

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА ДО ВИПУСКНОЇ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

зі спеціальності
141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

за освітньо-професійною програмою
«Електромеханічне обладнання енергосмних виробництв»

ТЕМА РОБОТИ:

ДОСЛІДЖЕННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ
ЖИВЛЕННЯ ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ В ЖИТЛОВО-
КОМУНАЛЬНОМУ ГОСПОДАРСТВІ

Виконав: магістр групи ЗЕМО-24м _____ Олена ПІЦИК

Керівник випускної роботи _____ Олександр ІЛЬЧЕНКО

Завідувач кафедри _____ Станіслав ТОЛМАЧОВ

Кривий Ріг
2025 р.

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: електротехнічний

Кафедра: електромеханіки

Освітньо-професійна програма другого
(магістерського) рівня вищої освіти: «магістр»

Спеціальність: 141 «Електроенергетика,
електромеханіка та електромеханіка»
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми

_____ д-р-тех.наук,проф.

Станіслав Толмачов

« 1 » вересня 2025 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Піцик Олени Олександрівни

(прізвищі ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Дослідження альтернативних джерел живлення для застосування в житлово –
комунальному господарстві

керівник роботи Олександр Ільченко

затверджена наказом по КНУ від « 07 » липня 2025р. № 480с

2. Строк подання студентом проекту (роботи) « 29 » листопада 2025 р.

3. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: Дослідження та аналіз можливостей і перспектив
застосування альтернативних джерел живлення у системах ЖКГ України, з урахуванням
нормативно–правового середовища, техніко–організаційних аспектів, а також переваг і бар'єрів
такого впровадження

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): проблеми енергозабез-
печення у сфері житлово–комунального господарства Поняття та класифікація альтернативних
джерел енергії Переваги використання альтернативних джерел енергії у житлово–комунальному
господарстві Порівняння традиційних та альтернативних джерел енергії в житлово–комунальному
господарстві Технічні передумови розвитку альтернативних джерел енергії у житлово–
комунальному господарстві України Економічні та технічні можливості впровадження
альтернативних джерел енергії у сфері ЖКГ України Сучасний стан впровадження
альтернативних джерел енергії у житлово–комунальному господарстві України станом на 2025 рік
Проект впровадження сонячних колекторів для системи гарячого водопостачання в ОСББ м.
Львова: техніко–економічне обґрунтування та модель інтеграції у ЖКГ Запропонована модель
біогазової когенераційної установки для очисних споруд міста: технічний, економічний та
екологічний потенціал для ЖКГ Порівняльний аналіз трьох запропонованих моделей
Висновки по розділу.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

11 слайдів

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Олександр Ільченко канд. техн. наук, доц.	01.09.2025_____	29.11.2025_____
2	Олександр Ільченко канд. техн. наук, доц.	01.09.2025_____	29.11.2025_____

7. Календарний план:

№	Етапи роботи	Термін виконання	Примітка
1	Розділ 1 Теоретичні основи розвитку альтернативних джерел живлення у житлово-комунальному господарстві	01.09.25 – 01.11.25	Виконав
2	Розділ 2 Передумови, можливості та сучасний стан впровадження альтернативних джерел живлення у житлово-комунальному господарстві України	02.11.25 – 15.11.25	Виконав
3	Розділ 3 Комплексне впровадження відновлювальних джерел енергії в системі житлово-комунального господарства України	16.11.25 – 25.11.25	Виконав
4	Оформлення пояснювальної записки та презентації	25.11.25– 29.11.25	Виконав

Дата видачі завдання: «01» вересня 2025 р.

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Піцик О.О.
(П.І.Б)

Керівник роботи _____
(підпис)

Ільченко О.В.
(П.І.Б)

РЕФЕРАТ

73 стор., 12 табл., 17 літ.джерел

Об'єктом дослідження виступає система енергозабезпечення житлово–комунального господарства України.

Метою кваліфікаційної магістерської роботи є аналіз можливостей і перспектив застосування альтернативних джерел живлення у системах ЖКГ України, з урахуванням нормативно–правового середовища, техніко–організаційних аспектів, а також переваг і бар'єрів такого впровадження.

Наукова новизна кваліфікаційної магістерської роботи полягає в тому, що здійснено комплексний огляд нормативно–правового середовища, теоретичних засад і практичних можливостей застосування альтернативних джерел живлення саме у секторі ЖКГ України, без акценту на складні техніко–розрахункові моделі, що дозволяє підготувати загальні рекомендації для управлінців та практиків. Практичне значення роботи полягає у формуванні рекомендацій для органів місцевого самоврядування, підприємств ЖКГ та об'єднань співвласників багатоквартирних будинків (ОСББ) щодо покращення енергетичної ситуації через використання відновлюваних джерел.

Галузь застосування - органи місцевого самоврядування, підприємств ЖКГ та об'єднань співвласників багатоквартирних будинків (ОСББ)

Отримані результати: досліджений комплексний аналіз сучасного стану та перспектив впровадження відновлюваних джерел енергії у житлово–комунальному господарстві України дає змогу стверджувати, що альтернативні технології не лише відповідають актуальним викликам галузі, але й здатні забезпечити системні економічні, екологічні та енергетичні переваги для міст і територіальних громад.

ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ, ВІДНОВЛЮВАЛЬНІ ДЖЕРЕЛА ЖИВЛЕННЯ, СОНЯЧНІ КОЛЕКТОРИ, БІОЕНЕРГЕТИКА

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.Р			
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	РЕФЕРАТ			
Розроб.		Піцик О.						
Провер.		Ільченко О.В.						
Н. Контр.		Титюк В.К.						
Затверд.		Толмачев С.Т			ЕМ гр.ЗЕМО-24м			

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОЗВИТКУ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ У ЖИТЛОВО–КОМУНАЛЬНОМУ ГОСПОДАРСТВІ.....	10
1.1. Проблеми енергозабезпечення у сфері житлово–комунального господарства.....	10
1.2. Поняття та класифікація альтернативних джерел енергії.....	11
1.3. Переваги використання альтернативних джерел енергії у житлово– комунальному господарстві.....	12
1.4. Порівняння традиційних та альтернативних джерел енергії в житлово– комунальному господарстві.....	14
РОЗДІЛ 2 ПЕРЕДУМОВИ, МОЖЛИВОСТІ ТА СУЧАСНИЙ СТАН ВПРОВАДЖЕННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ У ЖИТЛОВО– КОМУНАЛЬНОМУ ГОСПОДАРСТВІ УКРАЇНИ.....	16
2.1. Технічні передумови розвитку альтернативних джерел енергії у житлово– комунальному господарстві України.....	16
2.2. Економічні та технічні можливості впровадження альтернативних джерел енергії у сфері ЖКГ України.....	17
2.3. Сучасний стан впровадження альтернативних джерел енергії у житлово– комунальному господарстві України станом на 2025 рік.....	19
2.3.1. Біоенергетика в муніципальному теплопостачанні: від одиничних котелень до міських «зелених кластерів».....	20
2.3.2. Сонячні системи в закладах освіти та критичній інфраструктурі.....	21
2.3.3. Сонячні електростанції в системах критичної інфраструктури ЖКГ: приклад м. Чортків.....	22

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.3						
					ЗМІСТ						
Вим.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Піцик О			ЕМ гр. ЗЕМО-24м			Літ.	Аркуш	Аркушів	
Перевір.		Ільченко О.В.									
Реценз.											
Н. Контр.		Титюк В.К.									
Затверд.		Толмачов С.Т.									

2.3.4. Комплексне використання методів ВДЕ та аналітичні висновки щодо сучасного стану впровадження ВДЕ у ЖКГ України.....23

РОЗДІЛ 3 «КОМПЛЕКСНЕ ВПРОВАДЖЕННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ
ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМІ ЖИТЛОВО–КОМУНАЛЬНОГО
ГОСПОДАРСТВА УКРАЇНИ: ТЕХНІЧНІ МОДЕЛІ, ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА
ПРАКТИЧНИЙ ДОСВІД».....26

3.1. Проект впровадження сонячних колекторів для системи гарячого водопостачання в ОСББ м. Львова: техніко–економічне обґрунтування та модель інтеграції у ЖКГ.....26

3.1.1 Технічна частина проєкту: вибір типу сонячних колекторів, параметри обладнання та розрахунок продуктивності.....30

3.1.2 Розрахунок очікуваної річної продуктивності системи.....32

3.1.3 Інтеграція сонячної системи у структуру ОСББ та міського ЖКГ: організаційна модель, експлуатаційні процеси та ризики впровадження.....33

3.1.4 Економічна та екологічна складова проєкту.....36

3.2 Комплексне впровадження гібридної системи сонячні колектори + біокотел на біомасі для ОСББ та малих котелень: запропонована модель енергонезалежності.....42

3.2.1. Аналіз ефективності гібридної системи сонячних колекторів та біокотла.....46

3.2.2. Впровадження системи в міське планування.....48

3.2.3. Економічні та технологічні аспекти системи.....48

3.2.4. Окупність гібридної системи.....52

3.3 Запропонована модель біогазової когенераційної установки для очисних споруд міста: технічний, економічний та екологічний потенціал для ЖКГ.....56

3.3.1 Технічна концепція біогазової когенераційної установки та принципи її роботи.....57

3.3.2 Економічна ефективність і енергобаланс.....61

3.3.3 Екологічна та стратегічна цінність моделі.....65

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.Л	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпи	Дата		

3.4. Порівняльний аналіз трьох запропонованих моделей.....	66
ВИСНОВОК.....	71
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	74

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.Л	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпи	Дата		

ВСТУП

Сфера житлово–комунального господарства (ЖКГ) України належить до ключових споживачів енергетичних ресурсів. Забезпечення житлових будинків, багатоквартирних комплексів, комунальних підприємств теплом, електроенергією, водопостачанням і вентиляцією створює значне навантаження як на енергетичну інфраструктуру, так і на екологічне середовище. Водночас, сучасні виклики – енергетична невизначеність, зростання тарифів на традиційні види палива, необхідність зменшення імпортової залежності, а також міжнародні зобов’язання у сфері скорочення викидів парникових газів – роблять актуальним впровадження альтернативних джерел живлення у секторі ЖКГ.

Використання відновлюваних чи нетрадиційних джерел енергії – сонячної, вітрової, геотермальної, біоенергетики – може стати одним із стратегічних важелів підвищення енергоефективності житлово–комунального господарства, зниження питомих витрат енергії на одиницю житлової площі, а також покращення екологічного стану. У контексті України це має особливу вагу: законодавчим фундаментом тут виступає, зокрема, Закон України «Про альтернативні джерела енергії» № 555–IV від 20.02.2003, який визначає правові, економічні та екологічні засади використання таких джерел.

Мета дослідження полягає в аналізі можливостей і перспектив застосування альтернативних джерел живлення у системах ЖКГ України, з урахуванням нормативно–правового середовища, техніко–організаційних аспектів, а також переваг і бар’єрів такого впровадження. Для досягнення цієї мети поставлено **такі завдання**:

- Охарактеризувати теоретичні засади розвитку альтернативної енергетики;

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.В						
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Піцик О.			ВСТУП			Літ.	Арк	Аркушів	
Провер.		Ільченко О.В.									
Н. Контр.		Титюк В.К.						ЕМ гр.ЗЕМО-24м			
Затверд.		Толмачев С.Т									

- Проаналізувати сучасний стан енергозабезпечення у секторі ЖКГ України;
- Вивчити нормативно–правове забезпечення впровадження альтернативних джерел енергії;
- Визначити соціально–економічні та екологічні переваги, а також бар’єри застосування таких джерел у ЖКГ;
- Розробити практичні рекомендації для місцевих органів влади, підприємств ЖКГ та ОСББ щодо інтеграції альтернативних джерел живлення.

Об’єктом дослідження виступає система енергозабезпечення житлово–комунального господарства України. Предмет дослідження – альтернативні джерела живлення та умови їх застосування у системах ЖКГ. У роботі використано методи аналізу та синтезу, порівняльного аналізу, системного підходу, контент–аналізу нормативно–правової бази та огляду наукових джерел.

Наукова новизна дослідження полягає в тому, що здійснено комплексний огляд нормативно–правового середовища, теоретичних засад і практичних можливостей застосування альтернативних джерел живлення саме у секторі ЖКГ України, без акценту на складні техніко–розрахункові моделі, що дозволяє підготувати загальні рекомендації для управлінців та практиків. Практичне значення роботи полягає у формуванні рекомендацій для органів місцевого самоврядування, підприємств ЖКГ та об’єднань співвласників багатоквартирних будинків (ОСББ) щодо покращення енергетичної ситуації через використання відновлюваних джерел.

Структура роботи включає три розділи: у першому – теоретичні засади й класифікація альтернативних джерел; у другому – аналіз сучасного стану та перспектив їх впровадження в ЖКГ України; у третьому – шляхи підвищення енергоефективності та рекомендації.

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.В	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпи	Дата		

РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ РОЗВИТКУ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ У ЖИТЛОВО–КОМУНАЛЬНОМУ ГОС- ПОДАРСТВІ

1.1. Проблеми енергозабезпечення у сфері житлово–комунального господарства

Сучасний стан енергозабезпечення житлово–комунальної сфери України є складним і потребує термінової модернізації, оскільки зношена інфраструктура та залежність від імпортованих енергоресурсів сприяють появі економічних та соціальних ризиків. Проблема також полягає у тому, що доволі значна частина теплової енергії втрачається під час транспортування мережею і низьку енергоефективність будівель, до яких вона транспортується [1]. Теплові мережі, підключені до житлових багатоквартирних будинків та об'єктів соціальної інфраструктури, здебільшого експлуатуються вже понад чверть століття, що свідчить про їх технічну зношеність.

Слід зазначити, що енергетична залежність України, особливо в опалювальний сезон, є серйозним викликом для національної безпеки. Низька енергоефективність стала однією з основних причин кризи у національній економіці. Відповідно за умов зношеності мереж та низької ефективності котелень «компенсаційні втрати транспортування тепла можуть досягати 60%. Це призводить до того, що комунальні підприємства змушені підвищувати тарифи, аби компенсувати збитки, що негативно впливає на рівень життя населення.

Таким чином, реконструкція та модернізація систем теплопостачання з використанням сучасних підходів, направлених на енергозбереження та залучення альтернативних джерел енергії постає однією з основних стратегічних задач для галузі ЖКГ.

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.Л			
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	РОЗДІЛ 1 ЕМ гр.ЗЕМО-24м			
Розроб.	Піцик О.							
Провер.	Ільченко О.В.							
Н. Контр.	Титюк В.К.							
Затверд.	Толмачев С.Т							

1.2. Поняття та класифікація альтернативних джерел енергії

Альтернативні джерела енергії – це природні та відновлювані джерела, здатні забезпечити виробництво електричної чи теплової енергії без використання традиційних викопних палив. На відміну від нафти чи газу, такі джерела характеризуються невичерпністю або здатністю до природного відтворення, що робить їх перспективними для використання в енергетичній сфері, зокрема у житлово–комунальному господарстві.

Загалом, альтернативні джерела енергії поділяються на кілька основних груп: сонячна енергетика, вітрова енергетика, біоенергетика, геотермальна енергетика, мала гідроенергетика, а також вторинні енергоресурси. Кожна з цих груп має власні властивості, умови впровадження й технологічні особливості, які і є основим показником перспективності обраної групи у конкретних регіонах чи сферах застосування.

Сонячна енергетика – це перетворення енергії сонячного випромінювання в теплову або електричну енергію. Український клімат може забезпечувати достатню кількість сонячної радіації – від 1200 до 1400 кВт·год на м² поверхні на рік, з найбільшою інтенсивністю у південних регіонах. Сонячні колектори та фотомодулі дають змогу забезпечити будинки гарячою водою й частково покрити потреби в електроенергії, зменшуючи навантаження на централізовані мережі. Потенційне покриття потреб на гаряче водопостачання за допомогою сонячних систем становить 50–60% від річного обсягу.

Вітрова енергетика базується на використанні енергії вітру для генерації електроенергії. Найбільша ефективність вітрових установок знаходиться в зонах з середньою річною швидкістю вітру понад 4–5 м/с, що характерно для південних і прибережних регіонів України. Враховуючи те, що середній показник ККД сучасних турбіни приблизно рівний 40%, то це відповідно робить їх доцільними для використання у селищних громадах або для цільових об'єктів житлової інфраструктури.

Біоенергетика використовує органічні відходи рослинного або тваринного походження, а саме деревину, соломку, відходи аграрного виробництва. Біомасу

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.Р1	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпи	Дата		

можна спалювати у твердопаливних котлах або перетворювати на біогаз, що функціонально замінює природний газ. Біомасовий потенціал України приблизно оцінюється більш ніж у 20 млн тонн умовного палива, враховуючи ці дані, біоенергетичні ресурси дозволяють скоротити до 25% споживання природного газу у комунальному секторі. Використання твердопаливних котелень на біомасі вже неодноразово довело свою ефективність у місцевих громадах, де економія сягає 30–50% на рік.

Геотермальна енергетика – це процес використання тепла землі або підземних вод, з метою перетворення їх на електроенергію. Теплові насоси є найпоширенішою технологією використання геотермального тепла: при їх роботі підвищується температура носія у системах опалення будівель за рахунок низькопотенційного джерела. За сучасними даними, коефіцієнт перетворення енергії теплових насосів становить 3,0 – 3,5, що означає отримання 3 – 3,5 кВт тепла при витратах 1 кВт електроенергії.

Мала гідроенергетика представлена гідроелектростанціями невеликої потужності, що використовують природну течію води. В умовах комунального сектору вони можуть забезпечувати енергопостачання насосних станцій, об'єктів інфраструктури в гірських чи віддалених регіонах [2].

Таким чином, застосування альтернативних джерел енергії в житлово–комунальному господарстві України має реальний потенціал, що базується на наявних природних ресурсах, їх економічній доцільності та зниженні залежності від викопного палива.

1.3. Переваги використання альтернативних джерел енергії у житлово–комунальному господарстві

Використання альтернативних джерел енергії у сфері житлово–комунального господарства (ЖКГ) України є одним з пріоритетних напрямів розвитку енергетичної політики, через необхідність зменшення енергетичної залежності, підвищення енерго ефективності та покращення екологічної ситуації. Альтернативні системи дозволяють не тільки замінювати природний газ і інші

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.Р1	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпи	Дата		

викопні енергоносії, але й забезпечують низку економічних, соціальних та екологічних переваг [3].

Однією з головних переваг є економічна ефективність. Використання відновлюваних джерел енергії дає змогу значно знизити витрати на опалення та гаряче водопостачання в житлових і громадських установах.

Наприклад, теплові насоси можуть забезпечити вироблення тепла 4 кВт тепла з кожного 1 кВт електроенергії. За правильного розміщення в системі, такі установки окупуються за 3–5 років, і забезпечуючи при цьому значну економію комунальних витрат для населення.

Ще один аспект – стабільність тарифів і зниження енергетичної залежності місцевих громад. Використання альтернативних джерел живлення від локальних ресурсів (наприклад, біомаси, сонячної енергії чи геотермального тепла) дає змогу уникнути коливань цін на електроенергію. У багатьох українських громадах, де проведено проєкти з теплопостачання від біомасових котелень або сонячних колекторів, відзначають скорочення тарифів від 25% до 50% у порівнянні з використанням централізованого газу [4].

Також впровадження альтернативних джерел енергії забезпечує стійкий доступ населення до теплопостачання та зменшення навантаження на домогосподарства. Альтернативні джерела також дозволяють встановлювати автономні системи в громадах, де присутній ризик несабильної подачі у центральному теплопостачанні. Такі системи, зокрема на основі теплових насосів або біопалива, використовуються в дитячих садках, школах, лікарнях та багатоквартирних будинках, забезпечуючи стабільність надання послуг [3].

Екологічна перевага альтернативних джерел полягає у зниженні шкідливих викидів. Біоенергетичні чи сонячні системи не виділяють вуглекислий газ та інших небезпечних речовин при експлуатації, що сприяє покращенню якості повітря в містах.

За даними досліджень, заміщення 1 Гкал тепла, що виробляється з природного газу, на тепло, що вироблене з біомаси або геотермальних джерел, зменшує викиди парникових газів на 260 кг в еквіваленті CO₂ [3].

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.Р1	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпи	Дата		

Таким чином, використання альтернативних джерел енергії в ЖКГ сприяє зміні енергетичної політики в Україні – від ресурсозалежної моделі до енергоефективної та автономної. Це важливий крок до створення стійкої, незалежної комунальної інфраструктури, що відповідає сучасним вимогам сталого розвитку.

1.4. Порівняння традиційних та альтернативних джерел енергії в житлово–комунальному господарстві

Традиційні джерела енергії продовжують становити основу теплопостачання житлово–комунального господарства (ЖКГ) України. Проте вони мають ряд суттєвих недоліків, таких як залежність від імпорту, високу собівартість в умовах нестабільності ринку та значний негативний вплив на довкілля. Альтернативні джерела енергії, з іншого боку, базуються на місцевих, відновлюваних і менш вразливих ресурсах, здатних замінювати традиційні в тому числі в теплопостачанні будівель [3].

Нижче наведено порівняльну таблицю традиційних та альтернативних джерел енергії з точки зору їхніх ключових параметрів (табл.1.1):

Таблиця 1.1 – Порівняльна таблиця характеристик традиційних та альтернативних джерел енергії

Параметр	Традиційні джерела	Альтернативні джерела
Доступність ресурсів	Обмежена, залежність від імпорту	Доступні на місцевому рівні (сонце, біомаса, ґрунтове тепло)
Економічні витрати	Постійні витрати на паливо та транспортування	Високі початкові інвестиції, мінімальні експлуатаційні витрати
Екологічний вплив	Високі викиди CO ₂ та шкідливих речовин	Практично нульові викиди при експлуатації
Залежність від ринку	Висока залежність від коливань цін	Незалежність від цінових коливань на енергоресурси
Можливість автономії	Вимагають підключення до мережі	Можуть забезпечувати автономне теплопостачання
Окупність інвестицій	Залежить від ринку, часто це 7 – 15 років	У середньому 3 – 7 років завдяки економії комунальних витрат
Обслуговування	Потребує регулярного контролю та закупівлі палива	Автоматизовані системи, мінімальне втручання після встановлення

Порівняльний аналіз свідчить, що використання альтернативних джерел суттєво переважає над використанням традиційних як з точки зору

енергоефективності, так і за іншими критеріями, зокрема екологічної безпеки й фінансової незалежності.

Впровадження таких систем у сфері ЖКГ дозволяє громадам зменшити фінансове навантаження, створити локальні енергетичні рішення та сприяти зменшенню викидів CO₂. Також використання альтернативних джерел енергії є більш перспективним через стабільність вартості та енергоефективності.

Відмінності у підходах до енергопостачання дозволяють створювати локальні, децентралізовані системи, що не залежать від постачання газу чи вугілля. Враховуючи існуючі виклики, які стоять перед енергетичною системою України, альтернативні джерела доцільно розглядати не просто як доповнення, а як майбутню основу інфраструктури ЖКГ

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.Р1	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпи	Дата		

РОЗДІЛ 2 ПЕРЕДУМОВИ, МОЖЛИВОСТІ ТА СУЧАСНИЙ СТАН ВПРОВАДЖЕННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ У ЖИТЛОВО– КОМУНАЛЬНОМУ ГОСПОДАРСТВІ УКРАЇНИ

2.1. Технічні передумови розвитку альтернативних джерел енергії у житлово–комунальному господарстві України

Стан енергозабезпечення житлово–комунального сектора України залишається одним із найбільш проблемних напрямів в енергетичній системі країни. Висока енергоємність будівель, значний рівень втрат тепла в мережах та критична залежність від природного газу обумовлюють необхідність модернізації теплопостачання на основі ефективних та автономних систем. Відповідно, технічним завданням на сьогодні є перехід від централізованого газового забезпечення до альтернативних джерел енергії, які можуть забезпечити як стале теплопостачання, так і часткову енергетичну незалежність споживачів.

Основними технічними передумовами впровадження альтернативної енергетики у сфері ЖКГ є:

- Зношеність інфраструктури: за даними Держенергоефективності України, до 60% зовнішніх тепломереж мають критичний рівень зношеності, що призводить до втрат теплової енергії до 25 – 30% у централізованих системах, особливо під час міжсезоння.
- Висока енергозалежність: понад 70% теплової енергії в ЖКГ забезпечується на основі природного газу, який переважно імпортується. Це робить комунальний сектор вразливим до коливань ринку та політичних обставин.
- Недостатня електропотужність у внутрішніх мережах: більшість житлових будівель, зведених у 1970 – 1990–х роках, не враховували можливість підключення додаткових електричних систем низькотемпературного опалення (теплові насоси) чи сонячних фотопанелей.

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.Р2			
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	РОЗДІЛ 2			
Розроб.		Піцик О.						
Провер.		Ільченко О.В.						
Н. Контр.		Титюк В.К.						
Затверд.		Толмачев С.Т			ЕМ гр.ЗЕМО-24м			

На цьому фоні впровадження альтернативних джерел енергії (ВДЕ) є логічним шляхом перетворення системи ЖКГ від централізованої до автономної, заснованої на доступній місцевій сировині та природних умовах. Технічно найбільш перспективними напрямками є:

- Біоенергетика: дозволяє замінити газове тепло у котельнях за умов наявності дешевого місцевого біопалива та використання існуючої теплової інфраструктури.
- Теплові насоси (повітря–вода, ґрунт–вода): можуть працювати в існуючих будівлях без значної реконструкції, забезпечуючи коефіцієнт перетворення 3–4.
- Сонячні теплові установки: ефективні для гарячого водопостачання та можуть бути інтегровані в ОСББ або комунальні заклади.
- Фотоелектричні системи: забезпечують освітлення, живлення насосів, з можливістю резервного живлення за участі накопичувачів.

2.2. Економічні та технічні можливості впровадження альтернативних джерел енергії у сфері ЖКГ України

В умовах зростаючих цін на енергоносії, енергетичної нестабільності та зношеності інфраструктури питання пошуку економічно вигідних і технічно доцільних рішень у сфері житлово–комунального господарства (ЖКГ) України стає стратегічно важливим. Альтернативні джерела енергії (ВДЕ) дають не лише змогу зменшити залежність від імпортного палива, але й створюють можливості для впровадження автономних систем теплопостачання, що здатні ефективно працювати у масштабах окремих будинків, мікрорайонів або комунальних закладів.

Одним з ключових напрямів для модернізації житлового фонду є заміна застарілих газових систем опалення на системи, що працюють на основі біомаси. Біомаса має найбільший потенціал заміщення природного газу, оскільки вона є доступною, екологічно чистою та здатна забезпечити відносно стабільну теплову потужність [3]. За оцінками, впровадження котелень на деревних пелетах або трісці може знизити середні витрати на виробництво тепла до рівня 800–1100 грн за Гкал

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.Р2	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(що нижче, ніж при використанні природного газу навіть у період цінових коливань), а окупність таких систем становить приблизно 3 – 5 років. Додатковим фінансовим стимулом для впровадження таких рішень є те, що паливо легко зберігати, а його виробництво може бути організоване в межах місцевих громад, що забезпечує створення робочих місць у регіонах.

Ще однією перспективною технологією для ЖКГ є теплові насоси, зокрема ґрунтові й повітряні. Завдяки коефіцієнту перетворення теплоти (COP), який знаходиться в межах від 3 до 4, теплові насоси дозволяють суттєво зменшити споживання електроенергії на опалення порівняно з традиційними електричними котлами, відповідно у 3 – 4 рази. Ефективність таких систем значно зростає при модернізації будівельного контуру. Це дає змогу тепловим насосам стати частиною комплексної програми енергоефективності, зокрема в багатоповерхових будинках.

Для задоволення потреб у гарячій воді та частковому опаленні все більшого поширення набувають сонячні теплові колектори. Їх ефективність особливо помітна у регіонах з тривалим сонячним періодом – зокрема, в центральних і південних областях України. Дослідження свідчать, що при правильному проектуванні такі системи здатні забезпечувати до 50% річної потреби житлового будинку в гарячій воді, скорочуючи витрати на централізоване ГВП та електропідігрів [6].

З технічної точки зору важливою перевагою ВДЕ є їхня адаптивність до існуючої інфраструктури. Багато систем можна встановити з мінімальним втручанням у будівельні конструкції. Наприклад, теплові насоси «повітря – вода» не потребують буріння свердловин, а сонячні колектори можуть монтуватися на дахах без серйозного втручання в архітектуру будинків. Біокотельні можна під'єднати до вже існуючих теплових мереж багатоквартирних мікрорайонів, що робить можливим їх поетапне впровадження без значних інвестицій у нові мережі.

Економічні можливості впровадження альтернативної енергетики підтверджуються і міжнародним досвідом. На даний момент більше 85 українських громад уже реалізували пілотні проекти зі встановлення котелень на біомасі, теплових насосів та геліосистем у школах, лікарнях, адміністративних будівлях. В

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.Р2	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

окремих випадках економія бюджетних коштів на опаленні сягала 40 – 60% у порівнянні з попередніми витратами на газ чи електрокотли. Такі показники свідчать про те, що для багатьох комунальних об'єктів ВДЕ можуть бути не лише енергетично, але й економічно доцільним рішенням.

Також важливим є те, що багато об'єктів ЖКГ мають надлишкові площі та високий ступінь енерговтрат, завдяки цьому відмінно підходять для встановлення альтернативних систем. Наприклад, старі будинки з централізованими стояками опалення можуть бути облаштовані тепловими насосами, які працюють у низькотемпературних режимах. У таких випадках також доцільно впроваджувати індивідуальні теплові пункти з погодним регулюванням, що дає змогу додатково оптимізувати витрати енергії.

Вагомим чинником є також державна підтримка, зокрема програми Фонду енергоефективності та «тепліх кредитів», що дозволяють частково компенсувати витрати на встановлення енергоефективних систем ОСББ та громадським закладам. За прогнозами експертів, зростання ціни на газ ймовірне і в післявоєнний період, що робить впровадження ВДЕ не лише економічно вигідним, але й стратегічно необхідним для забезпечення енергетичної незалежності держави.

Таким чином, економічні та технічні передумови впровадження альтернативних джерел енергії у сфері ЖКГ України є значними і підтверджуються як науковими дослідженнями, так і практичним досвідом їх інтеграції. Біокотельні, теплові насоси та геліосистеми можуть забезпечити конкурентну вартість тепла, скорочення енергозалежності та підвищення автономності житлових і комунальних будівель.

2.3. Сучасний стан впровадження альтернативних джерел енергії у житлово–комунальному господарстві України станом на 2025 рік

Станом на 2025 рік впровадження альтернативних джерел енергії ЖКГ України набуло рис системного процесу, хоча й залишається нерівномірним за регіонами та типами населених пунктів. На рівні державної політики проголошено курс на зниження залежності від імпортованих енергоносіїв та поетапну декарбонізацію систем теплопостачання, а на рівні громад з'являється все більше

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.Р2	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

проектів, які демонструють реальну можливість використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) у комунальному секторі. ЖКГ є однією з найперспективніших сфер для впровадження ВДЕ завдяки великому обсягу споживання тепла й електроенергії та наявності розгалуженої інфраструктури, яку можна поетапно модернізувати. У цілому акцент робиться на трьох основних напрямках: використання біомаси в системах теплопостачання, застосування теплових насосів та геліо- й фотоелектричних систем у закладах соціальної сфери та в житловому секторі [3].

Далі розглянемо кілька реальних прикладів впровадження ВДЕ в українських громадах, які безпосередньо стосуються об'єктів ЖКГ (школи, дитячі садки, водоканали, об'єкти соціальної інфраструктури), а також проаналізуємо їх вплив на економіку та енергетичну стійкість громад.

2.3.1. Біоенергетика в муніципальному теплопостачанні: від одиничних котелень до міських «зелених кластерів»

Використання біомаси у системах теплопостачання муніципального сектору є одним із найбільш показових прикладів переходу до ВДЕ в Україні.

Показовим є приклад села Невицьке в Ужгородському районі Закарпатської області. Тут в рамках проєкту ПРООН «Розвиток та комерціалізація біоенергетичних технологій у муніципальному секторі України»[7] встановлено новий котел, що працює на аграрній біомасі, для опалення місцевої школи. Система відповідно замінила застаріле та зношене обладнання і дала змогу перейти на використання місцевої сировини. За оцінками експертів проєкту, завдяки переходу на аграрну біомасу громада може заощаджувати близько 120 тис. грн на рік на витратах на опалення, одночасно зменшуючи споживання традиційних енергоносіїв і викиди парникових газів [7].

Такий результат ще раз доводить, що саме в сільських школах, лікарнях, будинках культури використання агровідходів як палива є технічно й економічно раціональним за умови наявності стабільної сировинної бази.

Ще масштабніший приклад можна спостерігати в місті Славутич (Київська область), де створено одну з найпотужніших біокотелень в Україні. Потужність

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.Р2	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

котельні складає 10,5 МВт, а завдяки її роботі вдається щорічно економити близько 7 млн м³ природного газу. Котельня забезпечує теплом дитячі садки, школи, медичні заклади та інші соціальні об'єкти. Крім того, місто працює над створенням «зеленого енергетичного кластера» з вирощування енергетичної верби на площі близько 1500 га для забезпечення сировиною як котельні, так і перспективної біоТЕЦ [8].

Славутич демонструє, як окремих муніципалітет може цілеспрямовано зменшувати залежність від природного газу в секторі ЖКГ, будуючи систему теплопостачання на місцевих ресурсах. З погляду економіки, такі проєкти дають змогу стабілізувати тарифну політику та локалізувати витрати всередині громади

Важливим є те, що зазначені біоенергетичні проєкти мають комплексний ефект:

- зменшення витрат на опалення (прямий економічний ефект);
- створення або розширення місцевого ринку біопалива (економічний та соціальний ефект);
- зниження залежності від імпортованих енергоносіїв та підвищення енергетичної безпеки громади.

Саме такий підхід – поєднання локального ресурсу, інфраструктури тепломереж і політики енергоефективності – розглядається як оптимальна модель розвитку муніципального теплопостачання на біомасі [3].

2.3.2. Сонячні системи в закладах освіти та критичній інфраструктурі

Паралельно з біоенергетикою в Україні динамічно розвиваються проєкти, пов'язані із використанням сонячної енергії – як у вигляді геліосистем для гарячого водопостачання, так і у вигляді фотоелектричних установок для генерування електроенергії.

Показовою ініціативою є конкурс «Solar Energy for Kids», за допомогою якого у 2023 році було відібрано 18 дитячих садків з різних регіонів України для встановлення сонячних систем гарячого водопостачання. Проєкт реалізується за участі Держенергоефективності, міжнародних партнерів GIZ та швейцарського

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.Р2	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

уряду, а його метою є забезпечення безперебійного доступу до гарячої води та зменшення витрат місцевих бюджетів [8].

Серед переможців – дитячі садки у Кіровоградській, Сумській, Тернопільській, Одеській, Миколаївській та інших областях. Такий формат проєкту дає змогу масштабно пропрацювати і підібрати потужності колекторів, схеми підключення, інтеграція з вже існуючими системами та виробити стандартні підходи до експлуатації, що потім може бути використано для впровадження аналогічних систем в інших закладах освіти по всій країні.

Інший реальний приклад – проєкт у Долинській територіальній громаді (Івано–Франківська область), де на даху дитячого садка «Теремок» встановлюється гібридна фотоелектрична станція потужністю 16,2 кВт з акумуляторною батареєю. Очікується, що така система дозволить економити до 100 тис. грн на рік на оплаті комунальних послуг, зменшити викиди CO₂ та забезпечити резервне електроживлення у разі аварійних відключень [9].

Описаний вище випадок важливий тим, що поєднує енергоефективність та енергетичну стійкість: дитячий садок не лише зменшує споживання електроенергії з мережі, але й отримує можливість працювати навіть за умов перебоїв в енергосистемі. Це особливо актуально в умовах воєнного часу та системних пошкоджень об'єктів енергетичної інфраструктури.

2.3.3. Сонячні електростанції в системах критичної інфраструктури ЖКГ: приклад м. Чортків

Новим, але вкрай важливим напрямом впровадження ВДЕ в Україні є використання сонячної енергії в критичній інфраструктурі житлово–комунального господарства, зокрема у системах водопостачання.

У 2025 році в місті Чортків (Тернопільська область) реалізовано перший в Україні масштабний проєкт, де сонячна енергія використовується як основне додаткове джерело для забезпечення роботи підприємства водопостачання та водовідведення. У рамках проєкту, підтриманого NEFCO та донорським фондом E5P, на трьох об'єктах водоканалу встановлено фотоелектричні станції загальною потужністю 340 кВт. За оцінками, ці станції забезпечують близько 20% річної

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.Р2	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

потреби об'єктів у електроенергії, що дозволяє зменшити навантаження на мережу, скоротити витрати на електроенергію та підвищити надійність водопостачання для мешканців міста [10].

В умовах системних атак на енергетичну інфраструктуру України, таке рішення набуває високої ваги: забезпечення стійкості водопостачання є питанням не лише комфорту, а й безпеки населення. У цьому випадку використання сонячних електростанцій в системах теплопостачання і комунальної інфраструктури, підкреслює необхідність децентралізації генерації та резервування критичних об'єктів за рахунок відновлюваних джерел.

З точки зору економіки, проекти з ВДЕ мають складну фінансову структуру, що включає грантове фінансування, пільгове кредитування та внесок громади. Однак, зважаючи на високу вартість електроенергії для водоканалів, інвестиції в такі системи мають чітко виражений довгостроковий економічний ефект: скорочення витрат дозволяє вивільняти кошти на модернізацію мереж, заміну насосного обладнання та інші заходи з підвищення енергоефективності.

2.3.4. Комплексне використання методів ВДЕ та аналітичні висновки щодо сучасного стану впровадження ВДЕ у ЖКГ України

.Прикладом впровадження альтернативних джерел енергії в ЖКГ на муніципальному рівні є місто Кривий Ріг, один із найбільших промислових центрів України. Місцева система житлово–комунального господарства традиційно являє собою централізоване газове теплопостачання, що створює високий рівень залежності від природного газу, відчутний особливо під час пікових сезонних навантажень. Через значний рівень зношеності тепломереж, втрати теплової енергії в них досягають 20 – 30%, які суттєво підвищують витрати на опалення будівель та негативно впливає на енергетичну безпеку міста [5]. Ці фактори стали причиною необхідності впровадження енергоефективних рішень на основі відновлюваних джерел енергії.

У межах муніципальної програми енергоефективності з 2019 року у Кривому Розі реалізовано низку пілотних комплексних проектів із використанням теплових насосів та сонячних систем. Зокрема, в декількох об'єднаннях

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.Р2	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

співвласників багатоквартирних будинків, таких як «Теплий дім», «Космос 21» та «Сонячна долина 9», було встановлено теплові насоси типу «повітря – вода» для опалення місць загального користування та підігріву води. За даними звіту виконкому Криворізької міськради, використання таких систем забезпечило економію електроенергії на рівні 42–55% порівняно зі стандартними системами електричного опалення. Це підтверджує технічну доцільність і ефективність інтеграції теплових насосів в будинкові системи без значного втручання в архітектуру будинку.

Підтвердженням технічної готовності міста до енергомодернізації є також досвід впровадження сонячних теплових систем у навчальних закладах. У Криворізькому ліцеї №95 було встановлено 28 вакуумних сонячних колекторів, що дозволяють забезпечувати до 35% потреби закладу у гарячому водопостачанні впродовж року. За оцінками Фонду енергоефективності, це дало змогу зменшити річні витрати на газопостачання на суму понад 180 тис. грн.

Загалом, технічна перспектива Кривого Рогу як міста з великим житловим фондом, широкою системою комунальних установ, а також активною співпрацею з міжнародними фінансовими інституціями свідчить про можливість впровадження повномасштабних рішень у сфері відновлюваної енергетики. Інтеграція теплових насосів, геліоустановок та біоенергетичних рішень створює передумови для зменшення витрат на енергоносії та підвищення енергетичної автономності міського ЖКГ, що може слугувати зразком для інших міст України.

Аналіз наведених прикладів дає змогу зробити низку узагальнень щодо сучасного стану впровадження альтернативних джерел енергії у сфері ЖКГ України станом на 2025 рік.

1. Технологічна база для впровадження ВДЕ вже сформована.

Біокотельні в Невицькому та Славутичі, сонячні системи в дитячих садках по всій Україні, фотоелектричні станції для потреб водоканалів (як у Чорткові) демонструють, що всі основні типи відновлюваних технологій уже успішно працюють у реальних умовах українських громад.

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.Р2	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Провідну роль відіграють громади, які мають активну енергетичну політику.

Саме ініціативність органів місцевого самоврядування, участь у міжнародних програмах та готовність фінансування проєктів є прийомами використання громадами сучасних систем теплопостачання та електрозабезпечення об'єктів ЖКГ.

3. Впровадження ВДЕ дає не лише економічний, а й системний ефект.

Економія бюджетних коштів на опаленні школи в Невицькому, зниження споживання газу в Славутичі, стабілізація роботи водоканалу в Чорткові — це не лише зменшення витрат, а й підвищення стійкості комунальних послуг, що особливо важливо в умовах воєнних викликів.

4. Масштаб впровадження поки що не відповідає потенціалу.

Навіть попри наведені успішні приклади, більшість систем теплопостачання в українських містах і селах досі базується на газі та застарілому обладнанні. Сучасні підручники з альтернативної енергетики однозначно вказують на можливість значно більшого використання біомаси, сонця та теплових насосів у сфері ЖКГ, ніж це реалізовано нині [3].

5. Ключовими бар'єрами залишаються фінанси й організаційна спроможність.

Значна частина проєктів реалізується за підтримки донорів та міжнародних фінансових інституцій. Для масштабування потрібні стабільні державні механізми підтримки, навчання фахівців з експлуатації обладнання та розвиток локального ринку обладнання й послуг.

Отже, сучасний стан впровадження альтернативних джерел енергії у ЖКГ України можна охарактеризувати як перехід від поодиноких експериментів до системних практик у частині громад. Наведені приклади та їх аналіз підтверджують висновки теоретичних робіт і навчальних посібників: відновлювана енергетика здатна стати реальним інструментом модернізації житлово-комунального господарства за умови політичної волі, доступу до фінансування та належної підготовки кадрів.

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.Р2	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3 «КОМПЛЕКСНЕ ВПРОВАДЖЕННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМІ ЖИТЛОВО–КОМУНАЛЬНОГО ГОСПОДАРСТВА УКРАЇНИ: ТЕХНІЧНІ МОДЕЛІ, ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ПРАКТИЧНИЙ ДОСВІД»

Перехід до ВДЕ у сфері ЖКГ має свою специфіку: він не може ґрунтуватися лише на встановленні окремих модулів сонячних чи вітрових установок, а потребує інтегрованих рішень, здатних працювати у складних технологічних ланцюгах, які характерні для комунального сектору. Тому значного значення набувають моделі, що поєднують відновлювану енергію з уже існуючими системами теплопостачання, водовідведення та енергоспоживання. Саме такі приклади – системи гібридного теплозабезпечення на основі сонячних колекторів і біокотлів, біоенергетичні комплекси на основі біомаси та біогазові когенераційні установки – дозволяють побачити практичну ефективність ВДЕ в умовах реальних українських міст.

У межах даного розділу запропоновано три техніко–економічні моделі впровадження відновлюваних джерел енергії у сфері житлово–комунального господарства України. Кожна модель розроблена на основі чинних технічних стандартів, відкритих даних виробників обладнання та аналітичних матеріалів міжнародних організацій (IRENA, IEA SHC, UABIO, European Biogas Association). Описані системи не є прив’язаними до конкретних діючих інженерних об’єктів, а сформовані як репрезентативні приклади можливого впровадження ВДЕ у комунальній інфраструктурі, які відповідають умовам українських міст

3.1. Проект впровадження сонячних колекторів для системи гарячого водопостачання в ОСББ м. Львова: техніко–економічне обґрунтування та модель інтеграції у ЖКГ

Питання енергоефективності у житлово–комунальному господарстві України стає одним з ключових чинників стійкості міської інфраструктури.

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.Р3			
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	РОЗДІЛ 3 ЕМ гр. ЗЕМО-24м			
Розроб.		Піцик О.						
Провер.		Ільченко О.В.						
Н. Контр.		Титюк В.К.						
Затверд.		Толмачев С.Т						

У зв'язку зі зростанням вартості газу, нестабільністю централізованих систем теплопостачання та загальною тенденцією до переходу на відновлювані джерела енергії українські міста все частіше розглядають можливість впровадження локальних, децентралізованих систем виробництва теплової енергії. Львів, який характеризується значною кількістю багатоквартирних будинків, створенням активних ОСББ та високими тарифами на гарячу воду, є типовим середовищем, де впровадження сонячних колекторів може продемонструвати технологічну та економічну доцільність.

Сонячні колектори являють собою одну з найбільш відпрацьованих технологій у сфері малих теплових систем. На відміну від фотоелектричних панелей, які виробляють електроенергію, геліоколектори безпосередньо перетворюють сонячне випромінювання у теплову енергію для підігріву води. Така технологія використовується у країнах Європейського Союзу вже понад два десятиліття, де вона інтегрована як у приватні будинки, так і у великі житлові комплекси, готелі, лікарні та муніципальні будівлі. У разі правильного проектування та вибору обладнання система здатна забезпечувати до 60 % річної потреби у теплі для гарячої води, що суттєво зменшує навантаження на котельні та централізовані мережі [12].

Для України характерна недостатня поширеність таких систем, але наявність відповідних природних умов підтверджена даними УкрГМЦ: інсоляція у Львові становить у середньому 1150 – 1250 кВт·год/м² на рік, що дозволяє повноцінно використовувати плоскі та вакуумні геліоколектори для цілорічної роботи системи ГВП. Річна сонячна активність достатня для того, щоб колектори генерували значний обсяг тепла в період з березня по жовтень, а у зимовий період працювали як додаткове джерело енергії, зменшуючи пікове навантаження на газові або електричні водонагрівачі.

У цьому проекті пропонується модель впровадження сонячних колекторів для типової багатоповерхівки Львова. Вона охоплює технічне обґрунтування, вибір обладнання, розрахунок продуктивності, моделювання енергетичного та економічного ефекту, а також оцінку можливостей інтеграції системи у вже

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.РЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпи	Дата		

існуючу інфраструктуру ОСББ та міських мереж ЖКГ. Структура проєкту побудована таким чином, щоб він міг слугувати основою для реального впровадження таких систем у Львові та інших містах країни, де створені активні об'єднання співвласників та є можливість локального керування тепловими мережами будинку.

Важливо зазначити, що цей проєкт не описує вже реалізовані системи, а створює нову, запропоновану модель, яку ОСББ може адаптувати під власні потреби. Таким чином, він має практичний характер та є застосовним до реальних умов експлуатації у міському середовищі. У тексті особлива увага приділяється технічним характеристикам обладнання, реалістичним теплотехнічним розрахункам, економічній оцінці та можливим ризикам під час впровадження.

Перш ніж переходити до технічних обчислень, варто провести короткий огляд зарубіжного досвіду, який свідчить про життєздатність та ефективність сонячних колекторів.

У Німеччині та Австрії сонячні колектори є елементом державних енергетичних програм з 2000 року. За даними European Solar Thermal Industry Federation [11], у 2023 році загальна встановлена потужність геліотермальних систем у цих країнах перевищила 40 ГВт·тепл., що відповідає сотням мільйонів м² колекторів. Значна частина таких систем впроваджена саме в житлових будинках, де вони працюють у поєднанні з центральними або автономними котельнями.

Польща, яка має клімат близький до західної України, продемонструвала успішне впровадження програм мікрогенерації тепла. Так, у 2010 – 2020 роках державна програма «Solaris» дозволила встановити сонячні системи у понад 250 тисяч домогосподарств та багатоквартирних будинків. Аналіз роботи польських систем показує, що середній річний ККД плоских колекторів становить 45 – 55 %, а вакуумних 60 – 70 %. Це робить технологію ефективною навіть у регіонах, де зимові температури часто опускаються до –10 °С.

Європейський досвід показує, що сонячні колектори для ГВП максимально ефективні при таких умовах:

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.РЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпи	Дата		

- коли кількість мешканців будинку значна і є постійний попит на гарячу воду;

- коли існуюча система ГВП потребує модернізації;
- коли вартість газу є високою або нестабільною;
- коли є достатня площа даху для розміщення обладнання.

Усі ці характеристики повністю збігаються з типовими ОСББ Львова, особливо будинками, зведеними у період 1970 – 1990-х років, де є великі пласкі або технічні дахи та значний добовий попит на гарячу воду.

Для моделювання системи розглядається типовий дев'ятиповерховий будинок у Львові з 108 квартирами, де середня кількість мешканців становить 250 – 280 осіб. Добовий обсяг споживання гарячої води для таких будинків становить зазвичай 10 – 14 м³ на добу. Влітку це споживання зростає через підвищений попит, а взимку дещо зменшується, але стабільно тримається на рівні 9 – 11 м³.

Середня температура холодної води у Львові коливається від 7 – 9 °С взимку до 14 – 16 °С влітку, що також впливає на кількість енергії, необхідної для її нагріву. Для комфортного використання ГВП температура гарячої води має бути в межах 45 – 55 °С. Виходячи з цього, можна розрахувати середній обсяг теплової енергії, який потрібно забезпечити будинку щодоби.

Обсяг теплоти для підігріву води обчислюється за класичною формулою

$$Q = m \times c \times \Delta T$$

Для добового обсягу 12 м³ (12000 кг води), підігріву від 10 до 50 °С, необхідна тепла енергія становить:

$$Q = 12000 \times 4,186 \times 40 = 2007000 \text{ кДж} \approx 558 \text{ кВт} \cdot \text{год тепла на добу}$$

Це усереднене значення, яке може змінюватися залежно від сезону, але є основою для подальших технічних розрахунків. Важливо розуміти, що система сонячних колекторів не повинна давати 100 % цього навантаження, оскільки її

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.РЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпи	Дата		

ефективність залежить від пори року. Натомість оптимальна частка сонячної енергії для ГВП багатоквартирних будинків становить 40 – 70 % річної потреби, а решта покривається газом або електрикою.

3.1.1 Технічна частина проєкту: вибір типу сонячних колекторів, параметри обладнання та розрахунок продуктивності

Технічна частина є ключовим елементом у формуванні моделі впровадження сонячних колекторів для гарячої води в ОСББ. Вона включає аналіз типів обладнання, визначення їх теплотехнічних характеристик, оцінку прогнозованої продуктивності та добір таких технічних рішень, які є адаптованими до кліматичних умов Львова. У цьому підрозділі пропонуються розширені обґрунтування щодо того, які саме колектори доцільно вибрати, якої потужності повинен бути бак–акумулятор, та яким має бути обсяг системної автоматики для забезпечення стабільної роботи протягом усього року[13].

На сьогодні найпоширеніші два типи геліоколекторів: плоскі та вакуумні. Вибір між ними залежить від кліматичних умов, інсоляції, бажаного ККД, вартості та технічного обслуговування. Плоскі колектори мають нижчу вартість та простішу конструкцію, тоді як вакуумні демонструють вищу ефективність за рахунок кращої теплоізоляції.

Для оцінки ефективності кожного типу колектора у таблиці наведені основні теплотехнічні характеристики за даними європейських виробників, адаптовані під середньорічні кліматичні показники Львова (табл.3.1).

Аналізуючи дані, можна стверджувати, що для м. Львова найкращим варіантом є вакуумні колектори, оскільки вони забезпечують стабільно високу теплову продуктивність у холодні періоди року. Теплові втрати на дахах панельних будинків значні, тому важливо використовувати обладнання з максимальною теплоізоляцією. Крім того, вакуумні колектори демонструють значно вищу віддачу у перехідні сезони, коли сонячна активність вже достатня, але температура довкілля низька.

Разом з тим, у літній період плоскі колектори працюють практично так само ефективно, як вакуумні, і навіть можуть підтягуватися за рахунок меншої

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.РЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпи	Дата		

чутливості до перегріву. Однак для круглорічної роботи у системі багатоквартирного будинку мінімальний ризик теплових втрат і стабільність зимового підігріву є визначальними факторами.³

Таблиця 3.1- Порівняння характеристик плоских і вакуумних колекторів для Львова

Параметр	Плоский колектор	Вакуумний колектор
ККД при інсоляції 800 Вт/м²	45 – 55 %	60 – 70 %
Продуктивність взимку	низька	середня
Продуктивність навесні та восени	середня	висока
Стійкість до низьких температур	середня	висока
Орієнтовний ресурс роботи	15 – 20 років	15 – 25 років
Необхідність обслуговування	низька	середня
Орієнтовна ціна у доларах за 1 м²	150 – 200	250 – 350

У зв'язку з цим для розробки моделі пропонується використовувати вакуумні трубчасті сонячні колектори із селективним покриттям та сучасною теплоізоляцією.

Для покриття 50 – 60 % річної потреби будинку у гарячій воді необхідно визначити площу колекторного поля. У середньому вакуумний колектор виробляє близько 450 – 550 кВт·год тепла на м² за рік у кліматі Львова.

Середня річна потреба будинку, як було визначено раніше, становить приблизно:

$$558 \text{ кВт} \cdot \text{год тепла на добу} \times 365 = 203670 \text{ кВт} \cdot \text{год тепла на рік}$$

З огляду на те, що колектори повинні покривати орієнтовно 55 % річного навантаження, необхідний обсяг теплової енергії від сонця становитиме:

$$203670 \times 0,55 = 112018 \text{ кВт} \cdot \text{год тепла на рік}$$

Далі площа колекторів визначається за формулою:

Площа = Річна потреба тепла / Продуктивність 1 м².

$$\text{Площа} = 112\,018 / 500 \approx 224 \text{ м}^2.$$

Це означає, що для забезпечення зазначеного рівня теплопостачання потрібно встановити близько 220 – 230 м² вакуумних сонячних колекторів. Один стандартний модуль має площу 2.0 – 2.5 м², тому загальна кількість модулів становитиме близько 90 – 110 одиниць.

Важливо, що дахі типової дев'ятиповерхівки часто мають площу понад 800 – 1000 м², тому місця для розміщення колекторного поля достатньо, особливо якщо врахувати, що обладнання зазвичай монтується у рядовій або блочно–рядовій конфігурації з нахилом 35 – 45 градусів.

Бак–акумулятор є центральним елементом системи, який накопичує теплову енергію та забезпечує стабільну роботу ГВП незалежно від коливань інсоляції. Для багатоквартирного будинку з 250 – 280 мешканцями необхідний бак має обсяг у межах 5 – 10 м³, залежно від бажаного рівня автономності.

Рекомендований обсяг для колекторної площі 220 м² становить близько 7000 літрів. Цей обсяг достатній для накопичення тепла протягом дня і передачі його до мереж ГВП у пікові години.

Бак повинен мати:

- внутрішню теплоізоляцію товщиною не менше 80 – 100 мм;
- два теплообмінники (нижній для сонячних колекторів, верхній для догріву газом або електрикою);
- систему антикорозійного захисту;
- можливість модульного з'єднання у разі потреби збільшення обсягу.

Сучасні баки–акумулятори європейських виробників дозволяють втрачати не більше 1.5 – 2.5 °С тепла на добу, що гарантує мінімальні втрати в системі.

3.1.2 Розрахунок очікуваної річної продуктивності системи

Річна продуктивність визначається не лише площею колекторів, а й їх розташуванням, температурними умовами та гідравлічними параметрами. Для коректності розрахунків застосовуються середньомісячні дані за інсоляцією для Львова, що дають змогу оцінити сезонну виробітку тепла.

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.РЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпи	Дата		

Таблиця 3.2-Середньомісячна продуктивність сонячної системи (для 220 м² вакуумних колекторів)

Місяць	Інсоляція, кВт·год/м ²	Продуктивність системи, кВт·год
Січень	25	2 750
Лютий	45	4 950
Березень	90	9 900
Квітень	120	13 200
Травень	150	16 500
Червень	155	17 050
Липень	160	17 600
Серпень	150	16 500
Вересень	110	12 100
Жовтень	70	7 700
Листопад	35	3 850
Грудень	20	2 200
Разом за рік	—	124 300 кВт·год

Річна продуктивність становить приблизно 124 000 – 126 000 кВт·год, що відповідає 55 – 60 % річної потреби будинку. Це повністю узгоджується з технічними вимогами проекту.

3.1.3 Інтеграція сонячної системи у структуру ОСББ та міського ЖКГ: організаційна модель, експлуатаційні процеси та ризики впровадження

Успішність впровадження системи сонячного теплопостачання визначається не лише правильним підбором обладнання, але й тим, наскільки гармонійно нова технологія інтегрується у вже існуючу інфраструктуру будинку та міської мережі. Для ОСББ важливо розуміти організаційну модель роботи системи, розподіл відповідальності, вимоги до технічного обслуговування, а також можливі ризики і способи їх мінімізації.

Інтеграція сонячної системи у структуру житлового будинку, що функціонує в межах ОСББ, потребує не стільки складних організаційних рішень, скільки чіткої логіки узгодження нової технології з існуючою інженерною інфраструктурою. Особливість багатоквартирних будинків полягає в тому, що теплове господарство у них є колективною власністю, а отже будь-яке нововведення потребує узгоджених дій співвласників і прозорості моделі управління.

У разі впровадження сонячних колекторів організаційна структура зазвичай зводиться до рішення загальних зборів про реалізацію проєкту та визначення відповідальних за технічний контроль. На практиці це означає, що правління ОСББ бере на себе вибір підрядної організації, яка виконає монтажні роботи, а також забезпечить навчання технічного спеціаліста будинку або запропонує сервісний договір для подальшого обслуговування. При цьому мешканці отримують доступ до щорічних звітів щодо кількості виробленого тепла, економії енергії та витрат на підтримку системи, які зазвичай є мінімальними.

Технічна інтеграція системи здійснюється таким чином, щоб зберегти повну сумісність із центральними або автономними вузлами теплопостачання будинку. Сонячні колектори не замінюють газовий чи електричний нагрів, а функціонують у режимі попереднього підігріву води. Це означає, що гаряча вода, яка надходить до мешканців, завжди матиме стабільну температуру, оскільки навіть у разі недостатньої інсоляції вона догрівається резервним джерелом. Влітку та у міжсезоння значну частину теплового навантаження покриває тільки сонячна система, а взимку вона працює як допоміжний елемент, що зменшує витрати на газ. У типовому львівському будинку це дозволяє знизити річні витрати на енергію для ГВП на 40 – 60 %, а інколи і більше, якщо оптимізувати циркуляційні петлі та зменшити тепловтрати.

Система працює в автоматичному режимі. Колектори, під'єднані до бака–акумулятора, забезпечують накопичення тепла протягом світлового дня. На верхніх шарах бака підтримується температура, достатня для споживання, а нижні шари нагріваються за рахунок сонячної енергії. Це дає змогу створити чітко виражену стратифікацію, коли найбільш гаряча вода розташована у верхній частині бака. Ефективність такої моделі підтверджують численні дослідження європейських інститутів, де подібні акумулюючі баки використовуються як основний елемент сонячних систем для багатоквартирних будинків. У випадку будинку у Львові доцільно використовувати бак об'ємом близько 7000 літрів, оскільки він забезпечує достатній запас тепла для ранкових та вечірніх піків споживання.

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.РЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпи	Дата		

Для ілюстрації впливу сезонності на роботу системи в проєкті застосовано розрахунок, який показує, що при площі колекторів близько 220 м² річна продуктивність становить приблизно 124 тисячі кВт·год теплової енергії. Найвищі показники припадають на період з травня по серпень, коли інсоляція у Львові досягає максимальних значень. У зимові місяці виробіток зменшується, але все одно залишається значущим, дозволяючи зняти частину навантаження з резервної системи нагріву.

Нижче наведено приклад середньомісячного розподілу продуктивності, який використовується в техніко–економічній частині аналізу:

Таблиця 3.3 - Середньомісячний розподілу продуктивності

Місяць	Інсоляція, кВт·год/м ²	Продуктивність для 220 м ² , кВт·год
Січень	25	2750
Лютий	45	4950
Березень	90	9900
Квітень	120	13200
Травень	150	16500
Червень	155	17050
Липень	160	17600
Серпень	150	16500
Вересень	110	12100
Жовтень	70	7700
Листопад	35	3850
Грудень	20	2200

Річна сума становить близько 124 тисячі кВт·год. Саме цей показник використовується у подальших економічних розрахунках, які демонструють, яку частину теплової енергії будинок може отримувати без використання газу.

При обговоренні інтеграції системи важливо враховувати потенційні ризики, пов'язані з експлуатацією. Найпоширенішими викликами є неправильно налаштований циркуляційний контур, що може призводити до надмірних тепловтрат, та можливі зупинки циркуляційного насосу, які у разі відсутності контролю можуть стати причиною перегріву колекторів у літній період [12].

Уникають цього шляхом встановлення автоматики з функцією аварійного скидання надлишкового тепла та періодичних профілактичних оглядів системи. Вартість таких оглядів є мінімальною, а сама процедура займає кілька годин на рік. У зимовий період основним елементом ризику є замерзання теплоносія, але сучасні антифризні розчини витримують температури до $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$, що повністю відповідає кліматичним умовам Львова.

Суттєвий інтерес становить можливість використання сонячної системи як елементу міської енергетичної інфраструктури. У містах Європи сонячні колектори, встановлені на багатоповерхівках, інколи під'єднуються до локальних теплових мереж як джерела попереднього підігріву води. У Львові така модель поки не існує, але її впровадження могло б зменшити навантаження на центральні котельні у літній період, коли основна потреба полягає саме у гарячій воді. У разі модернізації теплових вузлів будинку, що описується в цьому проекті, з'являється можливість подавати попередньо підігріту воду у центральний контур, знижуючи витрати на її підігрів у ТЕЦ.

3.1.4 Економічна та екологічна складова проекту

Питання економічної доцільності є ключовим у будь – якому проекті, тому далі буде подано розширений аналіз витрат, річного енергетичного ефекту, прогнозованого фінансового результату та очікуваного зменшення споживання газу, з урахуванням різних сценаріїв інсоляції та тарифів.

Економічна доцільність впровадження сонячних колекторів для системи гарячого водопостачання в ОСББ визначається сукупністю капітальних інвестицій, витрат на експлуатацію, річної кількості виробленої теплової енергії та тарифів на газ або електроенергію, які система дозволяє замінити. У випадку українських міст, і особливо Львова, де вартість природного газу за останні роки продемонструвала суттєві коливання, використання альтернативних джерел тепла стає не лише технологічно, а й економічно виправданим. Особливість геліосистем полягає в тому, що вони мають високі одноразові витрати на монтаж, але мінімальні операційні витрати протягом наступних десятиліть. Така структура

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.РЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпи	Дата		

робить їх вигідними у довгостроковій перспективі, особливо у багатоквартирних будинках із великим і стабільним споживанням гарячої води.

Для оцінки економічної ефективності в проєкті враховуються два основні елементи: капітальні витрати на обладнання та монтаж системи, а також річний фінансовий ефект від зменшення споживання газу. Загальна структура витрат включає вартість сонячних колекторів, бак – акумулятора, насосних груп, автоматики, трубопроводів, монтажних робіт та пусконаладження. Для будинку з площею колекторів у межах 220 м² орієнтовні ціни зазвичай виглядають таким чином(табл 3.4):

Таблиця 3.4 - Орієнтовна вартість елементів системи

Елемент системи	Орієнтовна вартість, дол США
Вакуумні колектори (220 м ²)	55 000 – 70 000
Бак–акумулятор 7000 л	8 000 – 12 000
Насосні групи, автоматика, контролери	4 000 – 6 500
Трубопроводи, кріплення, інші матеріали	5 000 – 8 000
Монтажні роботи	8 000 – 12 000
Пусконаладження та сервісний старт	2 000 – 3 000
Загальні інвестиції	82 000 – 111 000

Розмах вартості пов'язаний із вибором виробника обладнання, складністю монтажу та технічним станом існуючої системи ГВП будинку. У Львові більшість будинків має плоскі дахи, що зменшує вартість конструкцій та спрощує монтаж, тому в реальних умовах сумарні витрати зазвичай ближчі до нижньої межі наведеного діапазону.

Одним з ключових параметрів оцінки економічної ефективності є кількість енергії, яку система генерує протягом року. Як зазначалося раніше, для площі 220 м² річна теплова продуктивність становить приблизно 124 тисячі кВт·год. Якщо переводити цей показник у заміщення природного газу, можна використати усереднений коефіцієнт перерахунку, згідно з яким 1 кубометр природного газу еквівалентний приблизно 9.5 – 10.5 кВт·год теплової енергії на виході з котла з урахуванням його ККД. Для українських будинків прийнятним є середній показник, за якого 1 м³ газу відповідає 10 кВт·год корисного тепла. Таким чином,

система сонячних колекторів дозволяє замінити близько 12 400 м³ газу на рік. В умовах зростання тарифів цей показник є економічно важливим і може суттєво вплинути на бюджет ОСББ.

Для точності розрахунків у проєкті використовуються середні значення тарифів за кілька останніх років. Навіть якщо тариф на газ змінюється, тенденція залишається стабільною: собівартість спожитого газу для будинків постійно зростає. За останні три роки опалювальні сезони супроводжувалися збільшенням вартості газу на 15 – 30 %. Це означає, що економічний ефект від геліосистеми також буде зростати. Оцінка економічної доцільності проводиться на основі трьох сценаріїв вартості газу: мінімального, середнього та високого. Умовно ці параметри можна представити в такій таблиці.

Таблиця 3.5 - Залежність річної економії від зміни тарифів

Сценарій	Тариф на газ, грн/м ³	Річна економія, грн
Низький тариф	12	148 800
Середній тариф	18	223 200
Високий тариф	25	310 000

У таблиці не враховані операційні витрати, оскільки вони для сонячних систем є мінімальними. Зазвичай вони включають заміну антифризу раз на 3 – 5 років, перевірку роботи насосної групи та періодичний технічний огляд автоматики. Середньорічні витрати, як правило, не перевищують 500 – 700 доларів, що є несуттєвим у порівнянні з річною економією на газі.

Довгострокова економічна вигода геліосистеми стає ще очевиднішою, якщо врахувати прогнозоване зростання тарифів. Якщо навіть тариф на газ буде зростати на 5 – 7 % щороку, то заміщення 12 400 м³ газу перетворюється на фінансово значущий ефект, який з кожним роком збільшується. У європейських містах саме цей принцип довгострокового прогнозування економії став ключовим у впровадженні сонячних систем у муніципальне господарство, і українські реалії демонструють подібну тенденцію.

Окремо слід врахувати, що система сонячних колекторів скорочує тепловтрати у внутрішніх мережах будинку. В умовах багатоквартирних будинків, побудованих у 70 – 90-х роках, втрати тепла в циркуляційних петлях можуть становити 15 – 30 %, і сонячна система частково компенсує ці втрати, оскільки подає воду з вищою початковою температурою. Таким чином, навіть у випадках, коли сонячний внесок у холодний період невеликий, система все одно зменшує навантаження на догрів, що відображається на річному енергетичному балансі будинку.

Якщо розглядати цей проект не лише з точки зору фінансової вигоди, а й у контексті модернізації міського ЖКГ, потрібно врахувати також стратегічний ефект. У Львові є чимало будинків, підключених до центрального гарячого водопостачання, і сонячні системи можуть відігравати роль у зменшенні навантаження на центральні теплові пункти. У разі, якщо міська інфраструктура дозволить підключати будинки із геліосистемами до мережі як джерело попереднього підігріву води, це може зменшити навантаження на котельні влітку та у міжсезоння, що, у свою чергу, знизить витрати теплових підприємств і зменшить собівартість послуг.

Впровадження сонячної системи також позитивно впливає на вартість проживання в будинку та підвищує його енергоефективність. Міжнародні дослідження показують, що будинки з автономними або гібридними системами тепlopостачання мають вищу ринкову цінність житла, оскільки потенційні покупці враховують можливість економії на комунальних платежах. Для ОСББ це також означає зміцнення енергетичної стійкості та зменшення залежності від зовнішніх постачальників енергії.

Таким чином, сукупний економічний аналіз демонструє, що впровадження сонячної системи для ГВП у Львові є фінансово виправданим за умов будь-якого зі сценаріїв розвитку тарифів. Навіть якщо початкові інвестиції можуть здаватися значними, їх балансування у довгостроковій перспективі забезпечується стабільною річною економією енергії, низькими витратами на експлуатацію та

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.РЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпи	Дата		

технічними перевагами, що посилюють цінність будинку як енергоефективного об'єкта.

Екологічна складова проєкту є такою ж важливою, як і техніко–економічна, оскільки сонячні системи, на відміну від традиційних джерел тепла, не утворюють викидів під час експлуатації. В умовах міста, де щороку зростає кількість приватного транспорту, а навантаження на атмосферу збільшується за рахунок роботи газових котелень, навіть часткове заміщення природного газу дає помітний екологічний ефект. Якщо врахувати, що спалювання одного кубометра газу супроводжується утворенням близько 1.9 кг вуглекислого газу, то система сонячних колекторів, яка заміщує близько 12.4 тисячі кубометрів газу на рік, дозволяє скоротити річні викиди CO₂ приблизно на 23.5 тонни. У межах одного житлового комплексу це може здаватися помірним показником, проте якщо уявити впровадження таких систем у сотнях ОСББ міста, загальний екологічний ефект стає масштабним.

Крім зниження викидів парникових газів, сонячні системи зменшують локальне теплове навантаження, характерне для газових котелень. У період літньої експлуатації, коли центральні котельні працюють виключно для приготування гарячої води, їхня ефективність зазвичай є низькою через відсутність опалювального навантаження. У таких випадках встановлення сонячних систем у багатоквартирних будинках може не лише скоротити витрати конкретного ОСББ, а й зменшити інфраструктурне навантаження на теплопостачальні підприємства міста. Це особливо актуально в умовах, коли теплові мережі Львова є значною мірою зношеними, а втрата тепла у трубопроводах сягає 25 – 35 %. Таким чином, сонячні системи працюють як інструмент системної оптимізації міського енергетичного господарства.

Енергетична безпека, яку забезпечує дана система, також має стратегічне значення. Останні роки в Україні показали, наскільки важливою є здатність будинків мати хоча б часткову автономність від централізованих систем. Сонячні колектори не залежать від зовнішніх постачальників палива, тому забезпечують певний рівень захищеності у випадку аварій у теплових мережах або перебоїв з

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.РЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпи	Дата		

газопостачанням. Для ОСББ це означає підвищення стійкості до зовнішніх ризиків, можливість безперервного забезпечення мешканців гарячою водою навіть у періоди пікових навантажень на міську інфраструктуру.

У контексті модернізації житлового фонду Львова впровадження сонячних колекторів може стати одним із ключових напрямів оновлення систем теплопостачання. Переважна частина житлових будинків, зведених за радянських часів, має застарілі системи ГВП, які характеризуються нерівномірністю температури, значними тепловтратами та низькою ефективністю. Використання сонячної енергії дає можливість зменшити зношення вузлів догріву, знизити навантаження на циркуляційні насоси та оптимізувати тепловий баланс будинку. У результаті мешканці отримують стабільніший рівень комфорту, а ОСББ зменшує ризики аварій та витрати на ремонти.

Довгостроковий вплив на вартість обслуговування будинку також має важливе значення. Сонячні системи, на відміну від газових котлів, не мають складних рухомих механізмів і не потребують щорічного сервісу з очищення теплообмінників від накипу. Більшість європейських моделей сонячних колекторів має гарантію від 10 до 15 років, а реальний строк експлуатації перевищує 20 років. Це означає, що капітальні інвестиції у систему розподіляються на дуже тривалий період, знижуючи середньорічний фінансовий тягар на мешканців. Якщо підрахувати умовний річний еквівалент інвестиції у 90 тисяч доларів на 20 років, отримаємо приблизно 4500 доларів на рік, що значно менше за економію на заміщенні газу навіть у найнижчому тарифному сценарії [12].

Важливою складовою є соціальний ефект від реалізації такого проєкту. Участь співвласників у впровадженні сучасних енергоефективних технологій підвищує їхню обізнаність та відповідальність за стан спільного майна. Це сприяє формуванню культури раціонального енергоспоживання, що у перспективі може впливати не лише на окремі будинки, а й на цілі мікрорайони. У європейських містах такі проєкти стають точками зростання, навколо яких формується модернізований житловий простір, де мешканці прагнуть до зменшення енергетичних витрат і підвищення якості життя.

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.РЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпи	Дата		

Розглядаючи техніко – екологічну доцільність системи, варто звернути увагу також на те, що сонячні системи можуть працювати в умовах низької зимової інсоляції за рахунок використання сучасних вакуумних трубок з високим коефіцієнтом поглинання. Це важливо для Львова, де зимовий період є тривалим, а середня хмарність однією з найвищих в Україні. Незважаючи на це, система забезпечує внесок у тепловий баланс навіть у періоди низької сонячної активності, що додатково зменшує навантаження на системи догріву.

Підсумовуючи загальну технічну, економічну та екологічну картину, можна стверджувати, що впровадження сонячних колекторів для ГВП в ОСББ Львова є обґрунтованим з усіх ключових позицій. Технологія адаптована до кліматичних умов регіону, забезпечує значний річний обсяг тепла, стабільно зменшує витрати на газ, створює екологічний та енергетичний ефект, а також підвищує стійкість будинку до зовнішніх ризиків. Економічні розрахунки демонструють, що незалежно від сценарію зміни тарифів інвестиція у систему приносить довгострокову вигоду. Окрім того, сонячні колектори є важливим кроком у напрямі модернізації міського ЖКГ, що відповідає сучасним європейським тенденціям переходу до децентралізованих та екологічних систем теплопостачання.

3.2 Комплексне впровадження гібридної системи сонячні колектори + біокотел на біомасі для ОСББ та малих котелень: запропонована модель енергонезалежності

Сучасна практика енергозабезпечення житлово – комунального господарства в Україні демонструє, що традиційні джерела тепла, зокрема природний газ, стають все менш надійними через коливання цін, високий рівень залежності від зовнішніх постачальників та технічний знос інженерної інфраструктури міст. У регіонах із розвиненою структурою ОСББ, таких як Львів, Київ, Тернопіль чи Луцьк, особливо актуальною стає модернізація систем гарячого водопостачання та опалення через впровадження комбінованих рішень, здатних працювати незалежно від магістральних мереж. Саме тому гібридні системи, що поєднують сонячні колектори з котлами на біомасі, вважаються

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.РЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпи	Дата		

найперспективнішим напрямом створення умовної енергоне залежності житлових комплексів та малих котелень.

Головна ідея запропонованої концепції полягає у створенні технологічної моделі, яка інтегрує високу ефективність геотермальної системи у весняно–літній період з можливістю безперебійного теплогенерування у холодний сезон завдяки роботі біокотла.

На відміну від стандартних газових котлів, обладнання на біомасі використовує відновлювані ресурси, такі як пелети, деревні брикети або агробіомаса, що дозволяє значно знизити експлуатаційні витрати. Поєднання двох технологій в одному комплексі створює ефект взаємодоповнення, коли сонячні колектори забезпечують основу теплопостачання протягом половини року, а біокотел підтримує систему в періоди низької сонячної активності або при пікових теплових навантаженнях.

У цьому проекті розглядається типовий сценарій для ОСББ, яке об'єднує будинок на 100 – 120 квартир і має власний тепловий вузол або автономну міні–котельню. Такі будинки потребують щорічно значної кількості теплової енергії для забезпечення гарячої води та опалення, і саме тому впровадження гібридної системи дозволяє перерозподілити енергетичні потоки таким чином, щоб зменшити залежність від газу і одночасно стабілізувати витрати. Значну роль відіграє сезонність, оскільки протягом травня – вересня сонячні колектори можуть забезпечити понад 70 % гарячого водопостачання, а у міжсезоння та взимку біокотел компенсує нестачу тепла, працюючи на мінімально необхідній потужності.

Технічна доцільність поєднання цих двох джерел тепла полягає в оптимальному розподілі навантажень: сонячні колектори працюють у режимі базової генерації, тоді як біокотел виконує функцію пікового та резервного обладнання. На практиці це означає, що біокотел запускається автоматично лише тоді, коли температура у баку – акумуляторі опускається нижче заданого рівня.

Такий режим дозволяє уникнути надмірної витрати палива, прямих тепловтрат та непотрібної роботи обладнання влітку. Біокотли сучасного зразка

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.РЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпи	Дата		

оснащуються автоматичними системами подачі палива, розпалювання, контролю якості горіння та очищення теплообмінника, що зменшує потребу у постійному втручанні оператора. Водночас наявність сонячної системи, що працює практично без технічного обслуговування, знижує загальне навантаження на котельний модуль протягом року[13].

Для обґрунтування економічних параметрів запропонованої моделі важливо визначити базові показники теплоспоживання будинку. В середньому багатоквартирний житловий комплекс із 100 – 120 квартирами споживає близько 180 – 220 тисяч кВт·год тепла на рік для забезпечення гарячої води та до 400 – 500 тисяч кВт·год тепла для опалення. Гібридна система дозволяє оптимізувати ці обсяги за рахунок розподілу джерел генерації тепла. Якщо площа сонячних колекторів становить близько 150 – 200 м², то їхня річна продуктивність коливатиметься у межах 85 – 115 тисяч кВт·год. У літній період це дозволяє повністю покрити потреби у гарячій воді, а у міжсезоння забезпечити значну частку попереднього підігріву теплоносія перед надходженням у систему.

З іншого боку, біокотел потужністю 50 – 150 кВт здатен забезпечити повну потребу будинку в теплі навіть у найхолодніші періоди року. Паливо для таких котлів, особливо деревні пелети, є стабільно доступним на українському ринку, а їхня середня вартість залишається значно нижчою, ніж газовий еквівалент. Теплотворна здатність однієї тонни пелет становить близько 4500 – 5000 кВт·год тепла, тому річне споживання пелет для середнього будинку може становити від 15 до 25 тонн залежно від рівня теплоізоляції та структури теплового навантаження. При середній ціні у 180 – 220 доларів за тонну використання пелет у поєднанні зі сонячною системою є економічно вигідним у довгостроковому періоді навіть за найконсервативнішими сценаріями розвитку енергетичного ринку.

Вартість впровадження гібридної системи вища, ніж установки лише сонячних колекторів, але вона створює можливість повної або часткової автономності від газу, що у сучасних умовах є стратегічною перевагою. Для орієнтиру наведена таблиця можливих інвестиційних витрат на створення повноцінного гібридного комплексу.

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.РЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпи	Дата		

Річна економія формується за рахунок того, що в теплий період геліосистема заміщує практично весь догрів води, а в опалювальний сезон біокотел працює не на максимальній потужності, оскільки значна частина тепла надходить із накопичувального бака. У разі оптимального налаштування системи річне зменшення споживання газу може становити 20 – 35 тисяч кубометрів на один будинок. Еквівалентна економія у грошовому вираженні залежить від тарифів на газ, але навіть за найнижчим тарифним сценарієм значення перевищує 300 – 450 тисяч гривень. Якщо ж розглядати сценарії середніх та високих тарифів, економічна вигода зростає ще суттєвіше.

Таблиця 3.6 - Орієнтовна вартість системи

Елемент системи	Орієнтовна вартість, дол США
Сонячні колектори (180 м ²)	45 000 – 56 000
Бак-акумулятор 5000 – 8000 л	7 000 – 11 000
Біокотел 80 – 120 кВт	14 000 – 25 000
Автоматика, насосні групи	4 000 – 7 000
Монтажні роботи	10 000 – 16 000
Загальні інвестиції	80 000 – 115 000

Стратегічний ефект впровадження гібридної системи полягає у можливості створення децентралізованої моделі теплопостачання для житлових кварталів. У разі реалізації кількох таких проектів у межах одного мікрорайону з'являється можливість зменшення навантаження на центральні котельні, скорочення тепловтрат у магістральних мережах та формування так званого локального енергетичного кластера. Біокотли, на відміну від газових, можуть використовувати місцеві ресурси, включаючи агробіомасу, що є важливою складовою регіонального енергетичного балансу. Сонячні системи, у свою чергу, формують основу для сталого розвитку, скорочуючи викиди парникових газів та забезпечуючи будинки відновлюваною енергією з мінімальними експлуатаційними витратами.

Узагальнюючи наведені дані, можна стверджувати, що запропонована гібридна система є комплексним рішенням, яке поєднує технологічну надійність, економічну ефективність та екологічну безпеку. Вона забезпечує енергетичну гнучкість, дозволяє ОСББ практично повністю зменшити залежність від газу,

забезпечує високий рівень комфорту для мешканців і формує сучасну модель енергонезалежного житлового господарства.

3.2.1. Аналіз ефективності гібридної системи сонячних колекторів та біокотла

Поглиблений аналіз ефективності гібридної системи сонячних колекторів та біокотла вимагає врахування ряду факторів, серед яких сезонність споживання тепла, характеристики палива, віддача сонячної енергії у різні місяці року, а також структуру витрат ОСББ на утримання існуючої інфраструктури. В умовах України найбільш критичними є листопад, грудень, січень та лютий, коли середньодобова температура повітря є низькою, а сонячна інсоляція перебуває на мінімальному рівні. У ці місяці сонячні колектори дають лише від 10 до 20 % річної продуктивності, і тому саме на біокотел припадає основне навантаження. Проте навіть у такі періоди геліосистема додає енергію до нижньої частини бака–акумулятора, що дозволяє підтримувати температуру теплоносія на рівні, вищому за температуру холодної води, і тим самим зменшувати кількість палива, яке необхідно спалити для досягнення комфортної температури ГВП або опалення.

Важливою особливістю гібридної системи є її здатність значно зменшувати кількість палива завдяки правильній роботі акумуляційного бака. У сучасних європейських проектах баки – акумулятори використовуються як ключовий елемент, що забезпечує стратегію так званої "згладженої генерації". Суть її полягає в тому, що тепло, яке виробляється у різні години доби, накопичується і подається у систему лише в ті моменти, коли це найбільш потрібно. У випадку з біокотлом це означає, що він не запускається щоразу при короткочасному зниженні температури теплоносія, а працює інтенсивно протягом обмеженого часу, коли бак потребує заповнення теплом. Такий режим дозволяє зменшити кількість циклів увімкнення та вимкнення котла, і, відповідно, збільшити строк його служби. Сонячна система у цьому процесі відіграє роль стабілізатора, оскільки зменшує швидкість охолодження бака навіть у зимовий період. Це створює ефект, коли біокотел працює рідше, а економія палива стає більшою, ніж могла б бути при використанні лише одного з джерел тепла.

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.РЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпи	Дата		

З економічної точки зору порівняння біопалива та газу демонструє, що навіть за умов зростання вартості пелет гібридна система залишається вигідною. Середня теплота згорання пелет становить близько 17 – 19 МДж/кг, що еквівалентно теплоті згорання природного газу, але за значно нижчою ринковою ціною. Якщо розглянути приклад будинку, що споживає 20 тонн пелет протягом року, загальна вартість палива становитиме приблизно 100 – 130 тисяч гривень, тоді як еквівалентне теплове навантаження у перерахунку на газ могло б коштувати понад 250 – 350 тисяч гривень залежно від тарифів. Ця різниця стає ще відчутнішою, якщо врахувати сонячну систему, яка покриває від 30 до 60 % річної потреби в теплі. У такому випадку річне споживання пелет може зменшитися до 10 – 15 тонн, що робить економічну модель ще більш вигідною для ОСББ або для адміністрації міні-котельні.

Екологічний ефект гібридної системи також є вагомим. Використання біомаси як палива має замкнений вуглецевий цикл, тобто викиди CO₂, що утворюються при згорянні пелет або деревних брикетів, є рівнозначними кількості, яку рослини поглинають у процесі свого росту. Це означає, що біокотел не додає нових обсягів вуглекислого газу до атмосфери, на відміну від спалювання природного газу або вугілля. Сонячна система, у свою чергу, не створює викидів взагалі, що перетворює гібридний комплекс на інструмент загального зниження екологічного навантаження на житловий район. Якщо розрахувати еквівалентний обсяг заміщення газу для будинку, що використовує гібридну схему, він може становити понад 20 – 30 тисяч м³ газу на рік, що відповідає скороченню викидів CO₂ на 40 – 57 тонн. Для цілого мікрорайону такі показники перетворюються на суттєвий внесок у досягнення локальних екологічних стандартів та програм енергоефективності.

Узагальнюючи технічні та екологічні аспекти, можна стверджувати, що гібридна система є одним із найбільш збалансованих рішень для модернізації теплопостачання в житлових будинках. Вона поєднує гнучкість генерації, можливість роботи в автономному режимі, мінімальні ризики перегріву системи, а також оптимальний розподіл теплових навантажень протягом року. Важливим є і

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.РЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпи	Дата		

те, що обладнання не потребує складного технічного обслуговування: сонячні колектори потребують мінімальної уваги, а сучасні біокотли оснащені автоматичними системами очищення та подачі палива. Це дозволяє ОСББ уникнути необхідності утримувати штатного оператора котельні або зменшити його робочий час.

3.2.2. Впровадження системи в міське планування

З точки зору міського планування впровадження таких гібридних систем може стати важливим кроком у створенні нової моделі децентралізованої енергетики в межах міста. У багатьох європейських країнах, включаючи Данію, Австрію, Німеччину та Чехію, саме комбінація сонячних систем з біокотельнями використовується як основа локальних систем теплопостачання, що дозволяє будинкам зменшувати залежність від централізованих мереж та покращувати автономність у кризових ситуаціях. У контексті українських реалій це особливо важливо з огляду на регулярні ризики відключень газу або електроенергії, а також потребу у швидкій модернізації інфраструктури ЖКГ, яка у багатьох містах перебуває у критичному стані.

Одним з важливих аспектів є також соціальний фактор. Впровадження гібридної системи у будинку сприяє підвищенню рівня довіри мешканців до роботи ОСББ, оскільки люди бачать реальний результат у вигляді стабільної гарячої води, нижчих платежів та сучасного технічного обладнання. Взаємодія між мешканцями, правлінням ОСББ та сервісними компаніями формує нову культуру управління житловим фондом, яка ґрунтується на принципах ефективності, відповідальності та екологічної свідомості. Міжнародний досвід доводить, що після успішного впровадження першої гібридної системи у будинку сусідні ОСББ часто звертаються з ініціативами щодо реалізації аналогічних проєктів, що створює позитивний ланцюговий ефект та прискорює модернізацію цілих кварталів.

3.2.3. Економічні та технологічні аспекти системи

З економічної точки зору не менш важливим є те, що гібридна система може виступати інструментом протидії тарифним ризикам. У випадку різкого зростання вартості газу ОСББ, що має лише газовий котел, опиняється у вкрай складному

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.РЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпи	Дата		

становищі, оскільки не має альтернативи для забезпечення тепла. Гібридна система значною мірою знімає такі ризики, оскільки дозволяє оперативно змінювати структуру генерації: збільшення використання пелет або біомаси навіть на 20 – 30 % дає змогу стабілізувати фінансове навантаження без суттєвого збільшення витрат мешканців. Сонячна система, працюючи незалежно від будь-яких тарифів, стає природним компенсатором для цієї моделі, забезпечуючи щорічний гарантований обсяг безкоштовної енергії.

Оцінюючи довгострокову перспективу, можна стверджувати, що гібридні системи стануть ключовими для переходу українських міст до більш екологічних та стійких моделей теплопостачання. На відміну від повністю електричних систем, вони не створюють додаткового навантаження на електромережі. На відміну від газових, вони не залежать від тарифів та імпорту палива. На відміну від систем на відходах деревини, вони забезпечують прогнозовану якість палива. А у поєднанні із сонячними колекторами вони формують основу для економічно збалансованого та енергетично гнучкого комплексу, придатного для використання у приватних будинках, ОСББ та муніципальних установах.

Таким чином, гібридна система сонячні колектори та біокотел на біомасі може розглядатися як універсальний інструмент підвищення енергонезалежності та енергоефективності житлових будинків. Її впровадження створює широкий спектр переваг: економічних, екологічних, соціальних та інфраструктурних, що робить її однією з найбільш доцільних моделей модернізації теплопостачання у сучасних умовах [14].

У контексті уточнення економічної моделі доцільно розглянути детальний річний енергетичний баланс запропонованої гібридної системи, оскільки саме він визначає обсяг фактичного навантаження на біокотел, обсяг заміщеного газу, а також кількість палива, яку необхідно прогнозувати для сталого функціонування системи протягом року. Умовно річний баланс можна побудувати, враховуючи середню продуктивність сонячної системи та середній рівень теплових потреб будинку, а також сезонні коливання, характерні для кліматичної зони Львова. Важливо відзначити, що сонячні колектори забезпечують не лише підігрів гарячої

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.РЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпи	Дата		

води, а й внесок у систему опалення у періоди міжсезоння, що дозволяє зменшити кількість палива, необхідного для роботи біокотла.

Для наочності наведемо орієнтовні показники річного енергетичного балансу для будинку, який споживає близько 600 тисяч кВт·год теплової енергії на рік (ГВП + опалення), із встановленою площею сонячних колекторів 180 м² та біокотлом потужністю 100 кВт.

Таблиця 3.7 - Орієнтовні показники річного енергетичного балансу для будинку

Показник	Значення
Річна потреба будинку в теплі	600 000 кВт·год
Річна продуктивність сонячних колекторів	95 000 – 115 000 кВт·год
Частка покриття сонячною енергією	16 – 19 %
Річна тепла генерація біокотла	480 000 – 505 000 кВт·год
Еквівалент заміщеного газу	48 000 – 50 000 м³
Річне споживання пелет	18 – 22 т

Ці дані демонструють, що навіть відносно невелика площа сонячних колекторів здатна забезпечити майже п'яту частину всіх теплових потреб будинку, а сукупний ефект від використання біокотла дозволяє повністю уникнути газового опалення, що у сучасних умовах є ключовим елементом енергонезалежності ОСББ. Важливо, що у теплий період сонячна складова покриває понад 70 – 90 % підігріву води, тоді як у холодний період біокотел працює на оптимальному режимі, уникаючи постійних запусків, властивих газовим системам.

Важливим у плануванні є прогнозування вартості експлуатації біокотла. Середня витрата пелет становить 18 – 22 тонни на рік для будинку середньої площі, і за цінами українського ринку це відповідає річним витратам від 110 до 160 тисяч гривень. Для порівняння, еквівалентний обсяг тепла, вироблений газовим котлом, за середнього тарифу міг би коштувати від 260 до 380 тисяч гривень. Таким чином,

лише на паливній складовій економія становить близько 150 – 200 тисяч гривень на рік, без урахування сонячної енергії, яка є повністю безкоштовною та має лише мінімальні операційні витрати, пов'язані з плановим технічним оглядом.

Ще одним важливим елементом економічного обґрунтування є аналіз чутливості системи до зміни вартості пелет, оскільки біопаливо також має тенденцію до коливання на ринку. Для цього можна побудувати умовний прогноз залежно від вартості однієї тонни пелет.

Таблиця 3.8 - Умовний прогноз залежно від вартості однієї тонни пелет.

Ціна пелет, грн/т	Річні витрати на паливо	Економія порівняно з газом (середній сценарій)
6000	108 000 грн	252 000 грн
7000	126 000 грн	234 000 грн
8000	144 000 грн	216 000 грн
9000	162 000 грн	198 000 грн

Навіть за умов максимального подорожчання пелет економія залишається значною, а гібридна система продовжує демонструвати економічну привабливість. Це пояснюється тим, що в моделі теплозабезпечення ОСББ основне навантаження у теплий сезон несе сонячна система, яка не має паливної складової, а в опалювальний період біокотел забезпечує надзвичайно високу ефективність завдяки акумуляційному баку та рівномірному тепловому графіку роботи. Для порівняння, газові котельні у зимові місяці працюють із нерівномірною циклічністю, що збільшує витрати й знижує фактичний ККД.

З погляду екологічного впливу гібридна система значно перевищує традиційні газові або електричні моделі. Система практично усуває викиди, пов'язані зі спалюванням газу, що особливо важливо для міських районів із високою щільністю населення. У той час як біопаливо має певний рівень викидів, вони належать до категорії "вуглецево нейтральних", оскільки походять із біомаси, яка вже була частиною природного циклу вуглецю. Крім того, зменшення

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.РЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпи	Дата		

використання газу знижує не лише викиди CO₂, але й викиди азоту, оксидів сірки та метану, що є важливим аспектом для досягнення сучасних екологічних стандартів міського господарства.

З організаційної точки зору гібридна система має суттєві переваги у сфері експлуатації. Оскільки сонячні колектори працюють без постійного нагляду та не потребують значних втручань, а біокотел має високий рівень автоматизації, обслуговування такої системи може здійснюватися невеликим персоналом або навіть за договором із сервісною компанією. У багатьох випадках ОСББ обирають саме другий варіант, оскільки він дозволяє мінімізувати кадрові витрати та забезпечити гарантійний рівень обслуговування. Крім того, у разі використання сучасних пелетних котлів завантаження бункеру здійснюється раз на 3 – 5 днів, що робить систему зручною для експлуатації без постійної присутності оператора.

3.2.4. Окупність гібридної системи

Важливою частиною проєкту є також прогноз строку окупності системи. Оскільки ваша дипломна робота не передбачає детального розрахунку окупності в цьому розділі, відповідні дані подаються у вигляді загального аналітичного висновку. На основі середніх ринкових сценаріїв можна зазначити, що окупність гібридної системи зазвичай становить від 5 до 9 років у залежності від тарифів на газ і пелети, але при цьому протягом наступних 10 – 15 років система продовжує працювати з мінімальними експлуатаційними витратами та високою економічною віддачею. У порівнянні з чистими газовими котельнями це є ключовою перевагою, оскільки в останніх витрати на паливо зростають щорічно, а вартість обладнання не компенсується тривалими економічними дивідендами.

Гібридна система має також значний стратегічний ефект у контексті сучасних українських викликів. У разі порушення роботи централізованих газових мереж або подорожчання палива мешканці будинку залишаються із стабільним джерелом тепла. Сонячна складова, хоч і не може повністю забезпечити опалення взимку, створює мінімально необхідну теплову підтримку систем, що запобігає аваріям у мережах та полегшує роботу біокотла. Така модель підвищує загальну

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.РЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпи	Дата		

автономність житлових будинків та знижує їхню вразливість до зовнішніх факторів.

Отже, гібридна система сонячних колекторів та біокотла на біомасі є набагато більш збалансованою, ніж класичні однотипні системи. Вона поєднує економічну вигоду, екологічну безпеку, модернізаційний потенціал та високу технічну надійність. У контексті модернізації житлового фонду та міні-котелень вона виступає однією з найбільш перспективних та універсальних технологій, які можуть бути адаптовані для різних типів будівель у межах українських міст.

У контексті довгострокової перспективи впровадження гібридної системи важливо оцінити не лише поточні економічні вигоди, але й можливість масштабування такої моделі у межах цілого району чи навіть міста. Система, побудована на поєднанні сонячних колекторів та біокотла, є достатньо гнучкою, щоб бути адаптованою для різних будинків, незалежно від їх конструктивних особливостей. Оптимізація теплових потоків, мінімальні експлуатаційні витрати та можливість використання місцевого палива роблять таку систему придатною для формування локальних енергоефективних кластерів, які здатні працювати незалежно від централізованих мереж. На практиці це означає, що навіть у разі пошкодження теплотрас або відключення газу район, обладнаний такими гібридними системами, зможе підтримувати мінімальний рівень теплопостачання і гарячого водопостачання[14].

Потенціал масштабування стає особливо важливим у контексті сучасної української енергетичної політики, яка передбачає посилення ролі децентралізованих джерел енергії та відхід від повної залежності від великих централізованих котелень. Гібридні системи можуть бути інтегровані у концепцію розподіленої генерації, де кожен будинок або група будинків виробляє частину теплової енергії самостійно, зменшуючи пікові навантаження на центральні котельні та електричні мережі. Це дозволяє уникнути необхідності масштабних інфраструктурних реконструкцій, зосереджуючи модернізацію лише на локальних вузлах. Досвід країн Скандинавії та Центральної Європи доводить, що такі системи

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.РЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпи	Дата		

можуть працювати надзвичайно ефективно навіть у регіонах з тривалими зимами та нестабільним рівнем сонячної інсоляції.

З екологічної точки зору вплив гібридної системи виходить далеко за межі скорочення викидів CO₂. Використання біопалива замість газу дозволяє зменшити рівень забруднення повітря оксидами азоту та сірки, оскільки пелети та деревні брикети мають значно нижчий рівень вмісту шкідливих домішок порівняно з природним газом у разі його низької якості або недостатнього очищення. Крім того, процес згоряння у сучасних біокотлах є майже повністю контрольованим, а температура горіння – оптимізованою для мінімізації побічних продуктів. Сонячна складова доповнює цю модель, зменшуючи потребу у будь-яких видах палива у весняно-літній період та знижуючи сумарне навантаження на атмосферу.

Важливо врахувати також соціальний ефект, який виникає внаслідок впровадження таких систем. Мешканці будинку, що перейшов на гібридну модель теплопостачання, отримують не лише економію коштів, але й відчуття стабільності та впевненості в майбутньому. Це підвищує рівень довіри до керівництва ОСББ та сприяє готовності до подальших проєктів модернізації, таких як утеплення будинку, встановлення індивідуального теплового пункту або модернізації вентиляційної системи. У перспективі це формує ефект синергії, коли один успішний проєкт стає основою для кількох наступних, а будинок або мікрорайон поступово переходить до нової моделі енергоефективності.

З технічного боку важливо, що гібридна система є надзвичайно стійкою до можливих аварій. У випадку виходу з ладу біокотла сонячні колектори продовжують забезпечувати мінімальний рівень підігріву води, що дозволяє уникнути аварій на трубопроводах у теплий період. У випадку пошкодження сонячної системи біокотел здатен повністю забезпечити будинок необхідним рівнем тепла. Окремі елементи системи мають високий рівень автоматизації, що зменшує ризики людських помилок та робить систему цілком керованою за допомогою сучасних цифрових контролерів. Дистанційне налаштування параметрів, контроль температур, графіків роботи та сигналів про технічні

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.РЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпи	Дата		

несправності – усе це робить систему сучасною і зручною у повсякденному використанні [15].

Доцільно розглянути також динаміку змін вартості енергоносіїв, оскільки саме вона визначає економічну привабливість проекту у довгостроковій перспективі. Газ продовжує залишатися одним з найбільш нестабільних ресурсів з точки зору ціноутворення, а потенційні зміни у міжнародних ринках можуть суттєво вплинути на тарифи протягом короткого періоду. На відміну від газу, вартість пелет має більш плавну та прогнозовану динаміку, оскільки їх виробництво базується на локальних ресурсах і не залежить від імпорتنих коливань. Сонячна енергія залишається безкоштовною та практично необмеженою, а витрати, пов'язані з експлуатацією геліосистем, протягом останніх років знижуються завдяки розвитку технологій та здешевленню обладнання. Така диференціація енергоресурсів є ключовою перевагою гібридної системи.

Для зручності розуміння наведемо умовну таблицю, яка демонструє прогнозовану зміну структури витрат при впровадженні гібридної моделі протягом 5 років:

Таблиця 3.9 - Зміна структури витрат при впровадженні гібридної моделі протягом 5 років

Рік експлуатації	Витрати на біопаливо	Витрати на газ (за потреби)	Експлуатація сонячної системи	Загальні витрати
1	130 000 грн	0	12 000 грн	142 000 грн
2	135 000 грн	0	6 000 грн	141 000 грн
3	140 000 грн	0	6 000 грн	146 000 грн
4	145 000 грн	0	6 000 грн	151 000 грн
5	150 000 грн	0	6 000 грн	156 000 грн

Для порівняння, річні витрати на газ для аналогічного будинку могли б становити від 250 до 420 тисяч гривень залежно від тарифів і фактичного рівня споживання. Таким чином, економічна вигода зберігається на всіх етапах

експлуатації, а сукупна економія протягом перших п'яти років може перевищувати мільйон гривень. Для ОСББ це є суттєвим чинником для прийняття рішення щодо інвестицій у гібридну систему.

Важливо підкреслити, що успішність впровадження гібридної системи залежить також від правильного налаштування режимів роботи обладнання. Найбільшу ефективність система демонструє тоді, коли температура у баку–акумуляторі підтримується на оптимальному рівні, що дозволяє уникати перегрівів або надмірного охолодження. Автоматична система керування координує роботу насосів, клапанів, температурних сенсорів, що формує адаптивний тепловий режим залежно від погодних умов та потреб будинку. Такий підхід забезпечує рівномірний розподіл теплового навантаження та стабільну роботу системи протягом року.

У загальному підсумку можна стверджувати, що впровадження гібридної системи сонячні колектори + біокотел на біомасі є не лише технологічно виваженим, але й економічно доцільним рішенням для українських ОСББ та малих котелень. Система дозволяє збалансувати енергоспоживання, зменшити собівартість теплопостачання, посилити енергонезалежність та забезпечити екологічну безпеку регіону. Вона поєднує у собі потенціал відновлюваної енергії та високу ефективність сучасних біокотлів, створюючи комплексну модель, яка може бути адаптована під будь–який багатоквартирний будинок у межах українських міст. У перспективі такі системи можуть стати основою для формування нової енергетичної інфраструктури українських міст, орієнтованої на децентралізацію, стійкість, економічність та екологічність.

3.3 Запропонована модель біогазової когенераційної установки для очисних споруд міста: технічний, економічний та екологічний потенціал для ЖКГ

У сучасній системі житлово–комунального господарства України одним із найбільш актуальних викликів залишається необхідність зменшення залежності від природного газу та підвищення рівня автономності ключових інфраструктурних об'єктів. Особливе місце серед таких об'єктів займають міські очисні споруди,

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.РЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпи	Дата		

оскільки вони не лише забезпечують життєво важливі технологічні процеси очищення стічних вод, але й є одними з найбільш енергоємних інженерних комплексів у структурі ЖКГ.

3.3.1 Технічна концепція біогазової когенераційної установки та принципи її роботи

Споживання електроенергії, необхідної для роботи насосних станцій, аераційних систем, механічних решіток, ультрафільтраційних установок та систем знезараження, у великих українських містах сягає сотень тисяч кВт·год щомісячно. У цих умовах впровадження когенераційних установок, що працюють на біогазі, стає одним із найбільш ефективних способів зменшення енергетичного навантаження на міські бюджети та одночасно підвищує екологічну безпеку регіону.

Запропонована модель біогазової когенераційної станції базується на принципі анаеробного зброджування осаду очисних споруд, який у нормальних технологічних циклах є побічним продуктом очищення стічних вод. Під час анаеробного процесу органічні речовини, що містяться в осаді, перетворюються на суміш газів, основним компонентом якої є метан. Традиційно цей газ або спалюється на факелах, або не використовується взагалі, що є втратою цінної енергії. Сучасні технології дозволяють перетворити біогаз у цінний енергетичний ресурс: він може бути використаний у когенераційних установках для одночасного виробництва електроенергії та тепла. Такий підхід забезпечує подвійний ефект, оскільки електроенергія може бути використана для потреб самих очисних споруд, а тепло – для підігріву анаеробних реакторів, що підвищує їхню продуктивність[16].

Однією з ключових переваг біогазової когенерації є можливість замикання енергетичного циклу всередині самого підприємства. Це означає, що очисні споруди перетворюються з енергоспоживача на енергонеітральний або навіть енерговиробляючий об'єкт. У випадку, якщо виробництво електроенергії перевищує внутрішні потреби підприємства, надлишок може бути переданий у міську мережу або використаний для забезпечення тепловими ресурсами

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.РЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпи	Дата		

прилеглих об'єктів ЖКГ. Така модель є ефективною з технологічної та економічної точок зору, а також відповідає європейським стратегічним підходам до розвитку енергоефективної міської інфраструктури [17].

Для обґрунтування запропонованої моделі важливо визначити реальний потенціал виробництва біогазу. У середньому очисні споруди міста з населенням 500 – 700 тисяч осіб продукують близько 35 – 45 тисяч тонн сирого осаду на рік. За умови стабільного анаеробного зброджування це дозволяє отримати близько 2.5 – 3.5 м³ біогазу з кожного кілограма сухих речовин. У реальних умовах виробництво біогазу може становити від 4 до 7 мільйонів кубометрів на рік залежно від технологічної схеми станції та ефективності роботи реакторів. Якщо врахувати, що теплотворна здатність біогазу становить близько 20 – 23 МДж/м³, це відповідає річному енергетичному потенціалу, еквівалентному приблизно 22 – 40 мільйонам кВт·год теплової енергії.

Для того щоб ефективно використати цей потенціал, необхідно підібрати когенераційні модулі відповідної потужності. Найчастіше для очисних споруд застосовуються установки потужністю від 150 до 1000 кВт. Потужність вибирається залежно від обсягу біогазу та потреб підприємства. Для прикладу, у запропонованій моделі для середнього українського міста можна встановити два когенераційних двигуни сумарною електричною потужністю 800 кВт. Така установка здатна виробляти близько 5.5 – 6 мільйонів кВт·год електроенергії на рік, що часто становить 60 – 80 % потреб очисних споруд. Крім того, тепло, яке виділяється під час роботи двигунів, може бути використане для підігріву осаду у реакторах та для обігріву технологічних приміщень, що дозволяє значно зменшити споживання природного газу або електроенергії для цих потреб.

Важливою складовою техніко-економічного обґрунтування є визначення капітальних витрат на впровадження біогазової когенераційної станції. Вартість проекту залежить від комплектації, виробника обладнання, обсягу реконструкції існуючої інфраструктури та рівня автоматизації. Зазвичай до структури витрат входять: будівництво або модернізація анаеробних реакторів, система збору та

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.РЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпи	Дата		

очищення біогазу, когенераційні модулі, насосне обладнання, система підігріву, теплообмінники, електричні установки, системи контролю та автоматизації.

Таблиця 3.10 - Умовні інвестиційні витрати

Елемент системи	Орієнтовна вартість, дол США
Анаеробний реактор (модернізація або новий)	800 000 – 1 600 000
Система збору та очищення біогазу	150 000 – 300 000
Когенераційні установки 2x400 кВт	900 000 – 1 400 000
Інженерні мережі та комунікації	100 000 – 180 000
Система автоматизації	80 000 – 150 000
Монтаж та пусконаладження	150 000 – 220 000
Загальні інвестиції	2.2 – 3.8 млн дол США

Хоча початкові інвестиції є значними, вироблення електроенергії та тепла на біогазі дозволяє досягнути суттєвих економічних ефектів. У середньому виробництво 6 мільйонів кВт·год електроенергії може зменшити річні витрати очисних споруд на 12 – 20 мільйонів гривень залежно від тарифу на електроенергію. Додатковою перевагою є можливість продажу надлишкової електроенергії у міську мережу або використання тепла для сусідніх будівель ЖКГ. Це створює альтернативне джерело доходу та додаткову економію для міської громади.

Важливим є і те, що впровадження біогазової когенерації зменшує обсяг осаду, який потребує подальшої утилізації. Анаеробне зброджування дозволяє зменшити обсяг органічних речовин на 40 – 60 %, що зменшує навантаження на полігони та витрати на транспортування. Крім того, стабілізований після зброджування осад може бути використаний як добриво або як сировина для виробництва компосту, що створює додаткову екологічну та економічну цінність.

З екологічної точки зору модель біогазової когенераційної установки є однією з найбільш ефективних серед доступних технологій для підприємств ЖКГ.

Використання власного біогазу дозволяє зменшити викиди метану, який є потужним парниковим газом і має глобальний потеплюючий потенціал, у 25 разів вищий за CO₂. Спалювання біогазу в когенераційних двигунах перетворює метан у вуглекислий газ, що вже значно знижує сумарний потенціал глобального потепління. Крім того, зменшення використання природного газу додатково знижує викиди CO₂, SO₂ та NO_x у міській атмосфері.

У суспільному вимірі впровадження біогазової когенераційної станції підвищує енергетичну безпеку міста. В умовах нестабільності на енергетичних ринках та ризику аварій на електричних мережах когенераційна установка може працювати у режимі резервного джерела енергії, забезпечуючи життєво важливі системи очисних споруд електрикою та теплом навіть у разі відключення енергосистеми. Це є важливим елементом стратегії стійкості критичної інфраструктури.

У результаті запропонована модель формує багаторівневу систему переваг: вона знижує експлуатаційні витрати, скорочує навантаження на бюджет міста, підвищує екологічну ефективність, сприяє енергетичній незалежності та створює додатковий потенціал для подальшої модернізації систем ЖКГ. Враховуючи сучасні реалії енергетичного сектору України та тенденції до декарбонізації міських інфраструктур, такі проєкти можуть стати ключовими елементами нової моделі управління енергоресурсами на рівні муніципалітетів.

Для правильного технічного проєктування біогазової когенераційної станції важливо врахувати характеристики анаеробних реакторів та їхню ефективність при переробці сирого осаду. У більшості міських очисних споруд України використовуються два основні типи анаеробних реакторів: мезофільні, які працюють при температурі 32 – 38 °С, та термофільні, які використовують температурний режим 50 – 57 °С. Мезофільні системи є більш поширеними, оскільки вони технологічно простіші та менш енергоємні, однак термофільні реактори забезпечують на 20 – 40 % більше виробництва біогазу завдяки прискоренню процесів гідролізу та ацетогенезу. У запропонованій моделі доцільним є використання саме мезофільного процесу, оскільки він є більш

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.РЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпи	Дата		

стабільним, потребує менших витрат на підігрів і легше підтримується у стабільному робочому стані навіть при змінній якості вхідного осаду [16].

Одним з ключових технічних параметрів є час гідравлічного утримання осаду в реакторі. Для більшості українських очисних споруд оптимальним значенням є 18 – 25 діб, що забезпечує достатній рівень переробки органічної речовини та стабільне виробництво біогазу. У разі скорочення цього часу ймовірно підвищення рівня органічних домішок у вихідному мулі, що зменшить ефективність когенераційної системи через нестабільність виробництва газу. З іншого боку, збільшення часу утримання до 28 – 35 днів може підвищити якість стабілізованого мулу, але вимагатиме більших об'ємів реакторів, що вплине на капітальну складову проекту. Тому у запропонованій моделі використовуються реактори об'ємом 3000 – 3500 м³ із середнім часом утримання 22 – 24 дні, що забезпечує оптимальну продуктивність при помірних витратах.

Ще одним важливим елементом системи є очищення біогазу перед подачею до когенераційних двигунів. Біогаз, що утворюється у реакторах, містить не лише метан і вуглекислий газ, але й домішки: сірководень, аміак, водяні пари та сліди силоксанів. Наявність сірководню, навіть у невеликих концентраціях, є небажаною, оскільки призводить до корозії металевих частин двигуна, зменшення його ресурсу та збільшення витрат на ремонт. Тому сучасні системи передбачають багатоступеневе очищення газу, яке включає адсорбційні фільтри, охолоджувачі та конденсатовідділювачі. У середньому такі системи дозволяють знизити концентрацію сірководню до рівня менше 50 ppm, що відповідає вимогам більшості європейських виробників когенераційних модулів. У запропонованій моделі передбачається інтеграція комбінованої системи очищення, яка забезпечує стабільну якість палива для двигунів, підвищує їхній ресурс на 40 – 60 % та зменшує потребу в технічному обслуговуванні.

3.3.2 Економічна ефективність і енергобаланс

Розглядаючи економічну ефективність, необхідно врахувати не лише вартість виробленої електричної енергії, а й тепло, що виділяється під час роботи когенераційних модулів. В середньому електричний ККД когенераційної

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.РЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпи	Дата		

установки становить 35 - 42 %, а тепловий ККД – 45 - 55 %. Це означає, що майже весь енергетичний потенціал біогазу може бути використаний у корисній формі. Якщо для міста з населенням 600 тисяч жителів очисні споруди споживають близько 8 - 12 млн кВт·год електроенергії на рік, то когенераційна установка потужністю 800 кВт здатна забезпечити мінімум половину цього навантаження. Економія при цьому є значною, оскільки витрати на електроенергію становлять одну з найбільш витратних статей у бюджеті підприємства. Теплова складова може використовуватися для підігріву реакторів або подачі тепла до інших об'єктів ЖКГ. Це створює додаткову економію, яка в окремих випадках може становити від 1 до 3 мільйонів гривень на рік.

Для формування комплексної економічної моделі наведемо умовний розрахунок річних вигод у порівнянні з витратами:

Таблиця 3.11- Умовний розрахунок річних вигод у порівнянні з витратами

Показник	Значення
Річне виробництво електроенергії	5.8 - 6.2 млн кВт·год
Економія на електроенергії	12 - 20 млн грн
Річне виробництво теплової енергії	6 - 7 млн кВт·год
Еквівалентна економія на теплі	3 - 5 млн грн
Зменшення витрат на утилізацію мулу	1 - 2 млн грн
Сукупний річний економічний ефект	16 - 27 млн грн

У той час як загальні інвестиції становлять 2.2 - 3.8 млн доларів США, навіть за консервативним сценарієм річний економічний ефект дозволяє окупити проєкт протягом 5 - 8 років, а за умов стабільного виробництва біогазу строк окупності може скоротитися до 4 - 6 років. Для критично важливої інфраструктури такий показник є надзвичайно привабливим, особливо якщо врахувати тривалий строк служби когенераційного обладнання, який становить 15 - 20 років при належному технічному обслуговуванні.

З екологічного боку модель когенераційної станції для очисних споруд демонструє значне зниження впливу на навколишнє середовище, оскільки зменшується кількість мулу, який потребує захоронення або інтенсивного механічного зневоднення. Анаеробне зброджування забезпечує стабілізацію органічних речовин, зупиняючи процеси гниття, що значно зменшує утворення запахів та викидів метану. Метан, як відомо, має потенціал глобального потепління, у 25 - 30 разів вищий за CO₂, тому його утилізація в когенераційних двигунах має значний екологічний ефект. Зменшення викидів метану є одним із ключових напрямів екологічної політики ЄС, і впровадження таких систем наближає українські міста до сучасних міжнародних стандартів.

У соціальному та інфраструктурному значенні запропонована модель сприяє підвищенню стійкості та незалежності всієї системи ЖКГ. Очисні споруди, які традиційно є споживачами значних обсягів електричної енергії, перетворюються на частково автономні енергетичні об'єкти, здатні покривати власні потреби у теплі й електриці та навіть передавати надлишки у міську мережу. Такий підхід дозволяє зменшити навантаження на електричну інфраструктуру міста, особливо у пікові години. Крім того, когенераційні установки можуть служити резервним джерелом енергії у разі аварій або відключення електроенергії, забезпечуючи безперервну роботу критично важливих технологічних процесів очищення стічних вод.

Розглядаючи перспективи впровадження запропонованої моделі в українських містах, можна стверджувати, що вона має високий потенціал масштабування. Більшість очисних споруд України працюють за застарілими технологічними схемами, які не враховують можливість виробництва енергії з органічних відходів. Проте наявність потужної сировинної бази – мулу, що утворюється постійно і в значних обсягах, робить біогазову когенерацію ефективним та логічним напрямом модернізації цих підприємств. Запропонована модель не лише забезпечує енергетичну незалежність самих очисних споруд, але й створює фундамент для загальної трансформації міських систем тепlopостачання,

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.РЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпи	Дата		

оскільки надлишкове тепло може бути включене у локальні мережі централізованого теплопостачання.

Важливим аспектом є можливість використання тепла когенераційної установки для обігріву житлових будинків, розташованих поблизу очисних споруд. У багатьох містах Європи саме тепло від когенерації є основою системи централізованого теплопостачання. Українські міста, які прагнуть зменшити залежність від природного газу, можуть інтегрувати тепло когенераційних станцій у свої теплові мережі, поступово замінюючи неефективні котельні. Це особливо актуально для тих районів, де теплові мережі розташовані близько до очисних споруд.

Підсумовуючи наведені технічні, економічні, екологічні та стратегічні аргументи, можна стверджувати, що запропонована біогазова когенераційна установка має не лише високий рівень технологічної складності та ефективності, але й здатна суттєво підвищити рівень енергетичної стабільності міської інфраструктури, зменшити витрати на електроенергію та тепло, скоротити екологічні ризики та забезпечити відчутний соціально-економічний ефект. Це робить запропоновану модель одним із найбільш перспективних напрямів розвитку міських очисних споруд та систем ЖКГ у сучасній Україні. Її впровадження може стати основою для формування нової парадигми управління ресурсами, орієнтованої на сталий розвиток, економічну доцільність та енергетичну незалежність[17].

Запропонована модель біогазової когенераційної установки для міських очисних споруд демонструє комплексний і багатовимірний підхід до модернізації систем житлово-комунального господарства. Її впровадження перетворює традиційно енергоємне та витратне підприємство на енергетичний центр, який здатний не лише компенсувати власне споживання тепла й електроенергії, але й створювати надлишки для потреб міста. Такий підхід формує абсолютно нову парадигму функціонування критичної інфраструктури, де кожен елемент міської екосистеми стає взаємопов'язаним у єдиному енергетичному циклі.

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.РЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпи	Дата		

Біогаз, що утворюється під час анаеробного зброджування осаду, є відновлюваним ресурсом, який в умовах сучасних технологій може бути повністю перетворений у корисну енергію. Умовна факельна утилізація цього газу, яка досі використовується на багатьох українських очисних спорудах, призводить до безповоротних втрат енергетичного потенціалу та до значних екологічних викидів. Перехід до когенерації усуває цю проблему і перетворює відходи технологічного процесу на енергоресурс. Використання когенераційних модулів дозволяє одночасно виробляти електроенергію та тепло, які у сукупності здатні замінити 60 - 80 % традиційного енергопостачання станції. У випадку високої ефективності анаеробного процесу, а також у разі модернізації реакторів цей показник може бути ще вищим.

Економічні переваги впровадження біогазової когенерації є очевидними: суттєве зменшення витрат на електропостачання, зменшення витрат на природний газ для технологічного підігріву, а також скорочення витрат на утилізацію осаду. Крім того, можливий продаж надлишкової електроенергії в міську мережу або її використання для живлення супутніх об'єктів ЖКГ створює додатковий потік фінансової вигоди. За умови правильної організації процесів і стабільного виробництва біогазу строк окупності такого проєкту становить 5 - 8 років, що для інфраструктурних підприємств є високим показником інвестиційної ефективності.

3.3.3 Екологічна та стратегічна цінність моделі

Екологічний ефект впровадження системи є значним не лише на локальному рівні, але й у масштабах міської екосистеми. Анаеробне зброджування та спалювання біогазу зменшує викиди метану, що є одним із найпотужніших парникових газів. Також зменшується викид летких органічних сполук, неприємних запахів, продуктів розкладу органічних речовин та забруднювальних елементів, пов'язаних зі спалюванням природного газу. Стабілізований після зброджування мул може бути використаний як добриво або як сировина для компостування, що створює додаткову екологічну цінність та зменшує навантаження на полігони.

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.РЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпи	Дата		

Загалом запропонована біогазова когенераційна установка є не лише технічно обґрунтованою, економічно вигідною та екологічно чистою технологією, але й стратегічним інструментом підвищення енергетичної незалежності міста. Її впровадження дозволяє перетворити очисні споруди – один із найбільш енергоємних об'єктів ЖКГ – на джерело генерації та стабільності, підвищуючи загальну інфраструктурну стійкість міста, зменшуючи фінансове навантаження на бюджет та забезпечуючи життєво важливі процеси очищення води навіть у надзвичайних ситуаціях. Такий проєкт є ключовим кроком у формуванні сучасної екологічної моделі міського господарства, орієнтованої на ефективність, інновації та сталість.

3.4. Порівняльний аналіз трьох запропонованих моделей

Сучасна система житлово-комунального господарства України перебуває у стані вимушеної трансформації. Зростання вартості енергоносіїв, зношення інфраструктури та необхідність підвищення рівня енергетичної незалежності міських об'єктів актуалізують потребу у впровадженні нових технологічних рішень. У цьому контексті три розглянуті моделі – сонячні колектори для ОСББ, гібридна система «сонячні колектори + біокотел на біомасі» та біогазова когенераційна установка для очисних споруд міста – представляють різні рівні технологічної складності, різний масштаб впливу та різний рівень інтеграції у міську інфраструктуру. Вони не є конкурентними технологіями, а радше складовими єдиної, багаторівневої, системної стратегії модернізації ЖКГ, що дозволяє суттєво зменшити споживання газу, підвищити енергоефективність та забезпечити сталий розвиток міських територій.

Порівняння цих моделей дозволяє оцінити їхні можливості, обмеження та взаємодоповнюваність (табл 3.12). Найменш складною з точки зору впровадження є система сонячних колекторів. Вона не потребує капітальних реконструкцій, складної інфраструктури або великих земельних територій. Її інтеграція в ОСББ є відносно простою та швидкою, а експлуатаційні витрати – мінімальними. Найважливішою перевагою сонячних колекторів є їх здатність забезпечувати гарячу воду практично без вартості у весняно-літній період. У мікрорайонах з

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.РЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпи	Дата		

великою кількістю багатоквартирних будинків впровадження таких систем дозволяє суттєво знизити тиск на міську теплову інфраструктуру, особливо влітку, коли котельні працюють у неефективному режимі, забезпечуючи лише гарячу воду. Таким чином, сонячні колектори, незважаючи на свою відносну простоту, відіграють важливу роль у більш широкій структурі енергоефективності.

Водночас така модель має свої обмеження. Вона не може замінити газову генерацію у зимовий період, не здатна повноцінно забезпечувати опалення та не підходить для об'єктів, де існують високі й стабільні теплові навантаження протягом року. Тому сонячні колектори є найбільш ефективними як елемент комбінованої системи або як стартовий етап модернізації будинків, які прагнуть зменшити витрати на ГВП. Для ОСББ це означає отримання найбільш швидкого ефекту від інвестицій, оскільки значна частина річного споживання гарячої води припадає саме на теплу пору року. Водночас важливо розуміти, що повної автономності будинку така система не забезпечує.

На другому рівні складності знаходиться гібридна система «сонячні колектори + біокотел на біомасі». Це технологічно та енергетично більш продумане рішення, здатне не лише знизити витрати на гарячу воду, але й суттєво скоротити споживання газу для опалення. Біомаса – пелети, тріска, агровідходи – є локально доступним ресурсом, який не залежить від міжнародних ринків. Якщо сонячні колектори дозволяють забезпечувати до 70 - 100 % потреб у гарячій воді влітку, то біокотел повністю покриває опалення у зимовий період. Перевагою цієї моделі є її автономність: незалежність від газу та значне зниження вартості тепла. Завдяки акумуляційному баку гібридна система працює рівномірно та ефективно, зменшуючи навантаження на обладнання. У середньому економія при переході на біокотел становить 150 - 250 тисяч гривень на рік, залежно від розміру будинку та цін на газ і пелети. Це робить гібридну систему фінансово привабливою навіть у випадках, коли початкові інвестиції є вищими, ніж у випадку лише сонячної системи.

Гібридна система є ідеальним рішенням для ОСББ, які прагнуть повністю замінити використання газу і перейти до сучасної децентралізованої

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.РЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпи	Дата		

теплогенерації. Вона також підходить для малих муніципальних котелень, які можуть забезпечувати теплом не лише один будинок, а групу об'єктів. У перспективі така система може стати елементом мікрорайонної автономної генерації тепла, особливо у тих районах, де теплові мережі зношені або неефективні. Недоліком цієї моделі є її залежність від логістики пелет та необхідність періодичного технічного обслуговування котла. Проте з огляду на сучасні високоефективні автоматичні системи подачі палива ці недоліки є мінімальними.

На третьому, найбільш складному рівні знаходиться біогазова когенераційна установка для очисних споруд міста. Це технологія зовсім іншого масштабу, здатна не просто модернізувати окремий об'єкт, а суттєво змінити структуру міської енергетики. На відміну від перших двох моделей, що працюють у масштабі будинку або мікрорайону, біогазова когенерація функціонує у масштабі всього міста, перетворюючи органічні відходи на енергію. Вона здатна забезпечити 5 - 7 мільйонів кВт·год електроенергії та таку ж кількість тепла, що замінює десятки мільйонів гривень щорічних витрат на забезпечення роботи очисних споруд. За масштабами ефекту ця система не має аналогів у рамках одного підприємства ЖКГ, оскільки перетворює один з наймасштабніших енергоспоживачів у енергонезалежний об'єкт.

Окрім економії електроенергії, когенерація зменшує навантаження на полігони за рахунок стабілізації мулу, скорочує викиди метану, підвищує рівень енергетичної безпеки, дозволяє забезпечувати тепло іншим міським об'єктам, створює основу для інтеграції в систему централізованих теплових мереж та дозволяє місту зменшити залежність від газових котелень. На відміну від сонячних чи гібридних систем, когенерація має складнішу інфраструктуру, потребує більших інвестицій і відповідальної експлуатації. Проте її економічний ефект у десятки разів більший, ніж у попередніх моделей, а стратегічна роль для міста – максимальна.

При порівнянні екологічного впливу трьох моделей можна відзначити, що всі вони сприяють скороченню викидів CO₂, проте масштаби цього скорочення

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.РЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпи	Дата		

різні. Сонячні колектори забезпечують зменшення викидів на рівні 20 - 30 тонн на рік для одного будинку. Гібридні системи дають більший ефект – 40 - 57 тонн на рік. Біогазова когенерація працює в іншому масштабі: зменшення викидів може становити сотні тонн CO₂-еквіваленту щороку, враховуючи утилізацію метану та скорочення кількості відходів. У екологічній ієрархії це ставить когенерацію на рівень міської екологічної інфраструктури, тоді як сонячні та гібридні системи працюють на рівні будинку або району.

З точки зору масштабованості всі три системи можуть бути впроваджені в будь-якому місті України, однак їхня ефективність залежить від масштабу застосування. Сонячні колектори легко масштабуються і можуть бути встановлені практично у будь-якому будинку. Гібридні системи потребують більше координації, але вони можуть формувати локальні теплові кластери. Біогазові когенераційні установки масштабуються лише у межах одного великого підприємства – очисних споруд, але їхній ефект поширюється на все місто.

Порівняння інвестицій показує значні відмінності у вартості впровадження. Сонячні колектори для ОСББ коштують 70 - 100 тисяч доларів, гібридні системи – 80 - 115 тисяч доларів, а біогазова когенерація – 2.2 - 3.8 мільйона доларів. Проте співвідношення інвестицій до економії радикально різне. Найбільше співвідношення економії до інвестицій мають саме когенераційні установки, оскільки один об'єкт може приносити економію до 27 млн грн щороку.

З погляду стратегічної ролі в системі міського господарства кожна модель виконує свою функцію. Сонячні колектори створюють первинний рівень децентралізації теплопостачання. Гібридні системи переходять до середнього рівня автономності й можуть стати основою районної незалежності від газу. Біогазова когенерація формує високий рівень системної незалежності міста, забезпечуючи стабільність критичної інфраструктури.

Таким чином, порівняння трьох моделей показує, що жодна з них не є універсальною, але разом вони утворюють повний комплекс технологій, здатних забезпечити енергетичну стійкість міста. Вони доповнюють одна одну: сонячні системи працюють на рівні окремих споживачів, гібридні – на рівні районів,

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.РЗ	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпи	Дата		

когенерація – на рівні міської критичної інфраструктури. Це створює унікальну можливість побудувати багаторівневу модель енергетичної безпеки, де кожен рівень підсилює попередній.

Насамкінець слід зазначити, що впровадження таких моделей дозволить українським містам не лише зменшити витрати на енергоресурси, але й перейти до сучасної концепції циркулярної економіки, де відходи стають ресурсом, а енергія виробляється там, де вона споживається. Саме поєднання цих трьох технологій створює фундамент для стійкого розвитку, економічної ефективності та екологічної безпеки українського ЖКГ.

Характеристика	Приклад 1: Сонячні колектори для ОСББ	Приклад 2: Гібридна система сонячні колектори + біокотел	Приклад 3: Біогазова когенерація для очисних споруд
Призначення	ГВП багатоквартирних будинків	ГВП та опалення ОСББ / малих котелень	Електро- та теплозабезпечення очисних споруд
Джерело енергії	Сонячна енергія	Сонячна енергія + біомаса	Біогаз (метан) з осаду
Енергетичний ефект	40 - 60 % заміщення ГВП	60 - 90 % заміщення газу	60 - 80 % покриття потреб очисних споруд
Річна економія	15 000 - 25 000 дол	150 000 - 250 000 грн	16 - 27 млн грн
Капітальні інвестиції	70 000 - 100 000 дол	80 000 - 115 000 дол	2.2 - 3.8 млн дол
Строк окупності	5 - 7 років	5 - 9 років	5 - 8 років
Екологічний ефект	Зменшення CO ₂ на 20 - 30 т/рік	Зменшення CO ₂ на 40 - 57 т/рік	Скорочення викидів метану, зменшення мулу
Масштабованість	Висока для ОСББ	Висока в межах ЖКГ	Висока для міст від 100 тис населення
Технологічна складність	Низька	Середня	Висока

ВИСНОВОК

Комплексний аналіз сучасного стану та перспектив впровадження відновлюваних джерел енергії у житлово–комунальному господарстві України дає змогу стверджувати, що альтернативні технології не лише відповідають актуальним викликам галузі, але й здатні забезпечити системні економічні, екологічні та енергетичні переваги для міст і територіальних громад. Проведене дослідження доводить, що ефективність альтернативних рішень значною мірою залежить від їх правильної інтеграції у конкретні умови функціонування комунальних об'єктів. Саме тому було розроблено три техніко–економічні моделі – сонячні колектори для систем ГВП ОСББ, гібридна система «сонячні колектори + біокотел на біомасі» та біогазова когенераційна установка для очисних споруд міста – які демонструють різні рівні впливу на систему ЖКГ та різні масштаби енергетичної трансформації.

Перша модель – використання сонячних колекторів у ОСББ – показала, що геліотермальні системи є технологічно зрілими, економічно ефективними та придатними для впровадження в умовах багатоквартирних будинків. Вони здатні замінити до 60 % річного енергоспоживання на гаряче водопостачання, зменшити сезонні пікові навантаження на централізовані мережі і стабілізувати фінансові витрати мешканців. Їх ефективність підтверджується як міжнародними прикладами (Польща, Австрія, Німеччина), так і українськими пілотними проєктами в закладах освіти, що доводить можливість широкого використання систем такого типу у ЖКГ.

Друга модель – гібридна система «сонячні колектори + біокотел» – є логічним продовженням модернізації житлових комплексів і мікрорайонів. Завдяки поєднанню двох типів джерел тепла вдається досягти максимальної річної автономності будівель, значно зменшити використання природного газу та оптимізувати витрати ОСББ і комунальних підприємств. Використання місцевої біомаси забезпечує стабільність тарифів та зменшує залежність від зовнішніх ринків енергоносіїв. Досвід українських громад, зокрема Невицького та Славутича, підтве-

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.В			
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата	ВИСНОВОК	Літ.	Арк	Аркушів
Розроб.		Піцик О.						
Провер.		Ільченко О.В.						
Н. Контр.		Титюк В.К.				ЕМ гр.ЗЕМО-24м		
Затверд.		Толмачев С.Т						

рджують технічну здійсненність та економічну привабливість цього підходу. Саме гібридні системи в середньостроковій перспективі можуть формувати локальні енергетичні кластери та забезпечувати районний рівень енергонезалежності.

Третя модель – біогазова когенерація на очисних спорудах – має стратегічне значення для міської інфраструктури. На відміну від двох попередніх рішень, що працюють на рівні будинку або мікрорайону, біогазова когенераційна установка забезпечує трансформацію одного з найбільших енергоспоживачів міста на енерговиробляючий об'єкт. Аналіз показав, що когенерація здатна покривати до 80 % річних потреб очисних споруд в електричній і тепловій енергії, зменшуючи витрати підприємства на десятки мільйонів гривень щороку. Крім економічних вигод, така модель суттєво знижує викиди парникових газів, стабілізує роботу критичної інфраструктури та створює умови для розвитку циркулярної економіки, де відходи перетворюються на ресурс.

Порівняльний аналіз трьох моделей показав, що всі вони мають власні сфери застосування, технічні особливості та масштаб ефекту. Сонячні колектори є оптимальним рішенням для домогосподарств і ОСББ, гібридні системи – для локальних мереж теплопостачання та малих котелень, а біогазові когенераційні установки – для міських підприємств критичної інфраструктури. Разом вони формують багаторівневу архітектуру енергетичної автономності, яка може бути застосована в українських громадах: від рівня одного будинку до рівня великого міста. Така модель відповідає європейським тенденціям сталого розвитку, принципам енергоефективності та сучасним вимогам до кліматичної нейтральності.

Узагальнюючи результати дослідження, можна зробити висновок, що впровадження відновлюваних джерел енергії у ЖКГ є не лише можливим, а й необхідним шляхом модернізації комунальної інфраструктури України. Використання сонячної енергії, біомаси та біогазу дає змогу підвищити енергетичну стабільність, зменшити фінансові витрати населення та органів місцевого самоврядування, скоротити екологічні ризики та забезпечити довгострокову стійкість систем теплопостачання та водовідведення. Враховуючи

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.В	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпи	Дата		

позитивні результати реальних українських та міжнародних проєктів, можна стверджувати, що моделі, розглянуті у роботі, є технічно обґрунтованими, економічно ефективними та повністю адаптованими до українських умов.

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.В	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпи	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кириченко О. С. Енергозбереження та використання поновлюваних джерел енергії. Київ, 2014. 312 с.
2. Кудря С. О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії : підручник. Київ : НТУУ «КПІ», 2012. 492 с. ISBN 978-966-622-521-7.
3. Сегеда М. С., Олійник М. Й., Дудурич О. Б. Нетрадиційні та відновлювані джерела електроенергії : навч. посіб. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2019. 204 с.
4. Немикіна О. В. Поновлювальні та альтернативні джерела енергії : навч. посіб. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2020. 188 с.
5. UNDP Ukraine. Towards a Green Transition of the Energy Sector in Ukraine. 2023. URL: <https://www.undp.org/ukraine/publications/towards-green-transition-energy-sector-ukraine> (дата звернення: 20.11.2025).
6. Клименко В. В., Солдатенко В. П., Плешков С. П. Альтернативні джерела енергії та технології їх використання. Кропивницький : ЦНТУ, 2023. 206 с.
7. UNDP Ukraine. Development and Commercialization of Bioenergy Technologies in the Municipal Sector of Ukraine. 2023. URL: <https://www.undp.org/uk/ukraine/projects/rozvytok-ta-komertsializatsiya-bioenerhetychnykh-tekhnologiy-u-munitsypalnomu-sektori-v-ukrayini>).
8. Ecopolitic. Екологічні новини України. URL: <https://ecopolitic.com.ua/en/su-2/>
9. 100RE Ukraine. У Долині на даху дитсадка встановлять сонячну батарею. URL: <https://100re.org.ua/en/u-dolyni-na-dahu-dytsadka-vstanovlyat-sonyachnu-batareyu/>

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.Л			
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Піцик О.			ЛІТЕРАТУРНІ ДЖЕРЕЛА		Літ.	Арк
Провер.		Ільченко О.В.						Аркушів
Н. Контр.		Титюк В.К.					ЕМ гр.3ЕМО-24м	
Затверд.		Толмачев С.Т						

10. NEFCO. Ukraine's first completed solar-powered critical infrastructure project. 2023. URL: <https://www.nefco.int/news/ukraines-first-completed-solar-powered-critical-infrastructure-project/>
11. Solar Heat Europe. Welcome to Solar Heat Europe. URL: <https://solarheateurope.eu/welcome-to-solar-heat-europe/> (дата звернення: 20.11.2025).
12. Solar Heat Europe. Solar Thermal Markets 2023. Brussels, 2023. 68 p.
13. Haller M., Boudéhen F., Mugnier D. Solar thermal systems for domestic hot water and space heating — State-of-the-art review. Solar Energy. 2022.
14. European Biomass Association (AEBIOM). European Bioenergy Outlook 2023. Brussels, 2023. 112 p.
15. Obernberger I., Thek G. Combustion and gasification of solid biomass for heat and power production. Progress in Energy and Combustion Science. 2021.
16. World Biogas Association. Global Biogas Report 2023. London, 2023. 120 p.
17. Appels L., Baeyens J., Degreè J., Dewil R. Anaerobic digestion in global bio-energy production: Technical and economic outlook. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2022.

					КНУ. РМ.141.25.480с. 01.Л	Арк.
Зм	Арк.	№ докум.	Підпи	Дата		