш точно відображає реальний стан деревної біомаси в умовах конкретного виробничого середовища.

Класифікація деревини за вологістю представляє своєрідну екосистему станів:

Мокра деревина - справжній "водний резидент". Її вологість перевищує 50%, що є наслідком тривалого перебування у водному середовищі. Це можуть бути деревні матеріали, що піддавалися транспортуванню водними шляхами або тривалому зберіганню в басейнах.

Свіжозрубана деревина - немов snapshot життя дерева в момент його загибелі. Вологість такої деревини варіюється в діапазоні 33-50%, причому кожна порода має власні унікальні характеристики. Наприклад:

Ялина зберігає близько 48% вологи

Модрина - 45%

Ялиця - 50%

Сосна кедрова - 48%

Верба - 46%

Цікаво, що навіть в межах однієї породи існує значна варіативність. Клен може мати вологість 33%, а дуб - 41%.

Повітряно-суха деревина - результат тривалого "спілкування" з атмосферою. Перебуваючи на відкритому повітрі, вона поступово віддає вологу, досягаючи стійкої позначки 13-17%. Це немов процес поступової адаптації живої матерії до нових умов.

Кімнатно-суха деревина - продукт штучного середовища, де температура та вологість контролювані людиною. Її вологість знижується до 7-11%, що робить її майже ідеальним матеріалом для внутрішніх робіт.

Абсолютно суха деревина - результат жорсткого термічного впливу. Висушена при температурі 103 ± 2 °С, вона втрачає будь-які сліди вологи.

Особливо цікавим є нерівномірний розподіл вологи в живому дереві. Вологість може відрізнятися по радіусу та висоті стовбура, немов створюючи власну внутрішню екосистему.

Дослідження показують вражаючу варіативність вологості кори:

Соснові сортименти: від 40% до 211%

Ялинові: від 40% до 159%

Березові: від 38% до 82%

Навіть в межах одного дерева існують унікальні відмінності. У сосни вологість кори змінюється по висоті стовбура, причому прикореневі ділянки мають нижчу вологість порівняно з верхівкою. А ось у ялини та берези вологість кори залишається практично незмінною.

Структура та властивості деревини зазнають значних змін під впливом різних природних процесів, зокрема гниття. Максимальна вологість стовбурової деревини спочатку обмежена сукупним об'ємом клітинних порожнин та міжклітинних просторів.

З розвитком процесу розкладання деревні клітини поступово руйнуються, що призводить до утворення додаткових внутрішніх порожнин. Внаслідок цього структура стає більш пористою та рихлою, а міцність деревини суттєво знижується. На відміну від здорової деревини, гнила маса характеризується практично необмеженою вологістю, яка може досягати настільки високих показників, що унеможлиблює ефективне спалювання.

Через підвищену пористість гнила деревина набуває надзвичайно гігроскопічних властивостей. Перебуваючи на відкритому повітрі, вона надзвичайно швидко вбирає вологу, що ще більше погіршує її фізико-

механічні характеристики.

Важливим аспектом при дослідженні паливних матеріалів є показник зольності. Зола являє собою мінеральні речовини, що залишаються після повного згоряння горючої маси. Цей компонент вважається небажаним у паливі, оскільки він знижує вміст горючих елементів та ускладнює експлуатацію паливних пристроїв.

Науковці виділяють два основні типи золи: внутрішню, яка є складовою деревної речовини, та зовнішню, що потрапляє в паливо під час заготівельних робіт, зберігання та транспортування біомаси. Суттєвою характеристикою золи є її плавкість при нагріванні.

Залежно від температурних показників розрізняють три види золи:

- Легкоплавка: температура початку рідкоплавкого стану нижче 1350°C
- Середньоплавка: температура в межах 1350–1450°C
- Тугоплавка: температура вище 1450°C

Для точного визначення зольності фахівці проводять спеціальні аналізи, розраховуючи вміст мінеральних речовин на суху та робочу маси палива за спеціальними формулами.

Такий детальний підхід дозволяє всебічно оцінити властивості деревини та її придатність для різних технологічних потреб.

1.6 Аналіз хімічного складу деревної біомаси

У сфері теплотехнічних досліджень деревної біомаси важливим поняттям є робоче паливо - біомаса в її природному стані перед безпосереднім використанням у котлоагрегатах. Повний склад такої біомаси описується комплексним рівнянням, що включає вміст основних хімічних елементів: вуглецю, водню, кисню, азоту, а також золи та вологи.

Для поглибленого аналізу фахівці виділяють два додаткові стани біомаси: суху та горючу маси. Суха маса являє собою біомасу, повністю висушену до абсолютно сухого стану, а горюча маса - біомасу, з якої повністю видалені зола та волога.

Унікальною особливістю стовбурової деревини є надзвичайно стабільний елементний склад її горючої маси. Незалежно від породи дерева, хімічний склад практично не змінюється і знаходиться в межах технічної похибки вимірювань. Узагальнені дослідження дозволяють стверджувати, що типовий склад стовбурової деревини у горючій масі становить:

- Вуглець (C_г): 51%
- Водень (H_г): 6,1%
- Кисень (O_г): 42,3%
- Азот (N_г): 0,6%

Набагато складнішою є ситуація з корою різних порід дерев. Наукові дослідження в цій сфері обмежені, тому можна говорити лише про приблизні межі її елементного складу:

- Вуглець (C_г): 49,0-58,0%
- Водень (H_г): 5,2-7,0%
- Кисень (O_г): 38,0-45,9%
- Азот (N_г): 0,5-8,0%

Цікавим є також аспект впливу гниття на хімічний склад деревини. Дослідження показали, що під час корозійного процесу вміст лігніну поступово зменшується, водночас вміст целюлози залишається практично незмінним.

Такий детальний аналіз хімічного складу деревної біомаси має принципове значення для точного налаштування паливних пристроїв та проведення теплотехнічних розрахунків.

1.7 Вплив складу деревної біомаси на її енергетичні показники

У сфері дослідження процесів спалювання деревної біомаси вчені використовують два ключові поняття: вища та нижча теплота згорання. Ці показники мають принципові відмінності в методиці розрахунку та практичному застосуванні.

Вища теплота згорання - це комплексний показник, що характеризує загальну кількість теплової енергії, яка виділяється під час повного спалювання одного кілограма біомаси. Особливістю цього параметра є врахування повної конденсації водяних парів, що утворюються під час горіння, з обов'язковою компенсацією прихованої теплоти пароутворення.

Для розрахунку вищої теплоти згорання науковці використовують формулу Менделєєва, яка бере до уваги хімічний склад біомаси, зокрема вміст вуглецю, водню, кисню та сірки. Формула дозволяє досить точно визначити потенційну теплову потужність палива.

На противагу вищій теплоті, нижча теплота згорання не враховує витрати тепла на випаровування вологи. Цей показник є більш практичним для реальних умов спалювання і відображає безпосередню корисну теплову віддачу палива.

Теплота згорання стовбурової деревини має складну залежність від двох ключових параметрів: зольності та вологості. Чим вища вологість і зольність біомаси, тим нижча її теплотворна здатність. Спеціальна формула дозволяє розрахувати цей показник для будь-яких умов.

Теплота згорання кори різних порід деревини може суттєво відрізнятися. Наприклад, для орієнтовних розрахунків можна використати такі усереднені показники:

- Кора сосни: 20 890 кДж/кг
- Кора ялини: 19 330 кДж/кг
- Кора берези: 19 950 кДж/кг
- Кора осики: 20 780 кДж/кг

- Кора модрини: 21 870 кДж/кг

Варто зазначити, що наукові дослідження в галузі теплоти згорання кори є доволі обмеженими. Наведені значення слід розглядати як орієнтовні, що потребують подальшого уточнення та експериментальної перевірки.

Практичне значення цих досліджень полягає в удосконаленні технологій спалювання біомаси, підвищенні ефективності паливних систем та розробці методів енергетичного використання деревини.

1.8 Аналіз способів спалювання деревної біомаси

Процес спалювання твердого палива в шарі являє собою складний термохімічний механізм взаємодії різних компонентів у просторі паливного пристрою. Основна суть полягає в безперервному продуванні повітря крізь шар палаючого палива, що призводить до утворення високотемпературних паливних газів, золи та шлаку.

Динаміка теплообміну відбувається в декількох взаємопов'язаних площинах. Паливні гази омивають поверхні нагріву, передаючи їм частину акумульованого тепла. Водночас поверхні нагріву сприймають теплове випромінювання від розжарених часток палива та полум'я, що виникає під час згорання горючих газів.

Простір, де відбувається безпосередня взаємодія палива з повітрям та продуктами згорання, дістав назву "активної зони" або "зони горіння". Ця зона має складну внутрішню структуру та включає декілька послідовних підзон:

1. Киснева зона: Розміщується в нижній частині шару палива, куди безпосередньо підводиться повітря. У цій зоні відбувається хімічна взаємодія кисню з вуглецем палива, внаслідок чого утворюються оксид вуглецю (CO) та вуглекислий газ (CO₂).

Протяжність кисневої зони залежить від специфічних характеристик палива:

- Реакційна здатність палива обернено пропорційна довжині зони
- Середній розмір часток палива прямо пропорційний довжині зони

2. Зона відновлення: Розташовується над кисневою зоною. Характеризується складними хімічними перетвореннями, зокрема взаємодією вуглекислого газу з розжареною поверхнею палива. Внаслідок цієї ендотермічної реакції в продуктах згорання збільшується концентрація монооксиду вуглецю, а температура шару поступово знижується.

Видалення золи та шлаку може відбуватися двома способами:

- вручну
- механічний

Важливою особливістю такого процесу є безперервність та взаємопов'язаність усіх зон. Кожна наступна зона є продовженням попередніх хімічних та теплових перетворень, що забезпечує ефективність процесу спалювання.

Технологія спалювання твердого палива в шарі має низку беззаперечних переваг, що роблять її привабливою для практичного використання.

Серед ключових позитивних характеристик варто виділити:

1. Метод дозволяє ефективно спалювати деревну біомасу з надзвичайно широким діапазоном розмірів часток. Ця гнучкість є принциповою перевагою порівняно з іншими технологіями спалювання.

2. Процес забезпечує практично ідеальні умови для автоматизації роботи паливного пристрою. Незначна складність механізмів дозволяє створювати прості та надійні системи подачі палива в зону горіння.

3. Мінімальні витрати на підготовку палива роблять цю технологію економічно привабливою для широкого впровадження.

Водночас технологія має й певні обмеження та недоліки, що варто враховувати при проектуванні паливних систем.

Основні проблемні аспекти включають:

1. Необхідність використання громіздкої колосникової решітки створює суттєві труднощі при проектуванні потужних котлоагрегатів. Великогабаритні конструкції не завжди вписуються в технологічні вимоги та просторові обмеження.

2. У деяких експлуатаційних режимах можливе виникнення небажаних явищ, зокрема:

- Прогари шару палива
- Кратерне горіння

Ці негативні фактори призводять до обмеження потенційної напруженості роботи колосникових решіток. Відповідно, при проектуванні паливень великої потужності доводиться вводити додаткові конструктивні та технологічні обмеження.

Таким чином, шаровий спосіб спалювання твердого палива є перспективною технологією, яка має як беззаперечні переваги, так і певні технічні обмеження. Подальше вдосконалення конструктивних рішень дозволить мінімізувати наявні недоліки та розширити можливості використання цієї технології в енергетичній галузі.

Вихоровий процес спалювання твердого палива базується на створенні всередині топки стійкого вихрового руху газоповітряної суміші та частинок палива. У цьому процесі паливо рухається по кругових або петльових траєкторіях, перебуваючи у підвішеному стані, поступово згоряючи під час циркуляції у газовому об'ємі. Завдяки високій швидкості обертання частинок і їхній значній поверхні забезпечується прискорене нагрівання, підсушування, сублімація летких компонентів і повне згорання твердих залишків.

Для більш ефективного спалювання великих частинок палива в таких топках можуть використовуватись додаткові колосникові решітки. Вихоровий рух створюється завдяки правильно організованій подачі повітря і відведенню продуктів горіння. Великі частинки палива, які не

встигають згоріти за один цикл, повертаються в ділянку з інтенсивним рухом повітря, де знову підхоплюються вихровим потоком. Цикл повторюється до тих пір, поки розміри частинок не стануть достатньо малими для повного згорання за один оберт.

Однією з ключових переваг цього способу є те, що паливо не потребує тонкого подрібнення. Наприклад, кам'яне вугілля з частинками розміром 0,5–3 мм, фрезерний торф, тирсу чи деревну стружку можна спалювати без додаткової підготовки. Завдяки цій технології досягається високий рівень ефективності та гнучкість у використанні різних видів твердого палива.

Циклонний метод спалювання твердого пилоподібного палива є подібним до вихорового процесу, але має свої особливості. Основна відмінність полягає у формі паливної камери, яка має циліндричну конфігурацію. Подача повітря здійснюється по дотичній до внутрішньої поверхні циліндра, що забезпечує вихровий рух суміші. Завдяки такій конструкції досягається висока інтенсивність спалювання і рівномірний розподіл тепла в об'ємі топки.

Факельний метод передбачає подачу пилоповітряної суміші через спеціальний пальник у топку, де паливо згорає у зваженому стані, утворюючи яскравий факел полум'я. Для стабільного горіння частинки палива повинні бути попередньо подрібнені до дуже дрібного розміру, щоб забезпечити їх повне згорання за короткий час перебування у факелі. Цей метод дозволяє спалювати лише дрібно подрібнене паливо, наприклад шліфувальний пил, без додаткової обробки.

Характерною рисою факельного способу є невеликий запас палива в камері, що робить його досить чутливим до змін у режимах роботи. Регулювання потужності здійснюється лише синхронною зміною кількості поданого палива та повітря. Серед недоліків слід виділити швидкий золовий знос нагрівальних поверхонь і утворення твердого сплавленого шлаку на стінках паливної камери. Крім того, цей метод вимагає ретельного

дотримання заходів вибухобезпеки через високий ступінь пилоутворення і легкозаймистість паливної суміші.

Кожен із методів спалювання має свої переваги та обмеження, що визначають їхнє застосування залежно від типу палива, технічних вимог і екологічних стандартів.

Висновки до розділу 1

У розділі виконано аналіз паливно-енергетичного комплексу України, з якого необхідність реконструкції теплоенергетичних систем постає як критично важливе інженерне завдання, спрямоване на оптимізацію енергетичної інфраструктури.

Загальний аналіз вітчизняних та міжнародних науково-технічних джерел виявляє методологічну недостатність емпіричної бази та унеможливорює повноцінну діагностику проблемних аспектів модернізації теплоенергетичних комплексів. Як наслідок, більшість академічних публікацій має виключно теоретико-концептуальний характер, позбавлений конкретних інженерно-технологічних пропозицій.

Проте можливий спектр потенційних інженерних рішень для підвищення енергоефективності галузі є доволі широким, проте їх впровадження вимагає дорогих інноваційних технологічних рішень і сучасного високотехнологічного обладнання.

Проведено детальний аналіз особливостей спалювання подрібненої деревної біомаси її склад та теплоенергетичні характеристики. Ці параметри мають ключове значення для розробки ефективних паливних пристроїв, адаптованих до специфіки використання такої сировини.

Встановлено, що відходи деревини можуть забезпечувати енергетичну цінність, близьку до характеристик звичайної паливної деревини. Це підкреслює їхню актуальність як відновлюваного енергетичного ресурсу.

Проаналізовано різні типи паливних пристроїв, що застосовуються для спалювання подрібненої деревної біомаси. Встановлено, що найбільш доцільним є використання камерних паливних установок. Такі пристрої забезпечують високий коефіцієнт корисної дії, що робить їх оптимальним вибором для реалізації енергетичних проєктів із використанням біомаси.

РОЗДІЛ 2

2. АНАЛІЗ ТРАНСФОРМАЦІЇ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ НА АЛЬТЕРНАТИВНІ ПАЛИВНІ РЕСУРСИ

2.1 Дослідження ринку біопаливних гранул

Глобальні тренди енергетичної трансформації характеризуються інтенсивною диверсифікацією паливно-енергетичного балансу внаслідок вичерпання традиційних мінеральних ресурсів та зростання вартості викопних енергоносіїв. Стратегія раціонального природокористування та мінімізації техногенного навантаження на навколишнє середовище актуалізує розробку та впровадження інноваційних біоенергетичних технологій.

Аналіз сучасних альтернативних енергетичних рішень показав, що особливого поширення набули біопаливні гранули – пелети, що демонструють високі експлуатаційні характеристики та екологічну безпечність. Технічні параметри деревних пелет характеризуються уніфікованою геометрією циліндричної форми: стандартизований діапазон діаметру становить 6-14 мм, а довжина варіюється в межах 0,5-2 см.

Сировинна база пелетного виробництва має диверсифіковану структуру, що включає деревообробні відходи (тирса, стружка, некондиційна деревина, корова маса) та агропромислові біомасові фракції (солома, стебла технічних культур, торф'яні утворення). Принципова екологічна перевага біопалива полягає в замкненому вуглецевому циклі: при спалюванні відбувається реемісія раніше акумульованого рослинами вуглекислого газу. Показник зольності пелетних гранул не перевищує 1% від загальної маси, а утворена зола може бути використана як високоефективне органічне добриво.

Вітчизняний біопаливний сегмент пелетного ринку демонструє складну структурну конфігурацію з домінуванням експортної орієнтації та

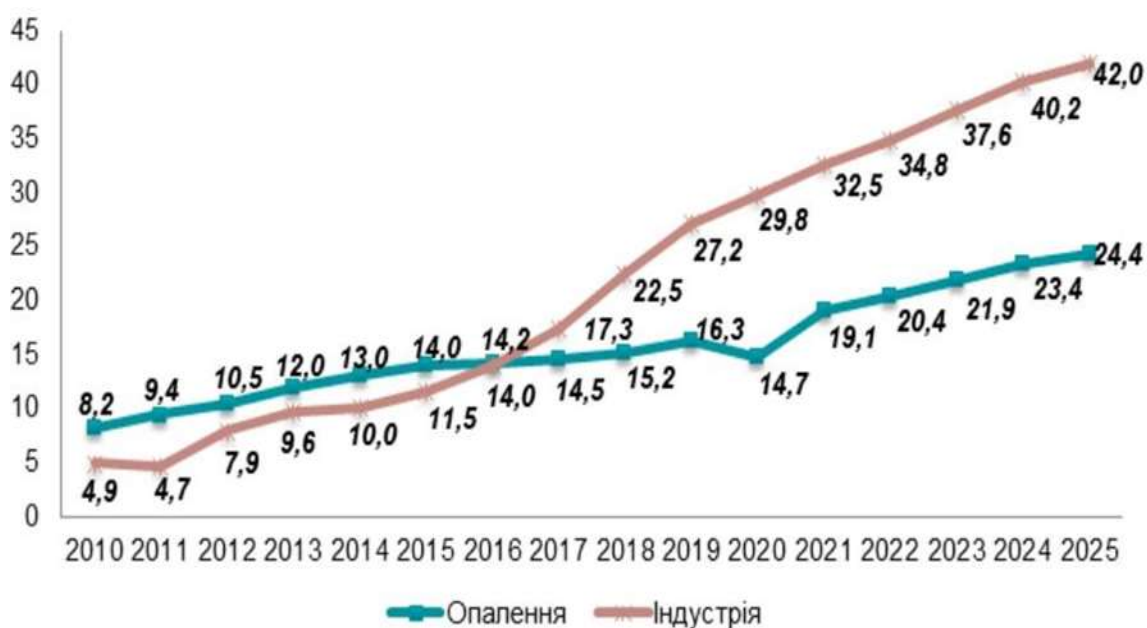
системними дисбалансами між виробничим потенціалом і внутрішнім споживанням. З 2014 року сформувалась унікальна кон'юнктура, за якої вітчизняне пелетне виробництво трансформувалось у потужний експортно-орієнтований сектор альтернативної енергетики.

Детермінантами стрімкого розвитку підприємств-експортерів біопаливних гранул слугували:

Інтенсивна динаміка впровадження біоенергетичних технологій у країнах ЄС-27, низький рівень конкуренції за біомасову сировину на внутрішньому ринку, мінімальна собівартість виробничих процесів.

Технологічною базою слугували виробничі відходи агропромислового комплексу: деревна тріска, солома, соняшникове лушпиння. Альтернативне паливо набуло конкурентоспроможності на тлі перманентного підвищення цін на природний газ.

Проте системні інфраструктурні обмеження – відсутність вітчизняних енергетичних установок середньої потужності та висока вартість імпортованого обладнання – унеможливили формування повноцінного внутрішнього ринку споживання.



Джерело: за даними Argus Biomass Direct data, European Pellet Council, HPBA stove data; оцінка Pro-Consulting

Рисунок 2.1 – Тренд світового споживання пелет, млн. т.

Критичні трансформації відбулися в субсекторі солом'яних пелет: обсяги експортного виробництва зазнали катастрофічного скорочення – з 48 000 тонн у 2022 році до критичних 1300 тонн у 2024 році, що фактично означає згортання виробничої діяльності та потребує негайної інженерної реконфігурації галузевої стратегії.

Аналітичне дослідження консалтингових компаній прогнозує масштабну трансформацію глобального ринку біопаливних технологій у сегменті деревних гранул. Прогнозована динаміка демонструє системне зростання обсягів світового споживання більш ніж у 1,7 разу – з 27 млн тонн у 2015 році до 47,3 млн тонн щорічно у 2025 році.

Європейський біоенергетичний простір характеризується стійкою висхідною траєкторією споживання пелетних технологій. Середньорічний темп приросту споживання становить 7%, що відображає стратегічний курс європейських держав на декарбонізацію та диверсифікацію енергетичного балансу. Прогнозований обсяг споживання деревних гранул у 2024 році сягне 23,8 млн тонн.

Геоелекономічна структура виробництва пелет у європейському регіоні має чітку концентрацію. Шість держав формують понад (56%) сукупного виробничого потенціалу (Швеція, Італія, Німеччина, Австрія, Польща).

Споживацький ландшафт європейського пелетного ринку демонструє високий рівень консолідації: сім держав забезпечують 81% сукупного європейського споживання біопаливних гранул, найбільшими споживачами виступають країни прибалтійського басейну та Італія (див рис. 2.2).

Означена тенденція підтверджує стратегічний курс європейських країн на впровадження інноваційних низьковуглецевих технологій у секторі альтернативної енергетики.

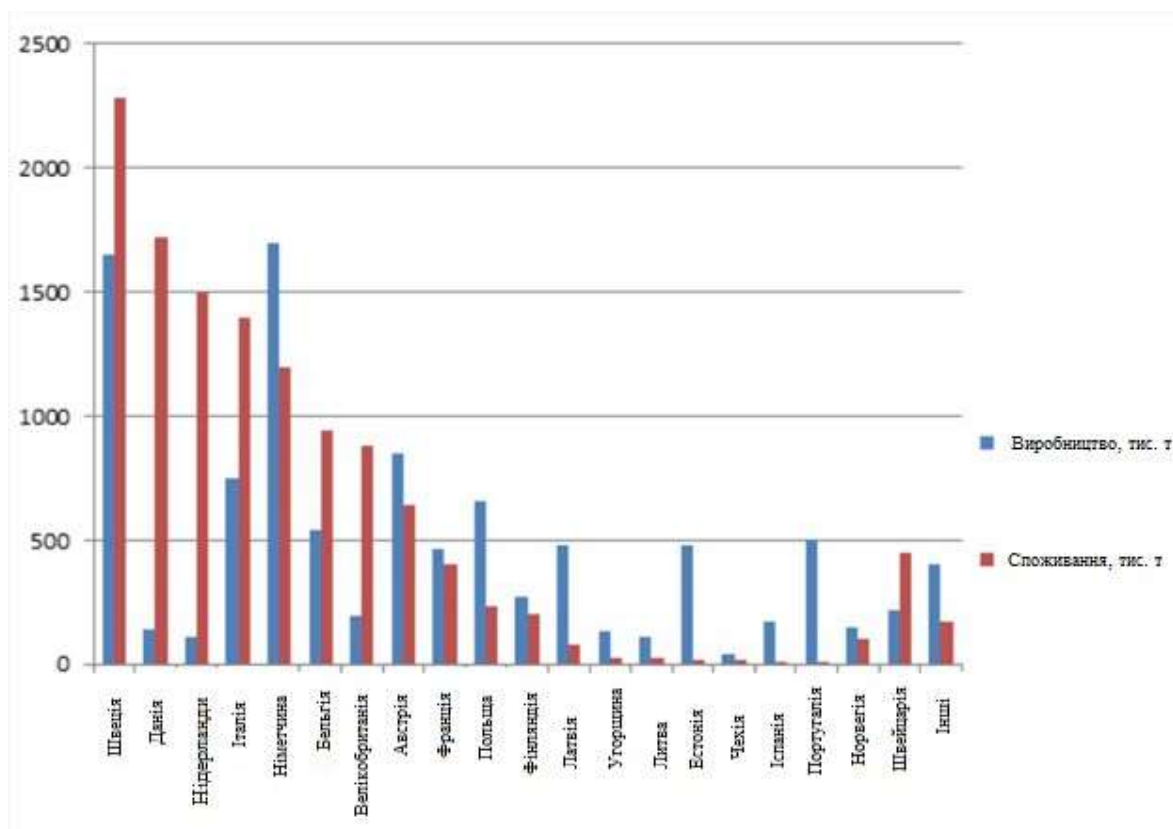


Рисунок 2.2 – Характеристика ринку пелет в Європі

Середня ціна на пелети є найвищою у країнах ЄС, у цих країнах зберігається тенденція щорічного зростання вартості пелет.

У вітчизняному контексті на початку другої декади 2020-х років вартість пелетної сировини коливалася в межах 130 європейських валютних одиниць за тонну. Для порівняння, на європейському ринку середня ціна була дещо вищою - близько 140 євро за тонну, а в Німеччині з урахуванням логістичних витрат досягала позначки 180 євро за тонну. Особливо привабливим є роздрібний продаж, де упаковані в мішки пелети можуть коштувати до 250 євро за тонну.

Внутрішній ринок України на той момент характеризувався досить низьким попитом на пелетне паливо. Водночас потужний європейський інтерес стимулював вітчизняних виробників нарощувати темпи виробництва паливних гранул.

Дослідження показало, що ринок пелетного виробництва демонструвати стрімке зростання, сягнувши до 2030 року приблизно 624

тисяч тонн. Однак введення європейських стандартів якості створило серйозні виклики для українських експортерів, оскільки багато виробників не змогли адаптуватися до нових вимог, що призвело до скорочення експортних поставок.

Щодо теплотворної здатності, пелетне паливо має показник 20 МДж/кг, що робить його конкурентоспроможним порівняно з різними видами викопного палива: буре вугілля (15-18 МДж/кг), кам'яне вугілля (32-38 МДж/кг) та антрацит (34-40 МДж/кг).

Порівняльні переваги пелетного палива виявляються в наступних аспектах:

- Порівняно з газом: Пелети демонструють значні переваги через високу безпеку газових систем, складну процедуру узгодження підключень та отримання експлуатаційних лімітів;
- У співставленні з вугіллям: На відміну від вугільних технологій, пелетне паливо забезпечує:
 - Повну автоматизацію процесу спалювання
 - Мінімальний вміст шкідливих викидів
 - Відсутність необхідності утилізації великої кількості шлаку
 - Суттєво вищий коефіцієнт корисної дії котельного обладнання
- Порівняно з електроенергією: Пелети мають перевагу через низьку вартість та можливість підключення без складних технічних обмежень;
- На противагу дровам: Забезпечується повна автоматизація процесу, мінімальні площі зберігання та висока ефективність;
- В порівнянні з мазутом: Пелети характеризуються низькою вартістю, придатністю для малогабаритних котлів, відсутністю потреби у розрідженні та мінімальним вмістом шкідливих домішок.

Проведений аналіз беззаперечно демонструє актуальність впровадження біопаливних технологій та переведення котелень на пелетне паливо. Саме

тому було прийнято стратегічне рішення розробити інноваційний технологічний процес трансформації енергетичних систем на альтернативне та екологічно чисте паливо.

2.2 Розрахунок силових теплових навантажень студмістечка

Теплове споживання залежить від опалювальної площі, питомої опалювальної характеристики будівлі, а також від температури зовнішнього повітря.

Розрахункові параметри зовнішнього повітря приймаються в залежності від пункту розташування об'єкту і приведені для м. Кропивницького.

Таблиця 2.1. Кліматологічні дані м. Кропивницького за опалювальний період

Тривалість опалюв. періоду, n_o , діб	Температура зовнішнього повітря в холодний період, °C			
	розрахункова для опалення, $t_{p.o.}$	середня		Число діб з $t_{p.в.} < t_{p.o.}$, $n_{оп}$
		опалювального періоду, $t_{сер.о.}$	найбільш холодного місяця $t_{сер. х.м.}$	
185	-21	-1,0	-12,6	18

Розрахункове теплове навантаження на опалення приймають, Гкал/год:

$$Q_o^p = q_o \cdot S_o \cdot (t_{в.р.} - t_{p.o.}) \quad (2.1)$$

де q_o – питома опалювальна характеристика будівлі, Гкал/м²;

S_o – опалювальна площа, м²;

$t_{в.р.}$ – розрахункова температура повітря всередині опалювального приміщення, °C;

$t_{п.о.}$ – розрахункова температура зовнішнього повітря для опалення, °C;

В якості прикладу виконаємо розрахунок теплових навантажень на опалення для гуртожитку №4. Дані для розрахунку: $t_{в.р.} = 18$ °C; $q_o = 1,25$ Вт/(м³·°C); $V_3 = 29450$ м³.

Теплове навантаження на опалення:

$$Q_o^p = (1 + \mu) q_o V_3 (t_{в.р.} - t_{п.о.}) = (1 + 0,25) \cdot 1,25 \cdot 144000 \cdot (18 - (-21)) = 7020 \text{ кВт}$$

Розрахунок теплового навантаження на опалення інших будівель здійснюється аналогічно. Результати розрахунку приведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2. Результати розрахунку теплових навантажень на опалення

№ п\п	Найменування підрозділу	F, м ²	V, м ³	q _o , Вт/м ³ ·°C	t _{в.р.} , °C	Q _o ^p , кВт
1	Гуртожиток №4	4935,8	29744,5	1,26	18	1812,561
2	Гуртожиток №3	4763,1	28578,9	1,26	18	1741,539
3	Гуртожиток №2	2650,2	15901,4	1,26	18	968,994
4	Гуртожиток №1	2918,9	17513,4	1,26	18	1067,23

2.3 Розрахунок теплових навантажень на вентиляцію

Розрахункове теплове навантаження на вентиляцію визначають по укрупненим показникам. Для промислових підприємств:

$$Q_v^p = q_v V_3 (t_{в.р.} - t_{п.в.}) \quad (2.2)$$

де q_v – питома вентиляційна характеристика будівлі, Вт/(м³·°C);

$t_{p.v.}$ – розрахункова температура зовнішнього повітря для систем вентиляції, °C;

Дані для розрахунку: $t_{v.p.} = 16$ °C; $q_v = 0,465$ Вт/(м³·°C); $V_3 = 144000$ м².

Теплове навантаження на опалення, кВт:

$$Q_v^p = q_v V_3 (t_{v.p.} - t_{p.v.}) = 0,465 \cdot 144000 \cdot (16 - (-9)) = 1540 \text{ кВт}$$

Розрахунок теплового навантаження на вентиляцію для інших гуртожитків здійснюється аналогічно. Результати розрахунку приведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2. Результати розрахунку теплового навантаження на вентиляцію

№ п\п	Найменування підрозділу	F, м ²	V, м ³	q_v , Вт/м ³ ·°C	$t_{v.p.}$, °C	Q_v^p , кВт
1	Гуртожиток №4	4935,9	29744,5	0,3	18	224,1
2	Гуртожиток №3	4763,2	28579	0,3	18	215,3
3	Гуртожиток №2	2650,2	15901,4	0,3	18	119,8
4	Гуртожиток №1	2918,9	17513,4	0,3	18	131,9

2.4 Розрахунок теплових навантажень на гаряче водопостачання

Середнє навантаження гарячого водопостачання за тиждень в опалювальний період, Вт:

$$Q_{\text{Г.З.}}^{\text{сер.т.}} = \frac{amc_{\text{в}}(t_{\text{Г}} - t_{\text{х}})}{n_{\text{с}}} \quad (2.3)$$

де a – норма витрати гарячої води з $t_{\text{Г}}$ на 1 споживача, л/добу, приймається рівною 25 л на 1 людину для громадських будівель [3];

m – число споживачів;

$c_{\text{в}}$ – теплоємність води, 4190 Дж/(кг · К);

$t_{\text{Г}}$ – температура гарячої води приймається не менше 50 °С і не більше

75 °С для закритих систем тепlopостачання;

$t_{\text{х}}$ – температура холодної води, °С: приймається літом 15 °С; зимою 5 °С.

$n_{\text{с}}$ – розрахункова тривалість подачі теплоти на гаряче водопостачання, с/добу; для трьохзмінного графіку роботи підприємства $n_{\text{с}} = 86400$ с/добу;

Середня витрата теплоти на гаряче водопостачання в літній період, Вт:

$$Q_{\text{Г.Л.}}^{\text{сер.т.}} = Q_{\text{Г.З.}}^{\text{сер.т.}} \frac{t_{\text{Г}} - t_{\text{х.Л.}}}{t_{\text{Г}} - t_{\text{х.З.}}} \beta \quad (2.4)$$

де $t_{\text{х.Л.}}$ – температура холодної води в літній період, °С;

$t_{\text{х.З.}}$ – температура холодної води в зимовий період, °С;

β – коефіцієнт, що враховує зниження витрати води на гаряче водопостачання в літній період по відношенню до витрати води в опалювальний період (при відсутності даних приймають $\beta = 0,8$ за виключенням підприємств, курортів і південних міст, для яких $\beta = 1$).

Розрахункове максимальне теплове навантаження гарячого водопостачання, Вт:

$$Q_{\Gamma.B.}^{\max} = \chi Q_{\Gamma.}^{\text{сер.т.}} \quad (2.5)$$

де χ – розрахунковий коефіцієнт часової нерівномірності; для житлових і громадських будівель $\chi = 2,4$.

В якості прикладу виконаємо розрахунок теплових навантажень на гаряче водопостачання для. Кількість проживаючих людей складає 348.

Середньогодинне навантаження на гаряче водопостачання в зимовий період:

$$Q_{\Gamma.з.}^{\text{сер.т.}} = \frac{amc_{\text{в}}(t_{\Gamma} - t_{\text{х}})}{n_{\text{с}}} = \frac{25 \cdot 348 \cdot 4,19(55 - 5)}{8 \cdot 3600} = 63,29 \text{ кВт}$$

Середня витрата теплоти на гаряче водопостачання в літній період:

$$Q_{\tilde{a}.a.}^{\tilde{n}\tilde{a}\tilde{o}.o.} = Q_{\tilde{a}.c.}^{\tilde{n}\tilde{a}\tilde{o}.o.} \frac{t_{\tilde{a}} - t_{o.e.}}{t_{\tilde{a}} - t_{o.c.}} \beta = 63,29 \frac{55 - 15}{55 - 5} \cdot 0,8 = 50,63 \text{ кВт}$$

Розрахункове максимальне теплове навантаження гарячого водопостачання в зимовий період:

$$Q_{\Gamma.B.}^{\max} = \chi Q_{\Gamma.}^{\text{сер.т.}} = 2,4 \cdot 63,29 = 151,8 \text{ кВт.}$$

Розрахункове максимальне теплове навантаження гарячого водопостачання в літній період, кВт:

$$Q_{\Gamma.л.}^{\max} = \chi Q_{\Gamma.л.}^{\text{сер.т.}} = 2,4 \cdot 50,63 = 121,5 \text{ кВт.}$$

Результати розрахунку теплових навантажень на гаряче водопостачання для інших підрозділів підприємства приведені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4. Результати розрахунку теплових навантажень на гаряче водопостачання.

№ п/п	Найменування підрозділу	т, люд.	$Q_{г.з.}^{сер.т.}$	$Q_{г.л.}^{сер.т.}$	$Q_{г.з.}^{max}$	$Q_{г.л.}^{max}$
1	Гуртожиток №4	351	63,9	51,1	153,4	122,7
2	Гуртожиток №3	405	73,6	58,9	176,8	141,4
3	Гуртожиток №2	256	46,7	37,3	112	89,6
4	Гуртожиток №1	249	45,4	36,3	108,9	87,1
Всього по студмістечку		1262	1274,6	231,8	185,4	321,3

Загальне максимальне теплове навантаження підприємства приведене в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5. Теплове навантаження підприємства

№ п/п	Найменування підрозділу	Q_o^p , кВт	Q_B^p , кВт	$Q_{г.з.}^{max}$, кВт	Q_{Σ}
1	Гуртожиток №4	1812,6	224,1	153,4	2190
2	Гуртожиток №3	1741,5	215,3	176,8	2133,6
3	Гуртожиток №2	969	119,8	112	1200,7
4	Гуртожиток №1	1067,2	131,9	108,9	1308
Всього по студмістечку		5427,79	5482,1	5590,3	691,1

2.5 Розрахунок та побудова графіків теплового споживання

Для побудови годинних графіків витрати теплоти на опалення достатньо використати два значення теплового навантаження Q_o^p при температурах $t_3 = t_{p.o.}$ і $t_3 = +8$ °С.

Для побудови річного графіка по місяцям, визначають розрахункові навантаження на опалення для кожного місяця опалювального періоду за формулою:

$$Q_o = Q_o^p \left(\frac{t_{в.р.} - t_3}{t_{в.р.} - t_{р.о.}} \right) \quad (2.7.)$$

Визначимо використовуючи формулу перерахунку (2.7.) годинні витрати на опалення при температурі зовні повітря $t_3 = +8$ °С, Гкал/год:

$$Q_o = Q_o^p \left(\frac{t_{а.д.} - t_3}{t_{а.д.} - t_{д.і.}} \right) = 5427 \cdot \left(\frac{18 - 8}{18 + 21} \right) = 1356$$

Годинні витрати при температурі зовні повітря $t_3 = -25$ °С, Гкал/год:

$$Q_o = Q_o^p \left(\frac{t_{а.д.} - t_3}{t_{а.д.} - t_{д.і.}} \right) = 5427 \cdot \left(\frac{18 + 25}{18 + 21} \right) = 5834$$

Знаходимо тривалості стояння температур зовнішнього повітря в годинах з інтервалом 5 °С і тривалість опалювального сезону для м. Кропивницького $n_0 = 6836$ год. Результати зводимо в таблицю 2.6.

Таблиця 2.6. Тривалість стояння температур зовнішнього повітря

Величина	Температура зовнішнього повітря, °С							
	-35 -30	-30 -25	-25 -20	-20 -15	-15 -10	-10 -5	-5 0	0 +8
Тривал., n , год.	1	5	36	166	502	1128	2352	4484
Темпер., °С	-30 і нижче	-25 і нижче	-20 і нижче	-15 і нижче	-10 і нижче	-5 і нижче	0 і нижче	+8 і нижче
$\sum n$, год.	1	6	41	202	668	1630	3480	6836

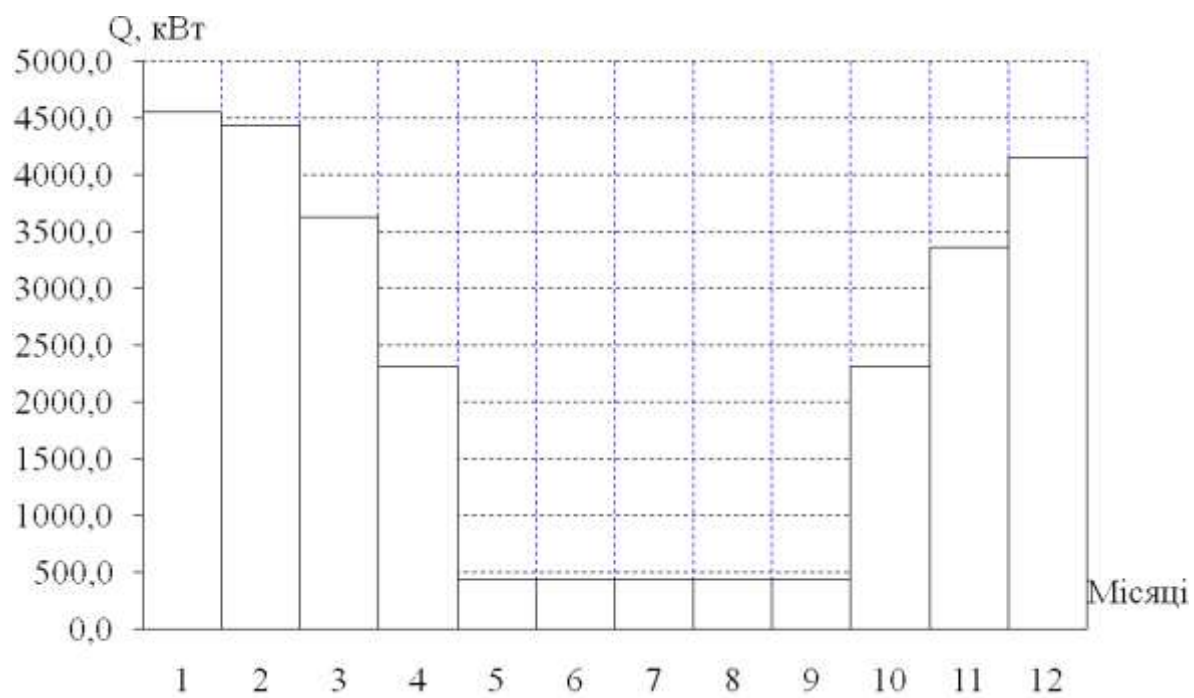


Рис. 2.3 Річний графік споживання теплової енергії

Висновки до розділу 2

Проведено дослідження ринку біопаливних гранул (пелет), яке показало, що використання пелет як альтернативного палива є перспективним завдяки їх високій теплотворній здатності, екологічності та широкій доступності. Було виявлено, що біопаливні гранули можуть забезпечити сталий розвиток теплоенергетичних систем, знизити залежність від традиційних викопних ресурсів та покращити енергетичну безпеку.

Виконано розрахунок силових теплових навантажень студмістечка, що дозволило оцінити теплові потреби будівель для забезпечення комфортних умов проживання. Аналіз показав, що існуюча система теплопостачання потребує оптимізації, яка включає модернізацію обладнання та перехід на альтернативне паливо. . Було доведено, що використання біопалива може забезпечити стабільне гаряче водопостачання з одночасним зниженням викидів парникових газів.

Виконано розрахунок і побудову графіків теплового споживання, які показали розподіл теплових навантажень протягом року. Отримані дані підтвердили доцільність адаптації системи теплопостачання під специфіку споживання теплової енергії у студмістечку з урахуванням сезонних коливань.

Загалом, проведений аналіз підтвердив, що перехід теплоенергетичних систем студмістечка на альтернативні паливні ресурси є технічно доцільним, економічно вигідним та екологічно обґрунтованим. Впровадження біопаливних гранул у систему теплопостачання дозволить значно знизити енергетичні витрати, зменшити шкідливі викиди в атмосферу та забезпечити стійке і надійне постачання теплової енергії. Отримані результати можуть стати основою для практичної реалізації подібних проєктів модернізації систем теплопостачання в інших об'єктах інфраструктури..

РОЗДІЛ 3

3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ СТУДМІСТЕЧКА

3.1 Аналіз енергетичних балансів

Для комплексного аналізу ефективності використання енергетичних ресурсів у виробничій діяльності, розроблення прогресивних нормативів витрат енергії та палива по всьому підприємству, а також формування повноцінного енергетичного балансу необхідне глибоке дослідження наявних процесів.

Такий методологічний підхід надає унікальну можливість:

- Трансформувати структуру енергоспоживання
- Ідентифікувати найбільш економічно вигідні варіанти заміни енергоносіїв
- Здійснювати моніторинг ефективності енергетичної стратегії підприємства

Складання енергетичного балансу виступає потужним інструментом стратегічного планування, який дозволяє:

- Прогнозувати перспективну потребу в паливно-енергетичних ресурсах
- Раціонально забезпечувати енергетичні потреби з урахуванням диверсифікації джерел
- Оптимізувати витрати на енергетичні ресурси

Комплексний підхід до управління енергетичними ресурсами створює передумови для підвищення економічної ефективності підприємства, забезпечуючи максимально раціональне використання наявного енергетичного потенціалу.

У контексті наведеної методології в таблиці 3.1 представлено детальний розподіл електричної енергії між структурними підрозділами студмістечка.

Таблиця 3.1. Таблиця для побудови мапи потоків електроенергії

№ п/п	Назва підрозділу	P_p , кВт	Q_p , квар	W , кВт·год	V , квар·год	W , %	V , %
1	Гуртожиток №4	247,1	70,9	1303841	374079	26,7	29,5
2	Гуртожиток №3	273	76,9	1440417,2	405518,6	29,5	32
3	Гуртожиток №2	203	46,4	1071080,8	244590,1	21,9	19,3
4	Гуртожиток №1	213,1	48,4	1124528,2	255247,6	23	20,2
Всього				4939867,2	1279435,3	100	100

В якості прикладу формування паливо-енергетичних балансів приведемо ПЕБ гуртожитку №4. В таблиці 3.2. приведено споживання енергоресурсів протягом року по гуртожитку № 4.

Таблиця 3.2. Річний баланс споживання ресурсів в гуртожитку №4

Енергоносії	Річне споживання	Гкал	% вкладу	Річні затрати, грн.	Доля річних затрат, %
Ел/енергія кВт·год.	490936,8	422,1	47,9	122734,2	47,4
Тепло, Гкал	468	468	53,1	129298,2	49,9
Вода, м ³	6232,3	-	-	43750,5	16,9
Всього		890,1	100	295782,9	100

3.2 Аналіз системи теплопостачання гуртожитків студмістечка

Студмістечко отримує тепловий ресурс через інтегровану міську систему централізованого теплозабезпечення, яка має складну багатокомпонентну структуру.

Ключові елементи системи теплопостачання включають:

1. Теплові магістралі:

Комунікаційна інфраструктура, що складається з трубопровідної системи, призначеної для транспортування теплоносія від генеруючої станції до кінцевих споживачів. Характеризується варіативністю прокладання - підземні або надземні траси, здатні забезпечувати ефективну теплопередачу на значні відстані з мінімальними втратами тепла.

2. Тепловий розподільчий пункт:

Центральна ланка системи, яка виконує функції:

- Диференційованого розподілу теплоносія між структуральними підрозділами
- Температурного та тискового регулювання
- Забезпечення оптимальних параметрів теплопостачання для систем опалення та гарячого водопостачання в будівлях

3. Споживачі теплової енергії:

Студентські гуртожитки, які є кінцевими точками споживання теплового ресурсу. Основні напрямки використання включають:

- Підтримання комфортної температури в приміщеннях
- Забезпечення гарячого водопостачання

У таблиці 3.3 представлені детальні результати розрахунку теплоспоживання для забезпечення життєдіяльності студентських гуртожитків.

Таблиця 3.3. Розрахункова теплова потужність студмістечка

№ п/п	Найменування підрозділу	Q_o^p , кВт	Q_B^p , кВт	$Q_{г.з.}^{max}$, кВт	Q_{Σ}
1	Гуртожиток №4	1812,6	224,1	153,4	2190
2	Гуртожиток №3	1741,5	215,3	176,8	2133,6
3	Гуртожиток №2	969	119,8	112	1200,7
4	Гуртожиток №1	1067,2	131,9	108,9	1308
Всього по студмістечку		5427,79	5482,1	5590,3	691,1

Забезпечення теплового комфорту для споживачів реалізується через два принципово різні підходи - централізовану та локальну системи тепlopостачання. Кожна з цих моделей має унікальні характеристики, переваги та обмеження.

Порівняльний аналіз даних систем дозволяє комплексно оцінити їхні характеристики за різними параметрами. Далі представлено детальне зіставлення централізованої та локальної систем тепlopостачання, що розкриває особливості кожного варіанту.

Основні критерії порівняння включають:

Капітальні та експлуатаційні витрати

Рівень технічної складності впровадження

Екологічні характеристики

Гнучкість та адаптивність системи

Надійність теплозабезпечення

Залежність від зовнішніх факторів

Комплексне дослідження дозволяє всебічно оцінити переваги та потенційні обмеження кожної з систем, що сприяє прийняттю оптимальних рішень у сфері теплозабезпечення.

Перелік переваг і недоліків централізованої та локальної системи тепlopостачання є інструментом для проведення глибокого порівняльного

аналізу, надаючи структуровану інформацію про ключові параметри централізованої та локальної систем теплопостачання.

Порівняльний аналіз централізованої та локальної систем теплопостачання:

За масштабом функціонування:

Централізована модель теплозабезпечення орієнтована на масштабне постачання теплової енергії для великих агломерацій, міських територій та розгалужених комплексів будівель.

На противагу цьому, локальні системи призначені для обслуговування обмежених територіальних одиниць - окремих будинків, невеликих комплексів або локальних мікрорайонів.

За технологічною ефективністю:

Централізована система характеризується виробництвом тепла на потужних центральних станціях, оптимізацією процесів енергоспоживання через централізований моніторинг, більш раціональним використанням паливно-енергетичних ресурсів.

Локальні системи забезпечують індивідуальний контроль над теплопостачанням, гнучкість вибору енергетичних джерел (газові котли, сонячні колектори, теплові насоси), персоніфіковану адаптацію під специфічні потреби споживача

За інфраструктурними особливостями:

Централізована система потребує створення складної мережі теплопроводів, будівництва теплових станцій та підстанцій, значних фінансових та трудових інвестицій, комплексного підходу до технічного обслуговування.

Локальна інфраструктура передбачає встановлення обладнання безпосередньо на місці споживання; монтаж котлів або теплових насосів; спрощену внутрішньобудинкову мережу розподілу, мінімізацію інфраструктурних витрат

За економічною складовою:

Централізоване теплопостачання має переваги у розподілі експлуатаційних витрат між багатьма споживачами, відносно нижча вартість теплової енергії, залежність від зовнішніх економічних факторів.

Локальні системи характеризуються потенційною економічною вигодою для окремих споживачів, можливістю використання дешевших альтернативних джерел енергії, потенційно вищими витратами при обмеженій кількості користувачів.

Вибір оптимальної системи теплозабезпечення є багатфакторним процесом, що враховує комплекс взаємопов'язаних параметрів. Для студмістечка перехід до локального теплопостачання набуває особливої актуальності через низку критичних факторів:

- Високий рівень зношеності наявних теплових мереж
- Відсутність належної теплоізоляції трубопровідної системи
- Систематичне недотримання централізованою системою температурних режимів теплоносія

За таких умов впровадження локальної системи теплопостачання розглядається як пріоритетний напрямок модернізації енергетичної інфраструктури студмістечка.

Для комплексної оцінки ефективності переходу на локальне теплозабезпечення передбачається детальне дослідження доцільності використання котельні, яка працюватиме на відновлюваних твердих видах палива.

3.3 Класифікація і технічні характеристики пелетних котлів

Котли, що застосовують як паливо пелети, класифікуються таким чином:

Обладнання, розроблене виключно для пелет. Це пристрої, які оптимізовані тільки для роботи з пелетами як енергоносієм.

Універсальні котли, придатні для різних видів палива. Вони можуть функціонувати на будь-якому типі твердого палива. Найчастіше, такі котли оснащені кількома камерами згоряння, які розраховані на кожен конкретний вид палива. Для підготовки приладу до роботи з традиційним паливом достатньо зняти пальник.

Комбіновані котли умовного типу. Як правило, ці котли працюють переважно на біогранулах, але також можуть використовувати дрова чи брикети як запасний варіант. Особливістю їх конструкції є унікальна топка, яка трансформується завдяки знімній колосниковій решітці.

Ключовими характеристиками пелетних пальників для котлів опалювальних згідно з ДСТУ EN 14785:2019 є такі показники: потужність пристрою, режими його функціонування, вид використовуваного палива, електроживлення, рівень витрати палива, об'єм бункера для палива, запас палива під час роботи на максимальній потужності, запас палива при мінімальній потужності, коефіцієнт корисної дії (ККД) пальника, а також габаритні розміри.

Пелетні пальники розроблені для автоматизованого спалювання пелет у котлах, що працюють на твердому паливі. Використання пелет без пальника є економічно невиправданим, оскільки під час звичайного спалювання гранул збільшується кількість недогорілих частинок. Це, у свою чергу, спричиняє підвищену витрату пелет, а також вимагає додаткової модернізації котла. Зокрема, потрібно встановлювати колосникові решітки з отворами меншого діаметра. Установка похилих колосникових решіток із такими отворами дозволяє більш ефективно спалювати пелети.

Пелетні котли є стаціонарними установками універсального способу монтажу. Основними елементами котлів для пелет є: корпус, топкова частина, пальник, теплообмінник, паливний бункер і димохід. Потужність таких котлів коливається в межах від 15–20 кВт до кількох мегават [35].

Камера згоряння цих котлів зазвичай має порівняно невеликі розміри,

оскільки більша частина тепла (приблизно 70%) передається через конвективну частину теплообмінника. За конструктивними особливостями температура відхідних газів становить близько 100–200 °С. Котел оснащується спеціалізованим гранульним пальником об'ємного типу, що дозволяє забезпечити значно вищий коефіцієнт корисної дії порівняно з іншими твердопаливними котлами. За ефективністю ці котли майже не поступаються тим, які працюють на природному газі. Середній термін служби пелетних котлів сягає 20 років або більше, що є їхньою важливою перевагою.

Пелетні котли відрізняються високим рівнем автоматизації. Вони дозволяють програмувати режими роботи та підтримувати встановлену температуру в автоматичному режимі. Подача палива з бункера здійснюється автоматично, що дозволяє котлу функціонувати без втручання людини, поки в бункері є пелети (до 7 діб або навіть більше) [35].

Потужність таких котлів, які використовуються для опалення становить до 500 кВт. Деякі моделі мають додатковий контур для гарячого водопостачання. Котли на пелетах майже не потребують спеціального обслуговування.

3.4 Розрахунок доцільності використання пелет в системі локального теплопостачання

Розглянемо практичний сценарій трансформації системи теплозабезпечення, що передбачає перехід від традиційної газової котельні до альтернативного джерела енергії на базі біомаси, зокрема деревних пелет.

Концептуальні переваги такої модернізації включають:

Диверсифікацію паливних ресурсів

Зниження залежності від викопних енергоносіїв

Потенційне зменшення експлуатаційних витрат

Підвищення екологічності енергетичної системи

Таблиця 3.4 надає деталізовану інформацію про річне теплоспоживання гуртожитків студмістечка, що слугує фундаментальною базою для проведення подальших техніко-економічних розрахунків.

Таблиця 3.4 Річне споживання теплової енергії студмістечком

Найменування	$V, \text{м}^3$	$t_{\text{вн}}$	$t_{\text{сер.о}}$	n_o	q_o $\frac{\text{кДж}}{\text{м}^3 \cdot \text{год} \cdot ^\circ\text{C}}$	$Q_{\text{рік розр,}}^{\text{рік}}$ ГДж	$Q_{\text{рік реал,}}^{\text{рік}}$ ГДж	$Q_{\text{рік норм,}}^{\text{рік}}$ ГДж
Гуртожиток №1	17513,4	18	-0,3	180	1,3	1796,9	1241	2101,6
Гуртожиток №2	15901,4	18	-0,3	180	1,3	1631,5	1126,9	1908,2
Гуртожиток №3	28584	18	-0,3	180	1,3	2932,7	2025,6	3430,1
Гуртожиток №4	29744,5	18	-0,3	180	1,3	3051,8	2107,8	3569,3

Процес переведення котельні студмістечка на альтернативне паливо - це складний і багатогранний інженерний проект, що вимагає глибокого техніко-економічного аналізу та всебічного підходу.

Сучасна котельня, яка наразі споживає 1 000 МВт природного газу щорічно, стоїть перед викликом технологічної трансформації. Основна мета такої модернізації - перехід на більш економічне та екологічне паливо, а саме деревні пелети.

Деревні пелети демонструють надзвичайно цікаві характеристики: їхня енергетична місткість становить 4,2 МВт на тонну, що робить їх конкурентоспроможною альтернативою традиційним енергоносіям.

Вартість такого палива є більш прийнятною порівняно з природним газом, що додатково посилює привабливість цього рішення.

Технологічна модернізація передбачає не просто заміну палива, а комплексну реконструкцію всієї системи теплопостачання. Необхідно встановити спеціалізований пелетний котел, обладнати системи автоматичного завантаження палива, передбачити ефективне очищення димових газів. Важливо також врахувати, що ефективність пелетного котла трохи нижча за газовий - 90% проти 95%, проте інші переваги нівелюють цю незначну різницю.

Фінансова складова проекту також заслуговує на особливу увагу. Якщо вартість природного газу становить близько 8 гривень за кубометр, то пелети коштують приблизно 1 500 гривень за тонну. Це робить альтернативне паливо не лише екологічно чистим, але й економічно вигідним рішенням. Важливо враховувати регіональні особливості, зокрема питому норму умовного палива для Кіровоградської області, яка становить 0,179 тонн умовного палива на гігакалорію теплової енергії. Це дозволить максимально точно спрогнозувати витрати та ефективність нової системи.

Переведемо 1779 ГДж = 421 Гкал 421 Гкал* 0,179 т.у.п/Гкал. = 75,4 т.у.п. Перерахунок умовного палива в натуральне визначається:

$$B_{\text{нат}} = B_{\text{ум}} \frac{Q_{\text{у.п}}}{Q} = 75400 \frac{7800}{4200} = 139900 \text{ кг.}$$

Для забезпечення 421 Гкал теплової енергії необхідно 139,9 тонн дерев'яних брикетів. Узагальнені результати розрахунків для інших гуртожитків подано у таблиці 3.4.

Згідно з актуальними закупівельними тарифами, вартість палива, враховуючи його транспортування, становить 4000 грн за 1 тонну.

Таким чином, витрати на дерев'яні брикети для опалення гуртожитка

№1 розраховуються наступним чином:

$$\text{Впелет} = 139,9 \text{ т} * 4000 \text{ грн/т} = 559600 \text{ грн.}$$

Таблиця 3.5. Річна потреба в дерев'яних пелетах

Назва підрозділу	$Q_{\text{розр}}^{\text{рік}}$ ГДж	$Q_{\text{розр}}^{\text{рік}}$ Гкал	$V_{\text{ум}}$, кг	$V_{\text{нат}}$, кг	$C_{\text{нат}}$, грн
Гуртожиток 1	1796,9	425,8	76228,7	141567,7	566269,6
Гуртожиток 2	1631,5	386,6	692131,8	128537,7	514149,6
Гуртожиток 3	2932,7	695,1	124414,8	231055,7	924222,7
Гуртожиток 4	3051,8	723,3	129465,8	240436,6	961746,2

Виходячи із вартості 1 Гкал теплової енергії в системі централізованого теплопостачання та ціни альтернативного палива, можна легко визначити економію коштів завдяки застосуванню дерев'яних пелет.

Таблиця 3.6. Розрахунок річної економії на енергоносіях.

Назва підрозділу	$Q_{\text{розр}}^{\text{рік}}$ Гкал	$C_{\text{енергоносій}}$, грн/Гкал	$V_{\text{нат}}$, кг	$C_{\text{енергоносій}}$, грн/т	$C_{\text{нат}}$, грн	$C_{\text{цтп}}$, грн
Гуртожиток 1	425,8	2211,9	141567,7	4040	566269,6	425,8
Гуртожиток 2	386,6	2211,9	128537,7	4040	514149,6	386,6
Гуртожиток 3	695,1	2211,9	231055,7	4040	924222,7	695,1
Гуртожиток 4	723,3	2211,9	240436,6	4040	961746,2	723,3
Всього					2966388,1	2230,8

Річна економія при переході від централізованого теплопостачання на локальну систему теплопостачання за рахунок вартості енергоносія становить:

$$\Delta E = \sum_{i=1}^4 \Pi_{\text{цпл},i} - \sum_{i=1}^4 \Pi_{\text{ввт},i} = 4837183 - 2937018 = 1900164 \text{ грн.}$$

3.5 Розрахунок витрати та продуктів згоряння пелет

Представимо теоретичний склад дерев'яних пелет рядом хімічних елементів, а також параметрами вологості і зольності:

$W_p = 0,0\%$; $A_p = 0,8\%$; $S_p = 0,03\%$; $C_p = 46\%$; $H_p = 5,27\%$; $N_p = 0,6\%$; $O_p = 37,3\%$;

Нижча теплота згоряння для дерев'яних пелет становить:

$Q = 20\text{-}25 \text{ МДж/кг.}$

Визначаємо розрахункову витрату палива, (г/с):

$$B^p = \frac{N \cdot Q_{BK}}{\eta_{ka} \cdot Q_H^p}, \quad (3.1)$$

$$B^p = \frac{1 \cdot 17,49}{0,809 \cdot 20,00} = 1,08.$$

де: Q_H^p - розрахункова теплота згоряння 1 кг для дерев'яних пелет, МДж/кг; N - кількість котлів, шт; η_{ka} - коефіцієнт корисної дії котла брутто (середній за даним типом котлів); Q_{BK} - розрахункова потреба в теплі, МВт.

Розрахунок викидів шкідливих речовин

Масову частку викидів летючої золи визначаємо за формулою, г/с:

$$M_{TB} = 0,012 \cdot B^p \cdot \alpha_{yh} \left(A^p + q_4 \frac{Q_H^p}{32,680} \right) \cdot (1 - \eta_3), \quad (3.2)$$

де α_{yh} - частка золи палива, що уноситься з відповідними газами; η_3 - частка твердих частинок в золі; q_4 - втрати теплоти, які викликані механічною неповнотою згоряння палива.

$$M_{TB} = 0,012 \cdot 1,08 \cdot 0,2 \left(0,8 + 0,5 \frac{20,00}{32,680} \right) \cdot (1 - 0,8) = 0,00043,$$

Визначаємо кількість оксидів сірки в перерахунку на SO₂, г/с:

$$M_{SO_2} = 0,02 \cdot Bp \cdot S^P (1 - \eta'_{SO_2}) \cdot (1 - \eta''_{SO_2}), \quad (3.3)$$

де η'_{SO_2} — частка оксидів сірки в газовому тракті котла; η''_{SO_2} — частка оксидів сірки в золоуловлювачі.

$$M_{SO_2} = 0,02 \cdot 1,08 \cdot 0,03 (1 - 0,15) \cdot (1 - 0) = 0,00055$$

Кількість оксидів азоту, що потрапляють в атмосферу у складі димових газів котелень, г/с:

$$M_{NO_2} = 0,34 \cdot 10^{-7} \cdot K \cdot B^P \cdot Q_H^P \cdot \left(1 - \frac{q_4}{100} \right) \cdot (1 - \varepsilon_1 \cdot r) \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 \cdot \varepsilon_2, \quad (3.4)$$

де K — кількість утворених оксидів азоту при генерації 1 ГДж тепла, виражена у кг/ГДж, яка залежить від типу використовуваного палива та номінальної потужності котельного обладнання, ε_1 — коефіцієнт, що відображає ефективність рециркуляції газів відповідно до способу їх подачі у топкову камеру, %; ε_2 — коефіцієнт, який характеризує ступінь зменшення викидів оксидів азоту, %; r — рівень рециркуляції газоподібних відходів, %; β_1 — коефіцієнт, що враховує вплив на формування оксидів азоту, %; β_2 — коефіцієнт, який враховує особливості конструкції пальників, %; β_3 — коефіцієнт, що характеризує спосіб організації шлаковидалення, %.

$$M_{NO_2} = 0,34 \cdot 10^{-7} \cdot 0,919 \cdot 1,08 \cdot 20,00 \left(1 - \frac{0,5}{100} \right) \cdot (1 - 0,01 \cdot 30) \cdot 0,46 \cdot 0,85 \\ \cdot 1 \cdot 0,99 = 1,82 \cdot 10^{-7},$$

Висновки до розділу 3

У ході виконання роботи було проведено комплексне дослідження, спрямоване на аналіз енергетичної ефективності модернізації системи теплопостачання студмістечка. Отримані результати дозволяють зробити наступні висновки:

Аналіз енергетичних балансів показав, що існуюча система теплопостачання характеризується значними тепловими втратами та низькою ефективністю. Це обумовлено застарілим обладнанням та недостатньою ізоляцією тепломереж, що вимагає впровадження сучасних технологічних рішень.

Проведений аналіз системи теплопостачання гуртожитків студмістечка підтвердив, що локалізація джерел теплопостачання, таких як використання пелетних котлів, є доцільною та перспективною альтернативою централізованим системам. Це дозволяє знизити залежність від зовнішніх енергетичних постачальників і підвищити гнучкість у регулюванні теплопостачання.

Вивчено класифікацію та технічні характеристики пелетних котлів, які можуть бути використані для модернізації системи. Було визначено, що ці котли характеризуються високим ККД, екологічною безпекою та можливістю роботи на відновлюваному паливі, що забезпечує зниження викидів парникових газів.

Виконаний розрахунок доцільності використання пелет у системі локального теплопостачання показав економічну ефективність впровадження пелетних котлів. За рахунок використання пелет, які мають високу теплотворну здатність та доступність на ринку, досягається зменшення витрат на паливо в порівнянні з традиційними енергоносіями.

Проведено розрахунок витрати та продуктів згоряння пелет, який підтвердив, що застосування такого палива дозволяє знизити екологічне навантаження на довкілля. Завдяки низькому вмісту сірки та золи у пелетах, зменшуються обсяги шкідливих викидів у атмосферу.

РОЗДІЛ 4

4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ЛОКАЛЬНОЇ КОТЕЛЬНІ

Впровадження локальної котельні є одним із найбільш ефективних способів оптимізації систем теплопостачання в умовах підвищення тарифів на централізоване опалення та зростання енергоефективності будівель. У даному розділі розглядається техніко-економічне обґрунтування доцільності впровадження локальної котельні із використанням сучасного твердопаливного обладнання.

Існуюча система централізованого теплопостачання характеризується значними тепловими втратами, що сягають до 25–30% через неефективність тепломереж та застаріле обладнання. Крім того, тарифи на тепло зростають щорічно, що підвищує загальну вартість опалення для споживачів.

Для забезпечення ефективності роботи локальної котельні пропонується встановлення твердопаливного котла на пелетах із високим коефіцієнтом корисної дії (ККД).

Основні параметри вибраного котла:

Витрати на встановлення локальної котельні:

Котельне обладнання – 1700 тис. грн.

Монтаж і пусконаладжувальні роботи – 150 тис. грн.

Додаткове обладнання та інфраструктура – 100 тис. грн.

Загальні витрати – 1950 тис. грн.

Річні витрати на паливо:

Для забезпечення теплової енергії у розмірі 400 Гкал на рік необхідно 120 т пелет. Вартість 1 т пелет – 4000 грн.

Річні витрати на паливо:

$120 \times 4000 = 480$ тис. грн.

В порівнянні з централізованим теплопостачанням, де середня вартість 1 Гкал тепла у централізованій системі: 6000 грн.

Річні витрати на тепло від централізованого постачання: $400 \times 6000 = 2400$ тис. грн.

Річна економія коштів за рахунок переходу на локальну котельню становить: $2400 \text{ тис. грн} - 480 \text{ тис. грн} = 1920 \text{ тис. грн}$.

Термін окупності впровадження локальної котельні: $1950 \text{ тис. грн} \div 1920 \text{ тис. грн} \approx 1,1$ рік.

Перехід на пелети дозволяє зменшити викиди CO_2 , оскільки дерев'яні пелети вважаються вуглецево-нейтральним паливом. Крім того, спалювання пелет утворює менше твердих частинок та інших шкідливих викидів, ніж вугілля чи мазут. Впровадження локальної котельні сприятиме покращенню екологічного стану прилеглої території.

4.1 Розрахунок витрат на паливо-енергетичні ресурси

Витрати на паливо (ВП) визначаються за такою формулою:

$$S_{\text{п}} = B_{\text{річ}}^{\text{п}} \cdot \left(1 + \frac{\alpha_{\text{в}}}{100}\right) \cdot C_{\text{п}}$$

де: $B_{\text{річ}}^{\text{п}}$ — річні витрати на паливо (грн/рік), $\alpha_{\text{в}} = 0,5$ — втрати палива палива (%), $C_{\text{п}}$ — договірна ціна палива (грн/т), яка включає ціну палива у постачальника, вартість транспортних витрат, посередницькі послуги та інші додаткові витрати.

Річна витрата натурального палива на котельні, т/ГДж:

$$B_{\text{річ}}^{\text{п}} = B_{\text{річ}}^{\text{у}} \cdot \frac{1}{E}$$

де E - енергетичний еквівалент дерев'яних пелет

$$E = \frac{22,84}{29,3} = 0,78$$

Річна витрата палива:

$$B_{\text{річ}}^y = \frac{Q_{\text{річ}}}{Q_y \cdot \eta}$$

Річна витрата теплоти:

$$Q^{\text{річ}} = Q_o^{\text{річ}} + Q_b^{\text{річ}} + Q_{\text{гвп}}^{\text{річ}}$$

Річна витрата теплоти на опалення житлових та громадських будівель визначається:

$$Q_o^{\text{річ}} = n_{\text{оп}} \cdot Q_o^{\text{сп}} \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 10^{-3}$$

де $n_{\text{оп}}$ - тривалість опалювального періоду, Q_o – сумарне середнє споживання теплоти на опалення, МВт.

$$Q_o^{\text{річ}} = 201 \cdot 14,195 \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 10^{-3} = 9320 \text{ ГДж}$$

Річна витрата теплоти на вентиляцію в житлових та громадських будинках:

$$Q_b^{\text{річ}} = n_b \cdot Q_b^{\text{сп}} \cdot 3600 \cdot z \cdot 10^{-3}$$

$$Q_b^{\text{річ}} = 201 \cdot 0,433 \cdot 3600 \cdot 16 \cdot 10^{-3} = 550 \text{ ГДж}$$

Річна витрата теплоти на гаряче водопостачання

$$Q_{\text{гвп}}^{\text{річ}} = 86,4 \cdot [Q_{\text{гвп}}^{\text{сп}} \cdot n_{\text{оп}} + Q_{\text{гвп}}^{\text{сп}} \cdot (n_y - n_{\text{оп}})]$$

$$Q_{\text{гвп}}^{\text{річ}} = 86,4 \cdot [0,9 \cdot 201 + 0,37 \cdot (350 - 201)] = 2024 \text{ ГДж}$$

Сумарне річне споживання теплоти:

$$Q^{\text{річ}} = 9320 + 550 + 2024 = 11894 \text{ ГДж}$$

Річне вироблення теплоти котельнею:

$$Q_{\text{с}}^{\text{р}} = \frac{11894}{0,9} = 13215 \text{ ГДж/рік}$$

Число годин використання встановленої потужності котельні на рік:

$$h_{\text{с}} = \frac{Q_{\text{с}}^{\text{р}}}{3600 \cdot 0,15} = \frac{13215}{3600 \cdot 0,15} = 24,5 \text{ год/рік}$$

$$B_{\text{р}} = \frac{Q_{\text{с}}^{\text{р}}}{Q_{\text{с}} \cdot \eta} = \frac{13215}{0,166 \cdot 0,9} = 88457 \text{ т/рік}$$

$$B_{\text{р}}^{\text{р}} = B_{\text{р}} \frac{1}{E} = 88457 \frac{1}{0,78} = 117938 \text{ т/рік}$$

Таким чином, витрати на пальне становлять:

$$S_{\text{н}} = 117938 \cdot \left(\frac{0,5}{100} \right) \cdot 4000 = 235876 \text{ грн}$$

Оплата за викиди шкідливих речовин у атмосферу в обсягах, які не перевищують встановлені нормативи, розраховується окремо для кожної речовини шляхом перемноження нормативів оплати за 1 тону шкідливих

речовин на фактичну масу викидів:

$$\Pi_{ат} = \sum_{i=1}^n P_{ан_i} \cdot M_{ai}, \text{ при } M_{ai} \leq ГДН_i$$

де $P_{ан}$ – ставка оплати за 1 тонну шкідливих викидів, що викидаються стаціонарними джерелами без перевищення допустимих рівнів, грн/т, M_{ai} – реальний обсяг викидів i -тої речовини, т/рік.

Оплата за забруднення природного середовища у межах затверджених лімітів ($\Pi_{ат}$) обчислюється шляхом перемноження відповідних ставок за 1 тонну на різницю між встановленими лімітами та максимально допустимими викидами забруднюючих речовин.

$$\Pi_{ал} = \sum_{i=1}^n P_{ан_i} \cdot (M_{ai} - M_{али}), \text{ при } ГДН < M_{ai} < ВЗР$$

де – ставка оплати за 1 тонну викидів у повітря від стаціонарних джерел у межах передбачених нормативів, грн., M_{ai} – кількість викидів i -тої забруднюючої речовини в допустимих межах, т/год.

Оплату за надлімітні викиди забруднюючих компонентів розраховуємо через множення встановленої ставки оплати на різницю між фактичною масою викидів та встановленим лімітом:

$$\Pi_{ас} = \sum_{i=1}^n P_{ас_i} \cdot (M_{ai} - M_{асi}), \text{ при } M_{ai} < ВЗР$$

де $P_{ас}$ – ставка оплати за 1 тонну забруднень, що викидаються стаціонарними джерелами понад передбачені нормативи, грн./т.

У розрахунках застосовані наступні значення коефіцієнтів:

k_1 – коефіцієнт, який враховує стан атмосферного повітря в межах міста Кропивницького, $k_1 = 1,7$; k_2 – додатковий коефіцієнт для забруднень повітря в умовах міста, $k_2 = 1,2$; k_{i_i} – коефіцієнт індексації, що враховує рівень інфляції в 2024 році, $k_i = 1,1$.

Розрахунок оплати за викиди летючої золи:

$$П_{ан} = 1,7 \cdot 1,2 \cdot 1,1 \cdot 17 = 38,15 \text{ грн}$$

Розрахунок оплати за викиди SO₂:

$$П_{ан} = 1,7 \cdot 1,2 \cdot 1,1 \cdot 21,3 = 47,8 \text{ грн}$$

Розрахунок оплати за викиди NO₂:

$$П_{ан} = 1,7 \cdot 1,2 \cdot 1,1 \cdot 8,25 \cdot 0,03 = 0,56 \text{ грн}$$

4.2 Розрахунок витрат екологічних збитків

Запобігання шкоді природному середовищу від забруднення атмосфери — це визначення у грошовому еквіваленті потенційних негативних наслідків, що вдалося запобігти завдяки реалізації природоохоронних заходів і програм. Такі заходи спрямовані на збереження чи покращення основних характеристик, що впливають на якість екологічного середовища.

$$Y_{\text{атм}} = Y_{\text{пит. (атм)}} \cdot \sum M_{\text{нав.}} \cdot K_{\text{ек.а}}$$

де $Y_{\text{пит. (атм)}}$ — оцінка економічної величини питомої шкоди від викидів шкідливих речовин у атмосферу для територій міста Кропивницького, грн/умовну одиницю; $M_{\text{нав.М}}$ — загальна маса викидів шкідливих речовин на початковий і кінцевий моменти розрахункового періоду у цьому регіоні,

у.п.; $K_{ек.а}$ — коефіцієнт, що враховує екологічну ситуацію та значущість стану атмосферного повітря для Кропивницького.

Зведена маса забруднюючих речовин обчислюється за формулою:

$$M_{нав} = m_i \cdot K_{ei(атм)},$$

де m_i — маса викиду i -тої шкідливої речовини чи групи речовин з однаковим коефіцієнтом відносної екологічної небезпеки, т/рік; $K_{ei(атм.)}$ — коефіцієнт, який відображає відносну еколого-економічну небезпеку i -тої шкідливої речовини або групи речовин.

Розрахунок запобігання екологічним збиткам від викидів забруднюючих речовин в атмосферу здійснюється за формулою:

$$\sum_{i=1}^n M_{ан} = 2,7 \cdot 17 + 20 \cdot 21,3 + 8,25 \cdot 0,03 = 472,1 \text{ т/рік}$$

Оцінка економічної величини питомої шкоди від викидів шкідливих речовин у атмосферу визначається:

$$Y_{атм} = 42,1 \cdot 472,1 \cdot 1,7 = 33788,19 \text{ грн/рік}$$

Таблиця 4.1 - Економічний розрахунок передбачуваної реконструкції

Параметр	ЦТП	Пелети	Різниця,
Вартість паливо енергетичних ресурсів, млн. грн/рік	7,25	7,55	Збільшення на 0,25
Начислення за викиди, тис. грн/рік	8,8	8,6	Зниження на 0,2
Плата за електричну енергії на власні потреби, млн. грн/рік	1,69	1,35	Зниження на 0,34
Зниження екологічного збитку, млн. грн/рік	-	0,04	Зниження на 0,04

Висновки до розділу 4

У результаті проведеного техніко-економічного аналізу впровадження локальної котельні з використанням пелет замість вугілля отримані наступні висновки:

При переході на пелети, витрати на паливо збільшуються на 1,2 млн грн/рік, що обумовлено вищою вартістю пелет у порівнянні з вугіллям.

Використання пелет дозволяє знизити плату за викиди забруднюючих речовин на 0,001 млн грн/рік (або 1,36%), що свідчить про більш екологічну природу цього виду палива.

Завдяки зменшенню енергоспоживання локальної котельні на пелетах, плата за електроенергію знижується на 1,36 млн грн/рік, що демонструє ефективність роботи обладнання.

Перехід на пелети сприяє зниженню екологічного збитку на 0,23 млн грн/рік, що пов'язано зі скороченням викидів забруднюючих речовин у атмосферу та покращенням екологічного стану навколишнього середовища.

Таким чином, впровадження локальної котельні на пелетах, попри деяке збільшення витрат на паливо, забезпечує зменшення плати за електроенергію та викиди, а також має суттєві екологічні переваги, що підтверджує економічну та екологічну доцільність даного проекту.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі представлено вирішення наукових завдань щодо підвищення енергетичної ефективності системи теплопостачання студмістечка Центральноукраїнського національного технічного університету. Результати досліджень призвели до наступних основних висновків.

1. Модернізація систем теплопостачання з метою покращення енергетичної ефективності залишається важливим завданням у сфері енергетики держави.

2. Складнощі реконструкції систем теплопостачання виникають через те, що у рамках реформи електроенергетики відсутня чітка позиція щодо подальшого функціонування ТЕЦ, а в концепції реформування ЖКГ майже не враховуються критерії надійності, якості, ефективності та доступності теплопостачальних систем.

3. Існує велика кількість методів, завдяки яким можна досягти підвищення енергетичної ефективності сектору, але їх слід своєчасно адаптувати із застосуванням інноваційних рішень та сучасного обладнання.

4. Аналіз екологічної ситуації території, прилеглої до котельні, підкреслює важливість переведення котельного обладнання на альтернативне та екологічно безпечне паливо.

5. У дослідженні розроблено технологічний підхід до переведення котельні на альтернативне та екологічно безпечне паливо, який може бути використаний для оцінки та обґрунтування реконструкції котелень у різних регіонах країни.

6. Переведення котельного обладнання з твердого або газового палива на місцеві види палива має численні переваги: від легкості реалізації необхідних заходів з модернізації котла до підвищення економічної та екологічної вигоди від використання такого рішення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Оптимізація режимів електричних мереж з відновлюваними джерелами електроенергії : монографія / П. Д. Лежнюк, О. Є. Рубаненко, І. О. Гунько – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 164 с.
2. Калінчик В. П. Планування енергозабезпечення регіонів України на основі відновлюваних джерел енергії / В. П. Калінчик, М. Т. Кокоріна // Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського / Наук. журнал. - Кременчук .: КрНУ імені Михайла Остроградського, 2013. - №3 (80). - С. 60-65.
3. Місце біоенергетики в проекті оновленої Енергетичної стратегії України до 2035 року : аналітична записка БАУ. URL: www.uabio.org/activity/uabio-analytics.
4. Дорожня карта розвитку біоенергетики України до 2050 року: аналітична записка БАУ. 2020. № 26. URL: www.uabio.org/activity/uabio-analytics.
5. Гелетуша Г. Г., Железная Т. А. Обзор современных технологий сжигания древесины с целью выработки тепла и электроэнергии. Часть 1. Экотехнологии и ресурсосбережение. 1999. № 5. С. 3–12. URL: <http://biomass.kiev.ua/images/library/articles/wood1.pdf>
6. ДСТУ – Н Б В.1.1 – 27:2010 Будівельна кліматологія.
7. ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель.
8. ДСТУ 2326-93 Котли опалювальні водогрійні теплопродуктивністю до 100 кВт. Загальні технічні умови.
9. Шевцов А.І., Бараннік В.О., Земляний М.Г., Рязова Т.В. Стан та перспективи реформування системи теплозабезпечення в Україні. Аналітична доповідь. Дніпропетровськ: Регіональний філіал Національного інституту стратегічних досліджень, 2010. 66 с.

10. Купчак В.Р., Павлова О.М., Павлов К.В., Лагодієнко В.В. Формування та регулювання регіональних енергетичних систем: теорія, методологія та практика : монографія. Луцьк: СПД Гадяк Жанна Володимирівна, друкарня

«Волиньполіграф», 2019. 346 с.

11. Виробництво теплової енергії із біомаси. Аналіз законодавства, регуляторних аспектів і податкової політики та рекомендації щодо необхідних змін у чинному законодавстві. Звіт, підготовлений ВБО «Інститут місцевого розвитку» у рамках виконання Проекту «Місцеві альтернативні джерела енергії: м. Миргород». Київ, 2014. 100 с.

12. Коляденко С.В., Коляденко Д.Л. Проблеми та перспективи розвитку ринку біопалива в Україні та світі. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків : зб. наук. праць*. Ін-т біоенергет. культур і цукр. буряків, Нац. акад. аграр. наук України. Київ: ФОП Корзун Д.Ю., 2013. Вип. 19. С. 195-198.

13. Гаврикова А.О. Экономическая оценка интеграции бытового потребителя в статусе партнера-регулятора в энергетическую систему региона. Сборник научных трудов. Экономика промышленности. 2013. № 13. С. 111- 115.

14. Хиля Б.О., Ружинська Л.І. Обладнання для виготовлення біопалива з надлишкового активного мулу. Біотехнологія XXI століття: матеріали Всеукр. наук.-практ. конф., 19 квіт. 2019 р. Київ: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2019. С.159.

15. Калетнік Г.М., Пришляк В. М. Біопаливо: ефективність його виробництва та споживання в АПК України : навч. посіб. Київ : «Хай-Тек Прес», 2010. 312 с.

16. Солдатов В. А. Конструктивные решения по замене мазута, угля, газа на древесные отходы в котлоагрегатах типа ДКВР, КЕ, КВ-ГМ и других. *Новости теплоснабжения*, 2001. №3. С. 26-34.

17. Тверде паливо та його класифікація. [Електронний ресурс] <https://bio.ukr.bio/ua/articles/5568/> (Дата звернення: 01.12.2023).
18. Частухин В.И., Частухин В.В. Топливо и теория горения: Киев: Вища школа, 1989. 223 с.
- 16 Єпіфанов, О. А. Тепловий розрахунок реконструкції парового котла : метод. вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни «Топки та котельні установки, ядерні реактори та парогенератори» для студентів спеціальності 144 «Теплоенергетика» / О. А. Єпіфанов, Б. В. Димо, П. А. Пацурковський. Миколаїв : НУК, 2022. 76 с.
17. ДБН В.2.5-64:2012 Внутрішній водопровід та каналізація. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво.
18. СОУ-Н ЕЕ 25.302:2007 Котли парові та водогрійні, турбіни, трубопроводи пари і гарячої води з тиском до 4 МПа.
19. ДСТУ EN 14588:2013 Біопаливо тверде. Терміни та визначення понять (EN 14588:2010, IDT).
19. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Захист від небезпечних геологічних процесів, шкідливих експлуатаційних впливів, від пожежі. Будівельна кліматологія. К.: НДІБК, 2011. 127 с.

ДОДАТКИ

ОХОРОНА ПРАЦІ

А1. Аналіз небезпечних та шкідливих факторів на підприємстві та заходи по їх усуненню

Сонячних фотоелектричні установки не належать до пристроїв підвищеної небезпеки для життєдіяльності людини. Для енергетичних об'єктів, що використовуються як промислові пред'являються вимоги підвищеної небезпеки. Наведемо причини травматизму, що характерні при експлуатації сонячних електростанцій.

Небезпечна дія електричного струму спостерігається :

- при випадковому дотику до струмопровідних частин електрообладнання;
- поява напруги на металевих частинах електроустаткування через пошкодження ізоляції;
- поява напруги струмопровідних елементах через помилкове включення;
- виникнення крокової напруги через замикання проводу на землю.

Основними заходами захисту від ураження електричним струмом є:

- недоступність струмопровідних елементів для випадкового дотику;
- трансформаторний поділ мережі;
- використання захисних систем або малих напруг;
- використання огорож та подвійної ізоляції;
- контроль стану ізоляції;
- компенсація ємнісних струмів;

- використання електрозахисних засобів;
- дотримання вимог техніки безпеки.

Одним із заходів, що забезпечують безпеку робіт в електроустановках є захисне заземлення.

Захисне заземлення це навмисне електричне з'єднання з для усунення небезпеки ураження струмом у випадку дотику до елементів електроустановки.

Заземлення блискавкозахисту служить для захисту обладнання та використовується для створення шляху стікання струмів блискавки в землю.

Фахівці служб охорони праці контролюють безпечну експлуатацію електроустановок. Оперативне обслуговування електрообладнання здійснюється найманими чи власними оперативно-ремонтними працівниками. Оперативне обслуговування можуть здійснювати працівники, вимоги до кваліфікації та робіт оперативного персоналу зазначаються у внутрішніх інструкціях. Оперативне обслуговування електроустановок виконують працівники, які посадові і експлуатаційні інструкції, інструкції НПАОП та пройшли навчання перевірку знань з охорони праці та безпечної експлуатації електрообладнання.

А.2. Розрахунок блискавкозахисту для будівлі

Розрахунок блискавозахисту визначає тип захисту. За типом блискавозахист може бути однострижневим, багатострижневим та тросовий.

Для розрахунку обраного об'єкта перерахуємо вихідні данні:

$h = 25$ м, $h_x = 6$ м, $B = 100$ м, $n = 2$, тип блискавкозахист однострижневий.

где h – повна висота стрижневого блискавкозахисту, м;

h_x – висота споруди, що підлягає захисту, м;

B – ширина об'єкта ;

n – питома щільність блискавки, 1 / (км/год).

Визначаємо параметри блискавкозахисту:

$$h_0 = 0,85h = 0,85 \cdot 25 = 21,25 \text{ м} \quad (\text{A.2.1})$$

$$r_0 = (1,1 - 2 \cdot 10^{-3} \cdot h) \cdot h = (1,1 - 2 \cdot 10^{-3} \cdot 25) \cdot 25 = 26,25 \text{ м} \quad (\text{A.2.2})$$

$$r_x = (1,1 - 2 \cdot 10^{-3} \cdot h)(h - 1,2 \cdot h_x) = (1,1 - 2 \cdot 10^{-3} \cdot 25) \cdot (25 - 1,2 \cdot 6) = 18,7 \text{ м} \quad (\text{A.2.3})$$

$$h_m = h - h_0 = 25 - 21,25 = 3,75 \text{ м} \quad (\text{A.2.4})$$

$$h_a = h - h_x = 25 - 6 = 19 \text{ м} \quad (\text{A.2.5})$$

$$\alpha = \arctg \frac{r_0}{h_0} = \arctg \frac{26,25}{21,25} = 51^\circ \quad (\text{A.2.6})$$

Визначаємо габаритні розміри обраного об'єкта, для якого виконується розробка блискавкозахисту:

$$\varphi = \arcsin \frac{B}{2r_x} = \arcsin \frac{100}{2 \cdot 18,7} = 69^\circ, \cos \varphi = \cos(69^\circ) = 0,35 \quad (\text{A.2.7})$$

$$A = 2r_x \cos \varphi = 2 \cdot 18,7 \cdot 0,35 = 13,09 \text{ м} \quad (\text{A.2.8})$$

$$A \times B \times H = 13,09 \times 100 \times 6$$

Визначаємо максимальне число уражень блискавкою за відсутності системи блискавкозахисту:

$$\begin{aligned} N &= \left[(B + 6h_x)(A + 6h) - 7,7h_x^2 \right] n \cdot 10^{-6} = \\ &= \left[(100 + 6 \cdot 6)(13,9 + 6 \cdot 6) - 7,7 \cdot 6^2 \right] \cdot 2 \cdot 10^{-6} = 3,81 \cdot 10^{-3}, \end{aligned} \quad (\text{A.2.9})$$

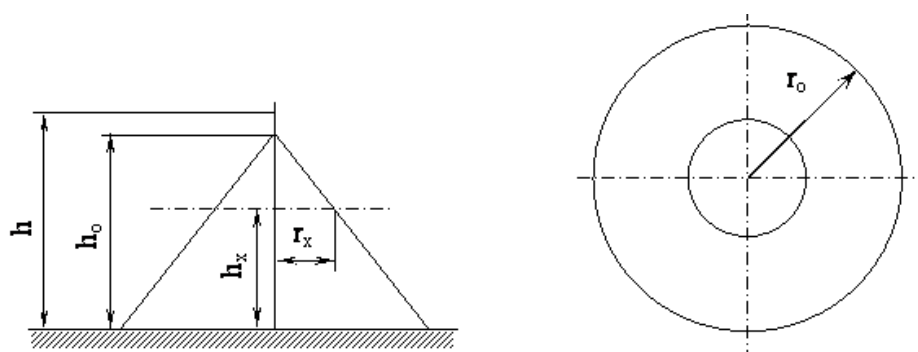


Рис. А.1 Зона захисту одиночним стрижневим блискавководом