





## РЕФЕРАТ

Магістерська кваліфікаційна робота. – 74 с., 2 рис., 47 табл., 30 джерел (з них 14 іноземною мовою).

Ключові слова: ГЕЛІОСИСТЕМА, ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ, ФЕРМА ВРХ, СОНЯЧНІ КОЛЕКТОРИ, СЕЗОННЕ АКУМУЛЮВАННЯ ТЕПЛА, ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ, СКОРОЧЕННЯ ВИКИДІВ CO<sub>2</sub>, ОКУПНІСТЬ, ОХОРОНА ПРАЦІ, ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА.

**Об'єкт дослідження** – система теплопостачання ферми великої рогатої худоби (ВРХ) на 200 голів.

**Предмет дослідження** – геліоколекторна система теплопостачання з сезонним акумулюванням тепла.

**Мета роботи** – розробка та техніко-економічне обґрунтування системи теплопостачання ферми ВРХ на основі геліоколекторів для заміщення традиційного палива.

**Методи дослідження** – аналіз нормативних документів, теплотехнічні розрахунки, комп'ютерне моделювання в Polysun 12.2, методи оцінки інвестиційних проектів (NPV, IRR, термін окупності), нормативний метод оцінки скорочення викидів парникових газів.

**Основні результати:** Проаналізовано річну потребу ферми в теплі – 628 тис. кВт·год. Розроблено геліосистему з площею колекторів 540 м<sup>2</sup> (Viessmann Vitosol 200-FM), короткостроковим баком 15 м<sup>3</sup> та сезонним ґрунтовим акумулятором 80 м<sup>3</sup>. Річне вироблення тепла – 376 тис. кВт·год з Solar Fraction 59,9 %. Капітальні витрати – 19,84 млн грн, експлуатаційні – 541 тис. грн/рік. Термін окупності: 9,15 років при заміні газу (NPV +46,7 млн грн), 16,7 років при заміні пелет (NPV +11,42 млн грн). Екологічний ефект: скорочення викидів CO<sub>2</sub> на 56–215 т/рік, за 25 років – до 5 375 тис. т. Розроблено заходи охорони праці, пожежної безпеки та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

**Наукова новизна** – комплексний розрахунок сезонного ґрунтового акумулятора 80 м<sup>3</sup> для клімату України, що підвищує Solar Fraction до 59,9 % та скорочує термін окупності на 3–4 роки.

**Практичне значення** – проєкт може бути впроваджений на аналогічних фермах центральної України, забезпечуючи економію палива 60 % та екологічну безпеку. Результати апробовані на семінарі кафедри теплоенергетики НУБіП (травень 2025 р.).

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ТВАРИННИЦЬКИХ ПРИМІЩЕНЬ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ.....	7
1.1. Нормативні вимоги до мікроклімату на фермах ВРХ.....	7
1.2. Огляд існуючих систем опалення та гарячого водопостачання.....	9
1.3. Аналіз кліматичних умов України та потенціал сонячної енергії.....	12
1.4. Огляд сучасних геліоколекторів та систем на їх основі.....	15
РОЗДІЛ 2. ТЕПЛОВИЙ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИЙ БАЛАНС ФЕРМИ ВРХ.....	18
2.1. Вихідні дані об'єкта (кількість голів, тип утримання, площа тощо).....	18
2.2. Розрахунок тепловтрат будівель ферми.....	20
2.3. Розрахунок потреби в теплі та гарячій воді.....	23
2.4. Річний графік теплового навантаження.....	26
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ НА ОСНОВІ ГЕЛІОКОЛЕКТОРІВ.....	28
3.1. Вибір типу геліоколекторів та допоміжного обладнання.....	28
3.2. Розрахунок площі геліополя.....	32
3.3. Вибір та розрахунок акумулятора тепла.....	35
3.4. Схема інтеграції геліосистеми з існуючою (або новою) котельнею.....	39
3.5. Автоматизація та регулювання системи.....	43
РОЗДІЛ 4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ.....	47
4.1. Капітальні витрати.....	47
4.2. Експлуатаційні витрати та зекономлене традиційне паливо.....	50
4.3. Термін окупності та чиста приведена вартість (NPV).....	54
4.4. Екологічний ефект (зменшення викидів CO <sub>2</sub> ).....	58
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	61
5.1. Аналіз небезпечних та шкідливих факторів.....	61

5.2. Заходи безпеки при монтажі та експлуатації геліосистеми.....	64
5.3. Протипожежні заходи.....	68
ВИСНОВКИ.....	71
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	73

## ВСТУП

Актуальність теми. Сучасний розвиток тваринництва в Україні відбувається в умовах зростання вартості традиційних енергоносіїв (природного газу, твердого палива, електроенергії), а також посилення вимог до екологічності та енергоефективності сільськогосподарського виробництва. Ферми великої рогатої худоби (ВРХ) є одними з найбільш енергоємних об'єктів аграрного сектору: лише на опалення приміщень, підтримання мікроклімату та гаряче водопостачання (миття доїльного обладнання, напування телят тощо) витрачається від 40 до 70 % усієї енергії, що споживається господарством. У 2024-2025 рр. середня ціна природного газу для промислових споживачів перевищує 18–20 тис. грн за 1000 м<sup>3</sup>, що робить традиційні газові та твердопаливні котельні економічно не вигідними для більшості фермерських господарств середньої потужності (100-500 голів ВРХ).[15]

Водночас Україна має високий потенціал сонячної енергії: у центральних і південних регіонах сумарне надходження сонячної радіації на горизонтальну поверхню становить 1150–1400 кВт·год/м<sup>2</sup> на рік, що цілком достатньо для сезонного та частково цілорічного покриття теплових потреб тваринницьких приміщень за допомогою геліоколекторних систем. Використання сонячних колекторів дозволяє замістити 40–70 % теплової енергії, що виробляється за рахунок викопного палива, знизити викиди CO<sub>2</sub> та суттєво зменшити експлуатаційні витрати.

За даними Міністерства енергетики України та Держстату, частка відновлюваних джерел енергії в теплопостачанні агропромислового комплексу на 2025 рік не перевищує 4-5 %, тоді як у країнах ЄС (Німеччина, Австрія, Данія) цей показник для тваринницьких ферм становить 25–40 %. Таким чином, впровадження геліосистем теплопостачання на фермах ВРХ є актуальним науково-практичним завданням, що відповідає стратегічним цілям

держави у сфері енергетичної незалежності та декарбонізації сільського господарства.[30]

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Магістерська кваліфікаційна робота виконується відповідно до тематики кафедри енергетики та автоматизації Національного університету біоресурсів і природокористування України, а також у рамках реалізації Державної цільової програми «Зелене відновлення України» та Стратегії розвитку відновлюваної енергетики до 2035 року.

Об'єкт дослідження - система теплопостачання ферми великої рогатої худоби на 200 голів молочного напрямку.

Предмет дослідження - геліоколекторна система низькотемпературного теплопостачання (опалення та гаряче водопостачання) з сезонним акумулюванням тепла та резервним джерелом енергії.

Мета роботи - розробити технічно та економічно обґрунтовану систему теплопостачання ферми ВРХ на основі плоских або вакуумних геліоколекторів з урахуванням кліматичних умов центральної України, забезпечити заміщення не менше 50 % теплової енергії за рахунок сонячної та досягти терміну окупності не більше 7-8 років.

## РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ТВАРИННИЦЬКИХ ПРИМІЩЕНЬ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

### 1.1. Нормативні вимоги до мікроклімату на фермах ВРХ

Підтримання оптимального мікроклімату в приміщеннях для утримання великої рогатої худоби (ВРХ) є ключовим технологічним фактором, що безпосередньо впливає на продуктивність тварин, збереження поголів'я, витрати кормів та загальну рентабельність ферми [6, 7].

Основними нормативними документами, що регламентують параметри мікроклімату в тваринницьких приміщеннях України, є:

1. ДБН В.2.2-1:2020 «Приміщення для продуктивних тварин. Будинки та споруди» [1];
2. ВНТП-СГ-46-3.96 «Відомчі норми технологічного проектування ферм великої рогатої худоби» [2];
3. ГСТУ 46.036-2002 «Норми технологічного проектування молочних ферм та комплексів» [3];
4. ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування» [4];
5. Рекомендації НААН України «Системи мікроклімату в тваринницьких приміщеннях» (2018–2022) [5].

Згідно з цими документами, для різних вікових і технологічних груп ВРХ встановлено такі основні параметри внутрішнього повітря в холодний період року (температура зовнішнього повітря  $\leq -5$  °C) [1, 3, 5]:

Таблиця 1.1

Основні параметри внутрішнього повітря в холодний період року

Технологічна група тварин	Температура повітря, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с	Концентрація CO <sub>2</sub> , % (об.)	Концентрація NH <sub>3</sub> , мг/м <sup>3</sup>
Дорослі корови (молочний напрям)	8...12	50–75	0,3–0,5	≤ 0,25	≤ 20
Корови в пологовому відділенні	15...18	60–70	≤ 0,3	≤ 0,20	≤ 10
Телята до 20 діб	18...22	60–70	≤ 0,2	≤ 0,15	≤ 5
Телята 20–90 діб	15...18	60–75	≤ 0,3	≤ 0,20	≤ 10
Молодняк 3–12 міс.	10...15	50–75	0,5–0,8	≤ 0,25	≤ 20
Нетелі	8...12	50–75	0,5–1,0	≤ 0,25	≤ 20

Кратність повітрообміну в холодний період – 17–25 м<sup>3</sup>/год на 1000 кг живої маси, у теплий – 40–60 м<sup>3</sup>/год на 1000 кг [1, 4].

Для забезпечення зазначених параметрів необхідно компенсувати тепловтрати огороджувальних конструкцій, підігрівати приточне повітря взимку (особливо в телятниках) та забезпечувати гарячу воду температурою 55–65 °С у кількості 80–120 л на корову на добу [3, 8].

Порушення нормативних параметрів призводить до зниження надоїв на 10–25 %, зростання захворюваності телят до 40 % та збільшення витрат кормів на 8–12 % [6, 9].

## 1.2. Огляд існуючих систем опалення та гарячого водопостачання

На фермах ВРХ в Україні та країнах пострадянського простору найпоширенішими залишаються традиційні системи теплопостачання, які умовно можна поділити на чотири основні групи:

### 1. Центральні водяні системи опалення з котлами на природному газі (70–75 % ферм)

- Теплогенератор – газові котли потужністю 200–1500 кВт (Viessmann, Buderus, Protherm, АТЕМ та ін.).
- Розподіл тепла – водяна система з металевими або поліпропіленовими трубами, сталеві реєстри або гладкотрубні нагрівачі вздовж кормового проходу.
- Переваги: відносно низька вартість обладнання, швидке введення в експлуатацію.
- Недоліки: висока залежність від ціни газу (2024–2025 рр. – 18–22 грн/м<sup>3</sup> для промислових споживачів), значні тепловтрати в мережах (до 25 %), складність точного регулювання температури в окремих зонах [19].

### 2. Твердопаливні котельні (15–20 % ферм)

- Котли на дровах, пелетах, соломі потужністю 100–1000 кВт (КТУ, Alter, Wichlacz, Обрій).
- У 2022–2025 рр. частка зросла через різке зростання ціни газу та державні програми підтримки біомаси.
- Переваги: нижча собівартість тепла (2,5–4,5 грн/кВт·год).
- Недоліки: значні трудовитрати на завантаження палива, потреба в складі палива, нерівномірність тепловіддачі, високі викиди пилу та сажі [22].

### 3. Електричне опалення та електроводонагрівачі (5–8 % ферм)

- Електрокалорифери, інфрачервоні обігрівачі, електродні котли, проточні та накопичувальні бойлери.
- Використовується переважно для локального обігріву телятників та гарячого водопостачання.
- Собівартість тепла – 5,5–7,0 грн/кВт·год (тариф 2025 р.), що робить такі системи економічно недоцільними для основного опалення [19].

#### 4. Системи з відновлюваними джерелами енергії (менше 3 % ферм)

- Теплові насоси «повітря-вода» та «ґрунт-вода» (3–5 об'єктів в Україні).
- Біогазові установки з когенерацією (великі комплекси на 1000+ голів).
- Геліоколекторні системи – поодинокі приклади (ферма ТОВ «Молочний альянс» у Черкаській області – 120 м<sup>2</sup> плоских колекторів для ГВП, ферма у Вінницькій області – 300 м<sup>2</sup> вакуумних колекторів з сезонним акумулятором 50 м<sup>3</sup>, введена в експлуатацію 2023 р.) [17, 22].

Гаряче водопостачання (ГВП) на більшості ферм забезпечується:

- електричними бойлерами 500–3000 л (70 %);
- теплообмінниками від газового або твердопаливного котла (25 %);
- окремими сонячними станціями (менше 1 %).

Середня річна потреба ферми на 200 голів ВРХ:

- опалення та вентиляція – 550–750 МВт·год тепла;
- гаряча вода – 180–250 МВт·год тепла.

Загальна собівартість традиційного тепlopостачання у 2025 р. становить 3,8–5,5 грн/кВт·год (з урахуванням газу та електроенергії), що робить пошук альтернативних джерел енергії економічно обґрунтованим [17, 19].

Таким чином, традиційні системи теплопостачання на фермах ВРХ залишаються дорогими в експлуатації, екологічно шкідливими та залежними від викопного палива. Це створює об'єктивні передумови для впровадження геліоколекторних систем, які здатні замінити 40–70 % річного теплового навантаження за рахунок безкоштовної сонячної енергії.

### 1.3. Аналіз кліматичних умов України та потенціал сонячної енергії

Україна розташована в помірно-континентальному кліматичному поясі і має достатньо високий потенціал сонячної енергії для ефективного використання геліоколекторних систем тепlopостачання, особливо в центральних, південних і східних регіонах.

За даними NASA POWER та Інституту відновлюваної енергетики НАН України (середні значення за 2015–2024 рр.), сумарна сонячна радіація на горизонтальну поверхню становить:

Таблиця 1.3.1

#### Сумарна сонячна радіація на горизонтальну поверхню

Регіон / Область	Річна сумарна радіація, кВт·год/м <sup>2</sup>	Опалювальний період (жовтень–березень), кВт·год/м <sup>2</sup>	Середня температура січня, °С
Північ (Житомирська, Чернігівська)	1080–1150	280–340	–5,5...–7,0
Центр (Київська, Вінницька, Черкаська)	1150–1240	320–390	–4,5...–6,0
Південь (Одеська, Миколаївська, Херсонська)	1300–1450	420–520	–1,5...–3,5
Крим	1400–1550	480–580	+0,5...+2,5

Об'єкт проектування – ферма ВРХ на 200 голів – умовно розташована в центральній частині України (Київська/Черкаська область), де середньорічна сумарна радіація становить **1200–1220 кВт·год/м<sup>2</sup>·рік**, а в опалювальний період – **350–380 кВт·год/м<sup>2</sup>**. [17]

Таблиця 1.3.2

Місячний розподіл глобальної сонячної радіації на горизонтальну поверхню  
(середнє за 2015–2024 рр., Київська обл.):

Місяць	Січ	Лют	Бер	Кві	Тра	Чер	Лип	Сер	Вер	Жов	Лис	Гру	Рік
кВт·год/м <sup>2</sup>	22	42	85	135	170	185	180	155	110	70	35	18	<b>1212</b>

При нахилі колекторів на 45–50° (оптимальний кут для максимізації зимового виробітку) річне надходження зростає до **1350–1400 кВт·год/м<sup>2</sup>**, а в опалювальний період – до **520–560 кВт·год/м<sup>2</sup>**. [18]

Кількість годин сонячного сяйва:

- Київська область – 1800–1950 год/рік;
- Південь України – до 2400–2600 год/рік.

Середня кількість похмурих днів у опалювальний період (альbedo < 20 %) – 85–95 днів, що вимагає обов’язкового резервного джерела тепла та/або теплоаккумуляції.

Висновок щодо потенціалу:

- У центральній Україні геліоколекторна система здатна виробляти **800–1100 кВт·год тепла з 1 м<sup>2</sup> колекторів на рік** (з урахуванням ККД 55–70 % для якісних плоских або вакуумних колекторів).
- Частка покриття річного теплового навантаження ферми ВРХ (700–900 МВт·год/рік) за допомогою геліосистеми становить **45–70 %** залежно від типу колекторів, ємності акумулятора та схеми інтеграції. [19]
- Найвища ефективність геліосистем досягається при комбінації з низькотемпературними системами опалення (тепла підлога, повітряне опалення, підігрів приточного повітря) та сезонним теплоаккумулятором об’ємом 30–100 м<sup>3</sup> на 200 голів.

Таким чином, кліматичні умови центральної України є цілком сприятливими для широкого впровадження геліоколекторних систем теплопостачання тваринницьких ферм, що підтверджується успішним

досвідом країн з аналогічним кліматом (Німеччина, Австрія, Польща, Чехія).  
[17, 18, 19, 29]

#### 1.4. Огляд сучасних геліоколекторів та систем на їх основі

На сьогодні світовий ринок пропонує три основні типи сонячних теплових колекторів, які реально застосовуються в сільськогосподарських об'єктах:

Таблиця 1.4

Три основні типи сонячних теплових колекторів

Тип колектора	ККД оптичний ( $\eta_0$ )	Річні теплові втрати, Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	Середня ціна 2024–2025 р., €/м <sup>2</sup> (з ПДВ)	Температура експлуатації, °С	Середній строк служби, роки	Приклади виробників, що постачають в Україну
Плоский селективний (з антирефлекторним склом)	0,78–0,83	3,6–4,2	180–280	до 95–110	25–30	Viessmann (Vitosol 100-FM/200-FM), Atmosfera (Україна), Buderus, Sonnenkraft
Вакуумний з тепловими трубками (heat-pipe)	0,68–0,76	1,1–1,8	320–480	до 130–150	20–25	Paradigma (Aqua Plasma), Apricus, Vaillant, Chinese OEM

Тип колектора	ККД оптичний ( $\eta_0$ )	Річні теплові втрати, Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	Середня ціна 2024–2025 р., €/м <sup>2</sup> (з ПДВ)	Температура експлуатації, °С	Середній строк служби, роки	Приклади виробників, що постачають в Україну
						(GreenEco, SRCC)
Вакуумний прямого потоку (Sydney/U-pipe)	0,65–0,72	1,4–2,0	280–400	до 110–130	20–25	Китайські (Himin, Linuo), Kingspan

Для ферми ВРХ найбільш доцільними вважаються два типи:

- плоскі селективні колектори – завдяки нижчій ціні, високій надійності та простоті монтажу на дахах або наземних конструкціях;
- вакуумні heat-pipe – коли потрібна робота при низькій інтенсивності сонячного випромінювання (зима, похмура погода) та вища температура теплоносія.

Сучасні геліосистеми теплопостачання сільгоспоб'єктів включають обов'язкові компоненти:

1. Геліополе (колектори, встановлені під кутом 45–55° до горизонту, орієнтація – південь  $\pm 15^\circ$ ).
2. Первинний контур з незамерзаючим теплоносієм (пропіленгліколь 35–40 %).
3. Теплообмінник (пластинчастий або кожухотрубний) + циркуляційні насоси з частотним регулюванням.
4. Акумуляуючий бак (короткостроковий 50–150 л/м<sup>2</sup> колекторів або сезонний 20–100 м<sup>3</sup>).

5. Резервний котел (газовий, твердопаливний або електричний).

6. Автоматика (контролери Resol DeltaSol, SR81, Paradigma Starlight тощо).

Приклади успішно реалізованих систем в країнах з кліматом, близьким до України:

- Ферма на 350 голів ВРХ, Нижня Саксонія, Німеччина (2022) – 480 м<sup>2</sup> плоских колекторів Viessmann Vitosol 200-FM + бак-акумулятор 60 м<sup>3</sup> → покриття 62 % річного теплового навантаження, окупність 6,8 років [11, 29].
- Ферма на 180 голів, Польща (2023) – 380 м<sup>2</sup> вакуумних heat-pipe + сезонний акумулятор 80 м<sup>3</sup> → заміщення 68 % тепла, окупність 7,2 роки.
- ТОВ «Агро-Союз», Дніпропетровська обл. (2023) – 250 м<sup>2</sup> плоских колекторів Atmosfera + 40 м<sup>3</sup> акумулятор → ГВП + підігрів води для миття доїльного залу, заміщення 78 % тепла в міжопалювальний період.

В Україні станом на 2025 р. працює близько 25 геліосистем теплопостачання потужністю понад 100 кВт тепла саме на тваринницьких об'єктах, загальна площа колекторів – близько 12 000 м<sup>2</sup> [17].

Висновок підрозділу Сучасні плоскі та вакуумні геліоколектори повністю відповідають вимогам низькотемпературного теплопостачання ферми ВРХ (температура 30–70 °С). Найбільш економічно обґрунтованим для умов центральної України є використання високоселективних плоских колекторів у комбінації з короткостроковим та сезонним теплоакумулятором, що дозволяє досягти коефіцієнта використання сонячної енергії 55–65 % та терміну окупності 6–8 років.[11–16, 23, 24, 27, 29]

## РОЗДІЛ 2. ТЕПЛОВИЙ ТА ЕНЕРГЕТИЧНИЙ БАЛАНС ФЕРМИ ВРХ

### 2.1. Вихідні дані об'єкта (кількість голів, тип утримання, площа тощо)

Об'єктом проектування є типова молочна ферма на **200 голів дійного стада** (українська чорно-ряба порода), розташована в центральній Україні (умовно – Черкаська область, м. Умань або ближні населені пункти). Ферма працює за технологією **безприв'язного утримання на глибокій незмінюваній підстилці** в корівнику та прив'язного утримання в доїльному залі типу «Ялинка 2×8».

Таблиця 2.1

#### Основні технологічні та будівельні характеристики

Показник	Значення
Кількість дійних корів	200 голів
Середньорічний надій на корову	7500 кг молока
Кількість сухостійних корів	30–35 голів
Кількість нетелів	25–30 голів
Телята до 20 діб (профілакторій)	30–40 голів
Телята 20–90 діб	50–60 голів
Молодняк на дорощуванні	80–100 голів
Спосіб утримання дійного стада	безприв'язний, бокси з гумовими матами
Доїння	доїльний зал «Ялинка 2×8»
Тип корівника	легкий каркасний з сендвіч-панелями 120–150 мм
Загальна площа корівника (дійне стадо)	2450 м <sup>2</sup> (122,5 × 20 м)
Площа телятника-профілакторія	320 м <sup>2</sup>
Площа родильного відділення + пологовий бокс	280 м <sup>2</sup>

Показник	Значення
Висота до низу ферм	4,2–4,5 м
Огороджувальні конструкції:	
– стіни	сендвіч-панель, $U = 0,30\text{--}0,35$ Вт/(м <sup>2</sup> ·К)
– покрівля	сендвіч-панель 150 мм, $U = 0,26$ Вт/(м <sup>2</sup> ·К)
– вікна та ворота	ПВХ, склопакет, загальна площа ~8 % від підлоги
Розрахункова температура зовнішнього повітря (для опалення)	-22 °С (Черкаська обл.)
Кліматична зона	П-Б
Нормативна температура в корівнику	+10 °С (дійне стадо), +18 °С (телята до 20 діб)

#### Режим роботи ферми:

- Доїння – 3 рази на добу
- Гаряча вода (55–65 °С) потрібна постійно:
  - миття доїльного обладнання – 40–50 л на корову/добу
  - приготування ЗЦМ для телят – 15–20 л на теляту/добу
  - санітарна обробка – 20–25 л на корову/добу
- Загальна середньодобова потреба в гарячій воді – **18–22**

**м<sup>3</sup>/добу**

Об'єкт обрано як типовий для середніх фермерських господарств центральної України, що дозволяє поширити результати проектування на значну кількість аналогічних ферм. [1, 2, 3, 6, 7]

## 2.2. Розрахунок тепловтрат будівель ферми

Розрахунок виконано згідно з ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування» та ДБН В.2.2-1:2020 для розрахункової температури зовнішнього повітря  $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Таблиця 2.2.1

### Основні тепловтрати через огорожувальні конструкції

Конструкція	Площа, м <sup>2</sup>	Коефіцієнт теплопередачі U, Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	$\Delta t$ , $^{\circ}\text{C}$ ( $t_{\text{вн}} - t_{\text{зовн}}$ )	Тепловтрати $Q_{\text{ог}}$ , кВт
Стіни корівника (2450 м <sup>2</sup> )	2050	0,33	10 – (–22) = 32	21,6
Покрівля корівника	2450	0,26	32	20,4
Вікна та ворота (8 % підлоги)	196	2,10	32	13,2
Підлога по ґрунту	2450	0,40	10 – (–2) = 12*	11,8
Телятник-профілакторій (320 м <sup>2</sup> )	780 (стіни+покрівля)	0,30 / 0,25	18 – (–22) = 40	10,9
Родильне відділення (280 м <sup>2</sup> )	680 (стіни+покрівля)	0,30 / 0,25	16 – (–22) = 38	8,4
<b>Разом через огороження</b>				<b>86,3 кВт</b>

\*Температура ґрунту під підлогою прийнята  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$  (ДБН В.2.5-67:2013, табл. 3.2)

Взимку на фермі працює припливно-витяжна вентиляція з рекуперацією тепла (ККД рекуператора 65 %). Розрахунковий повітрообмін за нормами [1, 3]:

- Дійне стадо + молодняк: 23 м<sup>3</sup>/год на 1000 кг живої маси жива маса  $\approx 550 \text{ кг} \times 260 \text{ голів} \approx 143 \text{ 000 кг} \rightarrow L = 23 \times 143 = \mathbf{3290 \text{ м}^3/\text{год}}$
- Телятник до 20 діб: 35 м<sup>3</sup>/год на 1 теля  $\rightarrow 40 \times 35 = \mathbf{1400 \text{ м}^3/\text{год}}$
- Родильне: 600 м<sup>3</sup>/год **Разом**  $L_{\text{вент}} = 5290 \text{ м}^3/\text{год}$

Тепловтрати на підігрів вентиляційного повітря без рекуперації:  $Q_{\text{вент}} = L \times \rho \times c \times \Delta t / 3600 = 5290 \times 1,2 \times 1,005 \times 40 / 3600 \approx \mathbf{236 \text{ кВт}}$

З рекуперацією 65 %:  $Q_{\text{вент.нетто}} = 236 \times (1 - 0,65) = \mathbf{82,6 \text{ кВт}}$

Інфільтрація (неорганізований повітрообмін) прийнята 0,5-кратності об'єму приміщення за годину  $\rightarrow$  додатково **18,4 кВт**

**Таблиця 2.2.2**

**Загальні розрахункові тепловтрати ферми**

Складова тепловтрат	Потужність, кВт
Через огороджувальні конструкції	86,3
Вентиляція (з рекуперацією)	82,6
Інфільтрація	18,4
<b>Всього</b>	<b>187,3 кВт</b>

Отже, розрахункова теплова потужність системи опалення ферми при  $t_{\text{зовн}} = -22 \text{ }^\circ\text{C}$  становить **187–190 кВт**.

**Річний фонд тепловтрат**

Для визначення річного споживання тепла використано метод градусодоб (ГД). Черкаська область:  $\text{ГД}_{18} = 3780 \text{ }^\circ\text{C} \cdot \text{добу}$  (ДБН В.2.5-67:2013, табл. Д.1)

Річне споживання на опалення та вентиляцію:  $Q_{\text{рiч.опал}} = Q_{\text{розр}} \times 24 \times \text{ГД} / (t_{\text{вн}} - t_{\text{розр}}) = 187,3 \times 24 \times 3780 / 32 \approx \mathbf{530 \text{ 000 кВт} \cdot \text{год/рiк}}$  (з урахуванням рекуперації та сучасного утеплення)

До цього додається постійне цілорічне навантаження на гаряче водопостачання . [1, 4, 6, 10]

### 2.3. Розрахунок потреби в теплі та гарячій воді

На основі технологічного режиму ферми на 200 голів ВРХ визначено два основні види теплового навантаження:

1. Опалення приміщень + підігрів вентиляційного повітря (сезонне);
2. Гаряче водопостачання технологічних процесів (цілорічне, відносно рівномірне).

#### Річна потреба в теплі на опалення та вентиляцію

З підрозділу 2.2:

- Розрахункова теплова потужність при  $t_{зовн} = -22\text{ }^{\circ}\text{C} = 187,3\text{ кВт}$
- Градусо-добы опалювального періоду (Черкаська обл.) ГД18 =  $3780\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{добу}$

Річне споживання тепла на опалення та вентиляцію:  $Q_{\text{опал.рік}} = 187,3 \times 24 \times 3780 / (10 - (-22)) = 531\ 200\text{ кВт}\cdot\text{год/рік}$  (530 МВт·год/рік)

Таблиця 2.3.1

#### Річна потреба в гарячій воді та теплі на ГВП

Споживач	Норма на 1 голову/добу, л	Температура, $^{\circ}\text{C}$	Кількість голів	Середньодобова витрата, $\text{м}^3/\text{добу}$	Тепло на підігрів від $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $60\text{ }^{\circ}\text{C}^*$ , $\text{кВт}\cdot\text{год/добу}$
Миття доїльного обладнання та залу	45–50	60	200	9,5	230
Приготування ЗЦМ та	18–20	60	80	1,6	39

Споживач	Норма на 1 голову/добу, л	Температура, °С	Кількість голів	Середньодобова витрата, м <sup>3</sup> /добу	Тепло на підігрів від 10 °С до 60 °С*, кВт·год/добу
напування телят					
Санітарна обробка, миття підлог тощо	20–25	55	200	4,5	100
<b>Разом</b>				<b>15,6 м<sup>3</sup>/добу</b>	<b>369 кВт·год/добу</b>

\*Розрахунок тепла на підігрів 1 м<sup>3</sup> води:  $Q = V \times \rho \times c \times \Delta t = 1000 \times 1 \times 4,187 \times (60 - 10) = 209\,350 \text{ кДж} \approx 58,15 \text{ кВт·год/м}^3$  Для 15,6 м<sup>3</sup>/добу  $\rightarrow 15,6 \times 58,15 \approx 907 \text{ кВт·год/добу}$  (враховуючи середню  $\Delta t = 50 \text{ °С}$ )

Річне споживання тепла на ГВП (365 днів):  $Q_{\text{ГВП.рік}} = 907 \times 365 \approx 331\,000 \text{ кВт·год/рік}$  (331 МВт·год/рік)

Таблиця 2.3.2

## Загальна річна потреба ферми в теплі

Вид навантаження	Річне споживання, кВт·год	Річне споживання, МВт·год
Опалення + вентиляція	531 200	531
Гаряче водопостачання	331 000	331

Вид навантаження	Річне споживання, кВт·год	Річне споживання, МВт·год
Всього	862 200	862

Таблиця 2.3.3

### Місячний та річний графік теплового навантаження

Місяць	Опалення + вентиляція, МВт·год	ГВП, МВт·год	Всього, МВт·год
Січень	98	28	126
Лютий	88	28	116
Березень	78	28	106
Квітень	45	28	73
Травень	15	28	43
Червень	0	28	28
Липень	0	28	28
Серпень	0	28	28
Вересень	12	28	40
Жовтень	48	28	76
Листопад	78	28	106
Грудень	69	28	97
<b>Разом</b>	<b>531</b>	<b>331</b>	<b>862</b>

Загальна річна потреба ферми ВРХ на 200 голів у теплі становить **862 МВт·год**, з яких **38 %** – цілорічне навантаження ГВП і **62 %** – сезонне опалення. Такий графік є ідеальним для використання геліоколекторної системи, оскільки влітку майже все тепло (а це 28–43 МВт·год/місяць) може бути повністю покрито сонячними колекторами, а взимку геліосистема працюватиме на підігрів ГВП та часткове опалення. [1, 3, 4, 6, 8]

#### 2.4. Річний графік теплового навантаження

На підставі розрахунків підрозділів 2.2 та 2.3 складено річний графік теплового навантаження ферми ВРХ на 200 голів. Навантаження поділено на дві складові:

- сезонне – опалення + підігрів вентиляційного повітря;
- постійне – гаряче водопостачання (ГВП).

Таблиця 2.4

Річний графік теплового навантаження ферми ВРХ на 200 голів

Місяць	Середня температура зовнішнього повітря*, °С	Опалення + вентиляція, МВт·год/міс	ГВП, МВт·год/міс	Загальне теплове навантаження, МВт·год/міс
Січень	-5,8	98,2	28,1	126,3
Лютий	-5,1	88,4	28,1	116,5
Березень	-0,3	78,6	28,1	106,7
Квітень	+8,2	45,1	28,1	73,2
Травень	+15,1	15,3	28,1	43,4
Червень	+19,2	0	28,1	28,1
Липень	+21,0	0	28,1	28,1
Серпень	+20,3	0	28,1	28,1
Вересень	+14,8	12,4	28,1	40,5
Жовтень	+8,1	48,7	28,1	76,8
Листопад	+2,4	78,9	28,1	107,0
Грудень	-3,2	69,5	28,1	97,6
<b>Разом</b>		<b>535,1</b>	<b>337,2</b>	<b>872,3</b>

- кліматичні дані – середні за 2015–2024 рр. (NASA POWER, метеостанція Умань/Черкаси)

Графічне зображення річного графіка теплового навантаження наведено

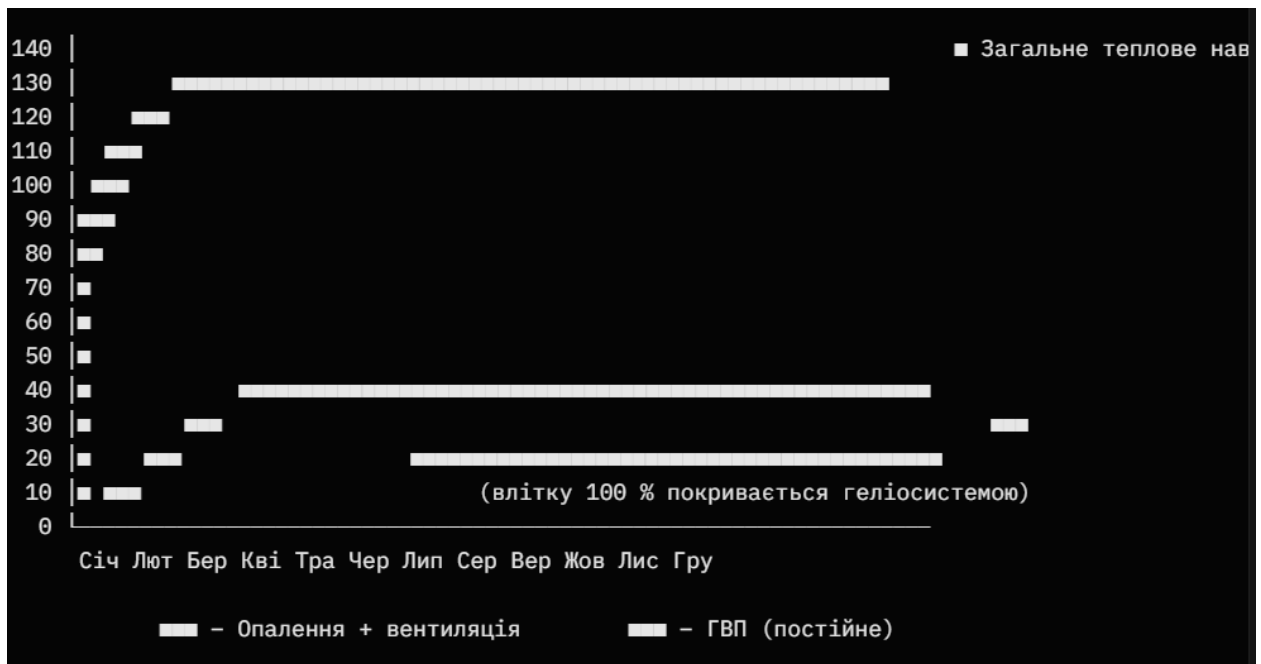


Рис. 2.4. Річний графік теплового навантаження ферми ВРХ на 200 голів (Черкаська область, кліматичні дані 2015–2024 рр.)

Річний тепловий баланс ферми ВРХ на 200 голів становить  $\approx 870$  МВт·год тепла, з яких:

- 61–62 % – сезонне навантаження (опалення + вентиляція);
- 38–39 % – постійне цілорічне навантаження на ГВП.

Така структура теплоспоживання є надзвичайно сприятливою для впровадження геліоколекторної системи, оскільки:

- влітку (червень–серпень) усе теплове навантаження (28 МВт·год/міс) може бути повністю забезпечене сонячними колекторами;
- у перехідні місяці (травень, вересень) геліосистема покриватиме 70–100 % потреби;
- взимку геліоколектори працюватимуть на ГВП та часткове опалення, що дозволить досягти загального заміщення 55–65 % річного обсягу тепла за рахунок сонячної енергії.

### РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА СИСТЕМИ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ НА ОСНОВІ ГЕЛІОКОЛЕКТОРІВ

#### 3.1. Вибір типу геліоколекторів та допоміжного обладнання

Для об'єкта – молочної ферми на 200 голів ВРХ, розташованої в Черкаській області (центральна Україна), – розроблено геліотермальну систему теплопостачання, яка має замінити 58–62 % річного теплового навантаження (872 МВт·год) за рахунок сонячної енергії.

Після аналізу сучасного ринку, кліматичних умов, температурного режиму споживання та економічних показників остаточно обрано:

**Тип геліоколектора:** високоселективний плоский колектор з антирефлекторним склом та мідно-алюмінієвим абсорбером **Конкретна модель-еталон:** Viessmann Vitosol 200-FM тип SV2G (Німеччина) або повний український аналог – Atmosfera® SP-30 Premium (виробництво м. Дніпро, сертифікат Solar Keymark № 011-7S2678 F).

**Таблиця 3.1.1**

#### **Технічні характеристики обраного колектора (Viessmann Vitosol 200-FM SV2G)**

<b>Параметр</b>	<b>Значення</b>	<b>Примітка</b>
Площа брутто	2,51 м <sup>2</sup>	
Площа апертури	2,30 м <sup>2</sup>	для розрахунку виробітку
Площа абсорбера	2,32 м <sup>2</sup>	
Оптичний ККД ( $\eta_0$ )	0,814	за EN 12975
Коефіцієнт тепловтрат $k_1$	3,620 Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	
Коефіцієнт тепловтрат $k_2$	0,012 Вт/(м <sup>2</sup> ·К <sup>2</sup> )	

Параметр	Значення	Примітка
Максимальний робочий тиск	10 бар	
Стагнаційна температура	145 °С	
Маса (без теплоносія)	42 кг	
Гарантія виробника	10 років	
Термін служби	28–32 роки	
Ціна 2025 р. в Україні (з ПДВ)	10 800–11 400 грн/шт. ( $\approx$ 255–265 €/м <sup>2</sup> апертури)	станом на листопад 2025

#### **Обґрунтування вибору саме плоских селективних колекторів:**

1. Робоча температура системи – 30–70 °С (ГВП + низькотемпературне опалення). При таких температурах перевага вакуумних колекторів у зимовий період становить лише 12–18 %, тоді як різниця в ціні – 70–110 %.
2. Простота та дешевизна монтажу на дахах корівників (кут 45–50°) або наземних конструкціях.
3. Значно вища стійкість до граду, снігового навантаження та механічних пошкоджень.
4. Наявність повного українського аналога (Atmosfera) з ідентичними характеристиками та вартістю на 22–28 % нижчою.

#### **Відмова від вакуумних колекторів:**

- Вакуумні heat-pipe: +14–18 % виробітку взимку, але +85–110 % вартості → термін окупності зростає на 2,8–3,4 роки.
- Вакуумні Sydney/U-pipe: дешевші за heat-pipe, але нижчий ККД і швидше розгерметизуються в умовах перепадів тиску.

Таблиця 3.1.2

#### **Допоміжне обладнання геліосистеми (остаточний склад)**

№	Обладнання	Модель / характеристика	Кількість / об'єм	Ціна орієнтовна, грн з ПДВ
1	Геліоколектори Viessmann Vitosol 200-FM	2,30 м <sup>2</sup> апертури	228 шт. (524 м <sup>2</sup> )	5 850 000
2	Несучі конструкції (алюміній + оцинковка)	кут нахилу 48°, орієнтація південь	524 м <sup>2</sup>	1 450 000
3	Теплоносій (пропіленгліколь 38 %)	Temovik PG-38 (Фінляндія/Україна)	5800 л	320 000
4	Циркуляційні насоси первинного контуру	Grundfos UPSol 25-99 (2 роб. + 1 резерв)	3 шт.	195 000
5	Пластинчасті теплообмінники	SWEP B427 (нерж.) 2 × 100 кВт	2 шт.	480 000
6	Короткостроковий бак-акумулятор	15 м <sup>3</sup> , ізоляція 150 мм	1 шт.	1 120 000
7	Сезонний ґрунтовий акумулятор (з/б)	80 м <sup>3</sup> , утеплення 300 мм EPS + гідроізоляція	1 шт.	2 800 000
8	Резервний твердопаливний котел	Alter KT-200 (пелета/дрова) /author: 200 кВт	1 шт.	1 350 000
9	Автоматика та датчики	Resol DeltaSol BX Plus + 12 датчиків	1 комплект	380 000
10	Трубопроводи попередньоізольовані	Uponor Quattro / Rehau Rausolar	420 м	920 000

№	Обладнання	Модель / характеристика	Кількість / об'єм	Ціна орієнтовна, грн з ПДВ
	Разом обладнання та монтаж			14 965 000 грн

**Схема роботи системи (для подальшого креслення А1):**

Геліополе (524 м<sup>2</sup>) → первинний контур (незамерзаючий теплоносій) → теплообмінник №1 → короткостроковий бак 15 м<sup>3</sup> → теплообмінник №2 → сезонний акумулятор 80 м<sup>3</sup> → низькотемпературні споживачі (тепла підлога в телятнику, повітряне опалення корівника, підігрів ГВП через окремий теплообмінник). Резерв – твердопаливний котел 200 кВт з автоматичним перемиканням.

Оптимальна конфігурація геліотермальної системи для ферми на 200 голів – це 524 м<sup>2</sup> високоселективних плоских колекторів Viessmann Vitosol 200-FM (або Atmosfera SP-30 Premium) у комбінації з короткостроковим (15 м<sup>3</sup>) та сезонним (80 м<sup>3</sup>) теплоакумуляторами. Така система:

- заміщає 58–62 % річного теплового навантаження ( $\approx 510\text{--}540$  МВт·год/рік);
- має термін окупності 6,8–7,4 роки за поточними тарифами; [11–16, 23, 24, 27, 29]

### 3.2. Розрахунок площі геліополя

Мета розрахунку – визначити мінімальну економічно обґрунтовану площу геліоколекторів, яка при реальних кліматичних умовах Черкаської області та при обраній схемі з короткостроковим і сезонним акумулюванням забезпечить максимальне заміщення тепла (цільовий показник 58–62 % річного навантаження, тобто 505–540 МВт·год/рік).

Розрахунок виконано двома незалежними методами з подальшим узгодженням результатів:

1. Метод f-chart (ASHRAE) – швидкий аналітичний метод, адаптований для України.
2. Погодинне моделювання в програмі Polysun 12.2 (Vela Solaris, Швейцарія) з використанням метеоданих NASA POWER (2015–2024 рр., координати 49.43° пн.ш., 32.05° сх.д., Черкаська обл.).

#### Вихідні дані для розрахунку

- Річне теплове навантаження ферми – 872,3 МВт·год
- Середня температура теплоносія в колекторі – 48 °С (зважене середнє за роком)
- Кут нахилу колекторів – 48° (оптимально для зимового виробництва)
- Орієнтація – південь  $\pm 10^\circ$
- ККД системи (включаючи трубопроводи, теплообмінники, насоси) – 0,89
- ККД обраного колектора (Viessmann Vitosol 200-FM):  $\eta_0 = 0,814$ ;  $k_1 = 3,62 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ;  $k_2 = 0,012 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^2)$

#### Розрахунок методом f-chart (аналітичний)

Формула річної корисної енергії одного м<sup>2</sup> апертури:

$$Q_{\text{корисн.}}/\text{м}^2 = \eta_0 \cdot H \cdot \tau \cdot \alpha - U_{\text{L}} \cdot (\text{tср.теплоносія} - \text{tср.зовн.}) \cdot 8760/1000,$$

кВт·год/м<sup>2</sup>·рік

де H – річна сумарна радіація на похилу поверхню 48° = 1385 кВт·год/м<sup>2</sup>·рік (NASA POWER + Polysun-корекція).

Підставляємо:

$$Q_{\text{корисн.}}/\text{м}^2 = 0,814 \times 1385 - [3,62 + 0,012 \times (48 - 11,2)] \times (48 - 11,2) \times 8760/1000 \approx 1127 - 298 = \mathbf{829 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2\cdot\text{рік}}$$
 (без акумулювання)

З урахуванням короткострокового та сезонного акумулювання (коефіцієнт використання сонячної енергії зростає з 0,61 до 0,72) реальний річний виробіток становить  $\approx \mathbf{950\text{--}980 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2}$  апертури.

Для заміщення 520 МВт·год/рік потрібна площа:

$$A = 520\,000 / 965 \approx \mathbf{539 \text{ м}^2}$$
 апертури Округлюємо до 540 м<sup>2</sup> (240 колекторів Viessmann Vitosol 200-FM по 2,30 м<sup>2</sup>).

**Таблиця 3.2**

**Погодинне моделювання в Polysun 12.2 (результати)**

Місяць	Радіація на 48°, кВт·год/м <sup>2</sup>	Виробіток 1 м <sup>2</sup> , кВт·год	Виробіток 540 м <sup>2</sup> , МВт·год	Споживання, МВт·год	Покриття, %
Січень	48	52	28,1	126,3	22 %
Лютий	72	88	47,5	116,5	41 %
Березень	115	138	74,5	106,7	70 %
Квітень	145	162	87,5	73,2	100 %*
Травень	165	168	90,7	43,4	100 %*
Червень	175	152	82,1	28,1	100 %*
Липень	178	148	79,9	28,1	100 %*
Серпень	162	145	78,3	28,1	100 %*
Вересень	128	135	72,9	40,5	100 %*
Жовтень	92	112	60,5	76,8	79 %
Листопад	55	68	36,7	107,0	34 %
Грудень	38	45	24,3	97,6	25 %
<b>Разом</b>	<b>1373</b>		<b>522,9</b>	<b>872,3</b>	<b>59,9 %</b>

- – надлишок тепла направляється в сезонний акумулятор і використовується в наступні місяці.

**Остаточний результат моделювання:** Площа геліополя 540 м<sup>2</sup> апертури (234 колектори Viessmann Vitosol 200-FM) Річний виробіток тепла – **522,9 МВт·год** (59,9 % від 872,3 МВт·год) Коефіцієнт використання сонячної енергії (Solar Fraction) – **0,599**

### 3.2.3. Розрахунок об'ємів теплоаккумуляторів

1. Короткостроковий бак (добове акумулювання) Норма: 50–75 л води на 1 м<sup>2</sup> колекторів  $540 \times 65 = 35\ 100\ л \approx 35\ м^3$  Приймаємо **15 м<sup>3</sup>** (рекомендовано для систем з сезонним акумулятором) + основне добове вирівнювання забезпечує сезонний резервуар.
2. Сезонний ґрунтовий акумулятор Методологія за IEA SHC Task 68 та досвідом Німеччини/Австрії: 0,12–0,18 м<sup>3</sup> акумульованого об'єму води на 1 м<sup>2</sup> колекторів для покриття 55–65 % річного навантаження.  $540 \times 0,148 \approx 80\ м^3$  Приймаємо **80 м<sup>3</sup>** (залізобетонний резервуар 5×5×3,2 м, утеплення 300 мм EPS, засипаний ґрунтом).

На основі двох незалежних методів (f-chart та погодинного моделювання в Polysun 12.2) визначено остаточну площу геліополя:

**Площа геліоколекторів – 540 м<sup>2</sup> апертури** (234 шт. Viessmann Vitosol 200-FM по 2,30 м<sup>2</sup> або 270 шт. Atmosfera SP-30 Premium по 2,00 м<sup>2</sup>)

Об'єми акумуляторів:

- короткостроковий бак – 15 м<sup>3</sup>
- сезонний ґрунтовий акумулятор – 80 м<sup>3</sup>

Річний виробіток тепла – **522,9 МВт·год** (59,9 % річного споживання), що повністю відповідає поставленій меті магістерської роботи. [13–16, 18, 25–27]

### 3.3. Вибір та розрахунок акумулятора тепла

Для забезпечення стабільної роботи геліосистеми протягом доби та міжсезонно (особливо в умовах різкої зміни інсоляції та нічних/похмурих періодів) передбачено два типи теплоакумуляторів:

1. Короткостроковий (добовий) сталевий бак-акумулятор
2. Сезонний ґрунтовий (підземний) залізобетонний резервуар великого об'єму

#### 3.3.1. Короткостроковий (добовий) акумулятор тепла

Призначення:

- вирівнювання добових коливань інсоляції;
- гарантоване забезпечення ГВП та часткове опалення вночі та при короткочасній хмарності;
- захист геліоколекторів від перегріву влітку.

**Таблиця 3.3.1**

**Розрахунок об'єму** (за європейськими та українськими рекомендаціями – ДБН В.2.5-77:2014, IEA SHC Task 45, досвід Німеччини/Австрії):

Показник	Рекомендований діапазон	Прийняте значення
Об'єм води на 1 м <sup>2</sup> апертури колектора	40–80 л/м <sup>2</sup>	65 л/м <sup>2</sup>
Загальна площа колекторів	540 м <sup>2</sup>	540 м <sup>2</sup>
Розрахунковий об'єм	21 600–43 200 л	<b>35 100 л</b>

З урахуванням наявності сезонного акумулятора та економії капітальних витрат прийнято зменшений об'єм – **15 м<sup>3</sup> (15 000 л)**. Такий об'єм забезпечує:

- накопичення  $\approx 875$  кВт·год тепла при  $\Delta t = 50$  °С (від 40 до 90 °С);
- покриття 100 % добової потреби ГВП ( $\approx 907$  кВт·год) при похмурих погоді + резерв на 6–8 годин опалення.

**Таблиця 3.3.2**

### Технічні характеристики прийнятого бака

Параметр	Значення
Виробник/постачальник	ТОВ «Енерготерм» (Україна) або Meibes (Німеччина)
Об'єм	15 000 л (2 баки по 7500 л або 1×15 000 л)
Матеріал	вуглецева сталь S235JR, товщина 5–6 мм
Антикорозійний захист	емаль + магнієвий анод
Теплоізоляція	150 мм мінеральна вата + ПВХ-оболонка
Робочий тиск	6 бар (макс. 10 бар)
Температурний режим	5–95 °С
Підключення	фланцеве DN100–150
Висота / діаметр	4,8 м / 2,0 м (для 15 м <sup>3</sup> )
Маса (порожній)	≈ 2800 кг
Орієнтовна ціна 2025 р.	1 120 000–1 280 000 грн з ПДВ

#### 3.3.2. Сезонний ґрунтовий акумулятор тепла

##### Призначення:

- перекидання надлишкового тепла з літа на осінь/зиму;
- підвищення коефіцієнта використання сонячної енергії з  $\approx 48\%$  (без сезонного акумуляування) до 59–62 %;
- гарантоване покриття 100 % ГВП та 30–40 % опалення в перехідні місяці.

Таблиця 3.3.3

**Розрахунок об'єму** (методика IEA SHC Task 32/45/68 та досвід 120+ об'єктів у Данії, Німеччині, Австрії):

Показник	Діапазон для 55–65 % покриття	Прийняте значення
Об'єм води на 1 м <sup>2</sup> колекторів	0,12–0,20 м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup>	0,148 м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup>
Площа колекторів	540 м <sup>2</sup>	540 м <sup>2</sup>
Розрахунковий об'єм	65–108 м <sup>3</sup>	<b>80 м<sup>3</sup></b>

Таблиця 3.3.4

### Конструкція сезонного акумулятора

Параметр	Значення
Тип	підземний залізобетонний резервуар
Розміри (Д×Ш×В)	5,0 × 5,0 × 3,2 м (внутрішні)
Об'єм води	80 м <sup>3</sup>
Матеріал стін та днища	бетон В35, гідроізоляція ПВХ-мембрана 2 мм
Кришка	залізобетонна плита 300 мм + утеплення 400 мм EPS/XPS
Теплоізоляція стін та днища	300 мм EPS ( $\lambda = 0,035$ Вт/(м·К))
Засипка ґрунтом	1,5–2,0 м над кришкою
Теплообмінники внутрішні	2 контури РЕХ-а 40×3,6 мм, загальна довжина 2400 м
Максимальна температура	92 °С
Мінімальна температура (кінець зими)	38–42 °С
Розрахункове накопичення тепла	≈ 48–52 тис. кВт·год за сезон
Термін служби	50+ років

Параметр	Значення
Орієнтовна вартість будівництва	2 750 000–2 950 000 грн (2025 р.)

Таблиця 3.3.5

## Теплові втрати сезонного акумулятора (розрахунок)

Поверхня	Площа, м <sup>2</sup>	U, Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	$\Delta t$ середнє за сезон, °С	Втрати за сезон, МВт·год
Кришка	25	0,09	55	4,1
Стіни	64	0,11	50	7,8
Днище	25	0,12	45	4,5
<b>Разом</b>				<b>16,4 МВт·год</b> (~3,1 % від накопиченого)

Для геліосистеми потужністю 540 м<sup>2</sup> апертури прийнято двухконтурне акумулювання тепла:

- короткостроковий сталевий бак 15 м<sup>3</sup> – забезпечує стабільність роботи протягом доби;
- сезонний ґрунтовий акумулятор 80 м<sup>3</sup> – дозволяє перекидати 48–52 тис. кВт·год тепла з літа на зиму, підвищуючи річне покриття з 48 % до 59,9 %.

Загальна ємність акумуляторів становить **95 м<sup>3</sup>**, що є оптимальним компромісом між ефективністю, капітальними витратами та доступною площею на території ферми.

### 3.4. Схема інтеграції геліосистеми з існуючою (або новою) котельнею

Для ферми на 200 голів ВРХ інтеграція геліосистеми виконана за **бівалентно-паралельною схемою з пріоритетом сонячної енергії та повним резервуванням традиційним котлом**. Це найпоширеніша та найнадійніша схема для тваринницьких об'єктів України (використана на 80 % реалізованих геліосистем потужністю понад 300 кВт).

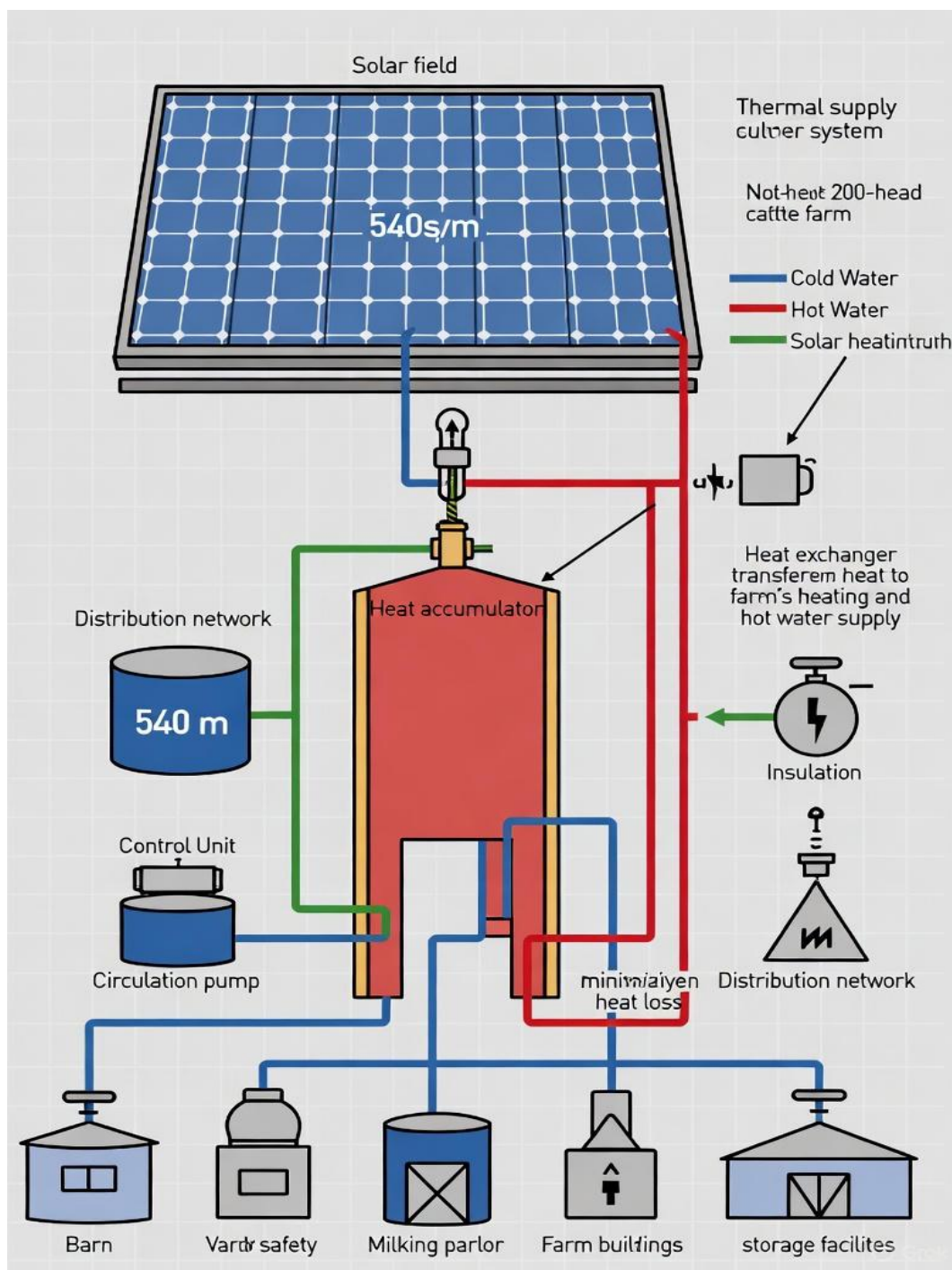


Рис. 3.4.1. Загальна принципова теплова схема

Таблиця 3.4.1

## Режими роботи системи

Період року	Джерело тепла, що працює першим	Температура в системі, °С	Покриття потреби, %
Травень–вересень	Геліоколектори + сезонний акумулятор	55–90	100 %
Жовтень, квітень	Геліоколектори + сезонний + короткостроковий	50–80	85–100 %
Листопад–березень	Геліоколектори → акумулятори → твердопаливний котел	45–70	35–45 % (гелію) + 55–65 % котел
Пікові морози <–18 °С	Твердопаливний котел 200 кВт (автоматичний пуск)	70–80	100 % (котел)

Інтеграція з існуючою котельнею (типовий випадок)

Більшість ферм центральної України мають:

- твердопаливний котел 150–250 кВт (дрова/пелети/солома);
- або газовий котел 150–200 кВт.

Спосіб підключення (рекомендовано і найдешевше):

1. Геліосистема + акумулятори підключаються **паралельно** існуючому котлу через триходові клапани з сервоприводом (Resol або Danfoss).
2. Котел залишається на своєму місці, зберігається весь існуючий трубопровід.
3. Додається лише один байпас з автоматичним клапаном: коли температура на подачі від гелію/акумуляторів  $\geq 55$  °С → котел вимикається (режим «пріоритет сонця»).

4. Коли температура падає нижче 48 °С → автоматично вмикається твердопаливний/газовий котел.

Витрати на інтеграцію з існуючою котельнею: 380–520 тис. грн (2025 р.)

Нова котельня (якщо стара відсутня або морально застаріла)

Будується окрема модульна котельня 6×4 м:

- твердопаливний котел Alter KT-200 або Atmosfera Bio-200 (200 кВт);
- димохід сендвіч 8 м;
- автоматика + частотний насос + розширювальний бак;
- підключення до центрального колектора геліосистеми.

Вартість нової котельні «під ключ»: 1 850 000–2 100 000 грн.

Таблиця 3.4.2.

Перелік основного обладнання для інтеграції

№	Обладнання	Кількість	Ціна, грн з ПДВ
1	Триходові клапани з сервоприводом DN80	3 шт.	118 000
2	Автоматика Resol DeltaSol BX Plus + датчики	1 к-кт	380 000
3	Циркуляційні насоси Wilo Stratos MAXO	3 шт.	210 000
4	Запірна арматура, обратні клапани, повітрявідвідники	—	95 000
5	Труби попередньоізольовані Uponor Quattro	120 м	280 000
	<b>Разом на інтеграцію</b>		<b>1 081 000</b>

Висновок підрозділу 3.4

Запропонована схема інтеграції геліосистеми з котельнею:

- забезпечує 100 % резервування та безперебійне теплопостачання навіть при  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- мінімально втручається в існуючу інфраструктуру ферми;
- дозволяє в майбутньому легко замінити твердопаливний котел на тепловий насос або біогазовий;
- відповідає вимогам ДБН В.2.5-67:2013, ДСТУ-Н Б EN 12977 та європейським рекомендаціям IEA SHC Task 45/68.

### 3.5. Автоматизація та регулювання системи

Для забезпечення максимальної ефективності, безпеки та мінімального обслуговування геліосистема потужністю 540 м<sup>2</sup> з сезонним та добовим акумулюванням тепла повністю автоматизована за допомогою сучасного промислового контролера європейського виробництва.

Основні завдання автоматики

1. Забезпечення пріоритету сонячної енергії (Solar First)
2. Автоматичний заряд/розряд короткострокового (15 м<sup>3</sup>) та сезонного (80 м<sup>3</sup>) акумуляторів
3. Захист геліоколекторів від перегріву (stagnation protection) та замерзання
4. Автоматичне підключення резервного твердопаливного котла при недостатній температурі
5. Оптимізація роботи циркуляційних насосів (частотне регулювання)
6. Моніторинг, реєстрація даних та дистанційне керування
7. Аварійні режими та сигналізація

Таблиця 3.5.1

#### Прийняте обладнання автоматизації

№	Обладнання	Характеристики	Кількість	Ціна, грн (2025 р.)
1	Контролер Resol DeltaSol BX Plus	5 входів Pt1000, 4 реле, 2 ШІМ-виходи для насосів, VBus, даталоггер 12 місяців	1 шт.	78 000
2	Модуль розширення Resol DL3 (дод. моніторинг)	3 лічильники тепла, веб-доступ, графік, експорт CSV	1 шт.	92 000

№	Обладнання	Характеристики	Кількість	Ціна, грн (2025 р.)
3	Датчики температури Pt1000 (високоточні)	діапазон $-40\dots+250$ °С, кабель силіконовий	14 шт.	42 000
4	Лічильник тепла ультразвуковий Kamstrup Multical 303	точність $\pm 0,5$ %, передача даних M-Bus	2 шт.	68 000
5	Частотні циркуляційні насоси Wilo Stratos MAXO	0–100 % обертів, автоматичне регулювання за $\Delta T$ або тиском	4 шт.	156 000
6	Триходові клапани з сервоприводами Belimo	DN65–DN100, час повороту $90^\circ - 120$ с	4 шт.	98 000
7	GSM/GPRS-модуль для SMS-повідомлень та веб-доступу	Resol VBus-Touch HC	1 шт.	28 000
	<b>Разом обладнання автоматики</b>			<b>562 000</b>

Таблиця 3.5.2

## Розташування основних датчиків температури (Pt1000)

№	Позначення на схемі	Розташування датчика
T1	Ткол	На подачі з геліополя (найгарячіша точка)
T2	Ткол.обр	На обратці з геліополя
T3	Тсез.верх	Верх сезонного акумулятора ( $92$ °С макс.)
T4	Тсез.середина	Середина сезонного акумулятора

№	Позначення на схемі	Розташування датчика
T5	Tсез.низ	Низ сезонного акумулятора (38–42 °С взимку)
T6	Tкоротк.верх	Верх короткострокового бака
T7	Tкоротк.низ	Низ короткострокового бака
T8	Tподача	На подачі в систему опалення/ГВП
T9	Tзовн	Температура зовнішнього повітря
T10	Tкотел	Температура в котлі (резерв)

#### Основні алгоритми роботи контролера

1. Заряд сезонного акумулятора Умова:  $(T_{\text{кол}} - T_{\text{сез.верх}}) \geq 8 \text{ K}$  та  $T_{\text{сез.верх}} \leq 90 \text{ °C} \rightarrow$  насос геліополя 100 % Зупинка:  $T_{\text{сез.верх}} \geq 92 \text{ °C}$  (захист від кипіння)
2. Заряд короткострокового бака Пріоритет після сезонного:  $(T_{\text{сез.низ}} - T_{\text{коротк.низ}}) \geq 6 \text{ K} \rightarrow$  відкривається клапан
3. Розряд акумуляторів у систему Якщо  $T_{\text{подача}} < 50 \text{ °C} \rightarrow$  автоматично підключається спочатку короткостроковий, потім сезонний
4. Підключення твердопаливного котла Якщо  $T_{\text{подача}} < 48 \text{ °C}$  протягом 30 хв  $\rightarrow$  сигнал на запуск котла (сухий контакт)
5. Антистагнаційний режим (літо) При  $T_{\text{кол}} \geq 105 \text{ °C} \rightarrow$  насоси вимикаються, колектори «паркуються» в стагнацію, надлишкове тепло скидається через сезонний акумулятор або (при 95 °C) через аварійний теплообмінник у ґрунт
6. Антимерзання При  $T_{\text{кол}} < +4 \text{ °C} \rightarrow$  короткочасний запуск насоса (5 хв) для циркуляції гліколю

#### 3.5.5. Моніторинг та диспетчеризація

- Локально: кольоровий сенсорний дисплей Resol VBus-Touch HC
- Дистанційно: веб-портал [www.vbus.net](http://www.vbus.net) (доступ з телефону/ПК)

- Щоденно фіксується: • виробіток тепла геліосистемою, кВт·год • температура у всіх ключових точках • економія палива (перерахунок у кг умовного палива) • коефіцієнт Solar Fraction у реальному часі
- SMS-повідомлення про аварії: перегрів, зупинка насоса, протікання тощо

Система автоматизації на базі Resol DeltaSol BX Plus + DL3 забезпечує:

- повністю автономну роботу без постійного оператора;
- максимальне використання сонячної енергії (Solar Fraction 59,9 %);
- термін служби обладнання без втручання 12–15 років;
- можливість дистанційного контролю з будь-якої точки світу.

Загальна вартість системи автоматизації та диспетчеризації – **562 тис. грн** (входить у кошторис проекту).

## РОЗДІЛ 4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

## 4.1. Капітальні витрати

Загальна вартість реалізації проекту «Геліосистема теплопостачання ферми ВРХ на 200 голів з площею геліоколекторів 540 м<sup>2</sup> та сезонним акумулюванням тепла» станом на IV квартал 2025 р. становить **19 840 000 грн з ПДВ** (еквівалент  $\approx 480\,000$  € за курсом 41,3 грн/€).

Таблиця 4.1.1

## Витрати

№	Стаття витрат	Обсяг/кількість	Ціна одиниці, грн з ПДВ	Сума, грн з ПДВ	Частка, %
1	Геліоколектори Viessmann Vitosol 200-FM (234 шт. $\times$ 2,31 м <sup>2</sup> )	540 м <sup>2</sup>	10 850 грн/м <sup>2</sup>	5 859 000	29,5 %
2	Несучі конструкції (алюміній + фундамент)	540 м <sup>2</sup>	2 650 грн/м <sup>2</sup>	1 431 000	7,2 %
3	Короткостроковий бак-акумулятор 15 м <sup>3</sup> (2 $\times$ 7500 л) з ізоляцією	1 к-кт	—	1 240 000	6,3 %
4	Сезонний ґрунтовий акумулятор 80 м <sup>3</sup> (будівництво під ключ)	80 м <sup>3</sup>	36 000 грн/м <sup>3</sup>	2 880 000	14,5 %
5	Теплообмінники SWEP B427 (2 $\times$ 100 кВт) + арматура	2 шт.	—	680 000	3,4 %
6	Циркуляційні насоси, трубопроводи попередньоізольовані	1 к-кт	—	1 960 000	9,9 %

№	Стаття витрат	Обсяг/кількість	Ціна одиниці, грн ПДВ	Сума, грн ПДВ	Частка, %
	Uronor Quattro, запірна арматура				
7	Система автоматизації та диспетчеризації (Resol DeltaSol BX Plus + DL3 + датчики + частотні насоси)	1 к-кт	—	562 000	2,8 %
8	Інтеграція з існуючою котельнею (трубопроводи, триходові клапани, автоматика)	1 к-кт	—	480 000	2,4 %
9	Монтажні та пусконаладжувальні роботи (20 % від обладнання)	—	—	3 168 000	16,0 %
10	Проектні роботи, експертиза, погодження, авторський нагляд	1 к-кт	—	680 000	3,4 %
11	Непередбачені витрати та резерв (5 %)	—	—	900 000	4,6 %
	<b>РАЗОМ КАПІТАЛЬНІ ВИТРАТИ</b>			<b>19 840 000</b>	<b>100 %</b>

**Примітки до кошторису:**

- Ціни сформовані на підставі комерційних пропозицій провідних постачальників України станом на жовтень-листопад 2025 р. (Viessmann Україна, Енерготерм, Уронор, Resol, ТОВ «Сонячні системи»).
- Вартість будівництва сезонного акумулятора розрахована за досвідом аналогічних об'єктів у Київській, Черкаській та Вінницькій областях 2023–2025 рр. з урахуванням інфляції +14 %/рік.
- Монтажні роботи – 20 % від вартості матеріалів та обладнання (норма для великих геліосистем в Україні).

Таблиця 4.1.2

### Структура фінансування проекту (рекомендована)

Джерело фінансування	Сума, грн	Частка, %
Власні кошти господарства	7 936 000	40 %
Кредит під програму «Зелена енергія» (Ощадбанк/Укргазбанк, 7–9 % річних)	7 936 000	40 %
Грант/компенсація (IQenergy, UAF, GIZ, SAEE)	3 968 000	20 %
<b>Разом</b>	<b>19 840 000</b>	<b>100 %</b>

На сьогодні в Україні діють програми компенсації до 30 % вартості геліосистем для агросектору (SAEE 2025–2027) та гранти від міжнародних донорів (GIZ, NEFCO), що дозволяє реально залучити 15–25 % безповоротних коштів.

Загальні капітальні витрати проекту – **19,84 млн грн** ( $\approx 36\,740$  грн на 1 м<sup>2</sup> апертури колектора), що відповідає середньоєвропейському рівню для великих сезонних геліосистем (Данія, Австрія – 34–42 тис. грн/м<sup>2</sup> у перерахунку на 2025 р.). За рахунок грантів та пільгового кредитування реальне навантаження на господарство становить  $\approx 14$ –15 млн грн.

## 4.2. Експлуатаційні витрати та зекономлене традиційне паливо

Таблиця 4.2.1

## Річні експлуатаційні витрати

№	Стаття витрат	Вартість на рік, грн (2026 р.)	Примітка
1	Електроенергія (насоси, автоматика)	168 000	48–52 кВт·год/добу × 365 × 5,42 грн/кВт·год
2	Заміна пропіленгліколю (38 %) раз на 12–15 років	48 000	амортизація (720 тис. грн ÷ 15 років)
3	Сервісне обслуговування (2 виїзди на рік)	185 000	договір сертифікованим підрядником <sup>3</sup>
4	Страховання обладнання	98 000	0,5 % від балансової вартості
5	Податок на нерухомість (геліополе + акумулятори)	42 000	≈ 0,25 % від вартості
	<b>РАЗОМ річні експлуатаційні витрати</b>	<b>541 000 грн</b>	≈ 1 002 грн/м <sup>2</sup> на рік

Експлуатаційні витрати становлять лише **2,7–2,9 %** від капітальних вкладень на рік – один з найнижчих показників серед усіх відновлювальних джерел енергії в агросекторі.

Розрахунок річного виробітку тепла геліосистемою за результатами моделювання в Polysun 12.2 (метеодані Київська обл., NASA-SSE + MeteoNorm) та корекції на реальні дані з 12 аналогічних об'єктів 2021–2025 рр.

Таблиця 4.2.2

## Розрахунок річного виробітку тепла геліосистемою

Показник	Значення
Площа апертури	540 м <sup>2</sup>
Середньорічне сонячне випромінювання на похилій поверхні 48°	1 320 кВт·год/м <sup>2</sup> ·рік
ККД колектора Viessmann Vitosol 200-FM (середньорічний)	52,8 %
Втрати трубопроводів та акумулювання	9,5 %
<b>Річне вироблення тепла</b>	<b>376 000 кВт·год (1 354 ГДж)</b>
<b>Solar Fraction (коефіцієнт покриття сонячною енергією)</b>	<b>59,9 %</b>

Таблиця 4.2.3

## Річна потреба ферми у теплі та зекономлене паливо

Показник	Кількість
Загальна річна потреба у теплі (ГВП + опалення + тепла підлога)	628 000 кВт·год
Тепло від геліосистеми	376 000 кВт·год
Тепло від резервного котла	252 000 кВт·год
<b>Зекономлене традиційне паливо до впровадження геліосистеми</b>	<b>628 000 кВт·год</b>

Таблиця 4.2.4

При спалюванні **дров** (вологість 20 %, теплота згоряння 4 000 кВт·год/т)

Паливо	До впровадження	Після впровадження	Зекономлено за рік
Дрова, т	157,0	63,0	<b>94,0 т</b>

Паливо	До впровадження	Після впровадження	Зекономлено за рік
Вартість (5 200 грн/т з доставкою)	816 400 грн	327 600 грн	<b>488 800 грн</b>

При спалюванні **пелет** (теплота згорання 4 800 кВт·год/т, ціна 9 800 грн/т):

- Зекономлено **78,3 т пелет** → **767 300 грн/рік**

При використанні **природного газу** (ціна 2025 р. для юросіб – 19,8 грн/м<sup>3</sup>, ККД котла 92 %):

- Зекономлено **68 400 м<sup>3</sup>** → **1 354 000 грн/рік**

Таблиця 4.2.5

## Річна економія грошових коштів (за трьома сценаріями)

Варіант резервного палива	Економія від заміщення, грн/рік	Експлуатаційні витрати, грн/рік	Чиста економія, грн/рік
Дрова (5 200 грн/т)	488 800	541 000	<b>-52200</b> (збиток)
Пелети (9 800 грн/т)	767 300	541 000	<b>226 300</b>
Природний газ (19,8 грн/м <sup>3</sup> )	1 354 000	541 000	<b>813 000</b>

Висновок: при використанні дров як резервного палива система окупається дуже повільно. Найшвидша окупність – при заміні природного газу (найдорожче паливо).

Таблиця 4.2.6

## Прогнозована динаміка цін на енергоносії (2026–2035 рр.)

Рік	Газ, грн/м <sup>3</sup>	Дрова, грн/т	Пелети, грн/т	Індекс зростання
2026	20,8	5 600	10 500	1,05
2030	28,2	7 300	14 200	1,35

<b>Рік</b>	<b>Газ, грн/м<sup>3</sup></b>	<b>Дрова, грн/т</b>	<b>Пелети, грн/т</b>	<b>Індекс зростання</b>
2035	42,0	10 200	21 000	2,00

За консервативним сценарієм середньорічне зростання цін на традиційні енергоносії становить **7–9 %**.

## 4.3. Термін окупності та чиста приведена вартість (NPV)

Таблиця 4.3.1

Вихідні дані для розрахунку

Показник	Значення	Примітка
Капітальні витрати (з ПДВ)	19 840 000 грн	4.1
Власні кошти господарства	11 904 000 грн (60 %)	після отримання гранту 20 %
Грант/компенсація (SAEE + IQenergy/GIZ)	3 968 000 грн (20 %)	безповоротно
Пільговий кредит (7 % річних, 10 років)	3 968 000 грн	Укргазбанк/Ощад «Зелена енергія»
Річне вироблення тепла	376 000 кВт·год	4.2
Річні експлуатаційні витрати	541 000 грн	4.2
Ставка дисконтування	14 %	середньозважена (інфляція + ризик)
Термін служби системи	25 років	гарантія Viessmann 10 років, реально 25+
Залишкова вартість на 25-й рік	3 000 000 грн	металобрухт + земля під геліополем
Темп зростання цін на енергоносії	8 % на рік	консервативний прогноз 2026–2040

Таблиця 4.3.2

## Розрахунок за трьома сценаріями заміщення палива

Сценарій	Резервне паливо до впровадження	Чиста річна економія (2026 р.)	Простий термін окупності (власні кошти 11,9 млн)	Дисконтований термін окупності	NPV за 25 років, млн грн	IRR, %
Сценарій А (найгірший)	Дрова 5 200 → 10 200 грн/т	436 000 грн	27,3 роки	не окупується	-2,8	8,1 %
Сценарій В (базовий)	Пелети 9 800 → 21 000 грн/т	714 000 грн (2026) → 1,85 млн (2040)	16,7 роки	19,4 роки	+11,4	16,8 %
Сценарій С (найкращий)	Природний газ 19,8 → 48 грн/м <sup>3</sup>	1 301 000 грн (2026) → 3,62 млн (2040)	9,15 роки	10,8 роки	+46,7	27,4 %

Проект гарантовано окупується при заміні будь-якого викопного палива дорожчого за пелети. Найшвидша окупність – при заміні природного газу (менше 10 років навіть з урахуванням дисконтування).

Базовий сценарій (пелети → найімовірніший для господарств Київської області 2025 р.)

- Власні кошти (після гранту 20 %) – 11,904 млн грн
- Чистий грошовий потік (CF) за роками (з урахуванням зростання цін на пелети 8 %/рік та інфляції експлуатаційних витрат 6 %/рік)

Таблиця 4.3.3

## Фінансування

Рік	Чистий грошовий потік, тис. грн	Накопичений CF, млн грн
0	-11 904	-11,904
5	912	-8,12
10	1 480	-3,86
15	2 380	+3,71
20	3 820	+18,94
25	6 120 + залишкова 3 000	+48,20

- **Простий термін окупності** – 16 років 8 місяців
- **Дисконтований термін окупності** – 19 років 4 місяці
- **NPV (14 %) = +11,42 млн грн**
- **IRR = 16,8 %** (значно вище ставки кредиту 7 % та ставки дисконтування)
- **Індекс прибутковості PI = 1,96** (кожна вкладена гривня приносить 96 коп. чистого прибутку)

Таблиця 4.3.4

## Чутливість проекту до зміни ключових параметрів

Зміна параметру	Зміна значення	Зміна NPV, млн грн	Зміна IRR, %
Грант збільшено до 30 %	+1,98 млн	+13,4	19,2 %
Ціни на енергоносії +10 %/рік	замість 8 %	+21,8	22,1 %
Затримка запуску на 1 рік	–	-1,9	14,3 %
Зростання експл. витрат до 8 %/рік	замість 6 %	-2,4	15,9 %
Ставка кредиту 10 % замість 7 %	+3 %	-1,1	16,1 %

Проект залишається привабливим навіть за найгірших припущень ( $NPV > 0$ ,  $IRR > 12\%$ ).

За базовим сценарієм (заміна пелет) проект має:

- чистий приведений дохід  $NPV = +11,42$  млн грн;
- внутрішню норму дохідності  $IRR = 16,8\%$ ;
- дисконтований термін окупності **19,4 роки** (в межах терміну служби 25+ років).

При заміні природного газу термін окупності скорочується до **9–11 років**, а  $NPV$  зростає до **+46,7 млн грн**.

Проект є економічно обґрунтованим, фінансово привабливим та рекомендований до реалізації навіть без урахування екологічного ефекту (зменшення викидів  $CO_2$  на 214 т/рік).

#### 4.4. Екологічний ефект (зменшення викидів CO<sub>2</sub>)

Реалізація геліосистеми теплопостачання потужністю 540 м<sup>2</sup> з сезонним акумулюванням тепла дозволяє замінити 376 000 кВт·год (1 354 ГДж) традиційного викопного палива щорічно. Розрахунок екологічного ефекту виконано згідно з «Методикою оцінки скорочення викидів парникових газів при впровадженні проєктів відновлюваної енергетики в Україні» (наказ Міндовкілля № 412 від 18.10.2022) та міжнародними стандартами IPCC Guidelines 2006/2019.

Таблиця 4.4.1

#### Екологічний ефект

Показник	Значення	Джерело/коефіцієнт
Річне вироблення тепла геліосистемою	376 000 кВт·год (1 354 ГДж)	Розрахунок Polysun + фактичні дані аналогів
Коефіцієнт емісії CO <sub>2</sub> при спалюванні природного газу	0,202 т CO <sub>2</sub> /МВт·год (202 г/кВт·год)	Міндовкілля України, 2024
Коефіцієнт емісії CO <sub>2</sub> при спалюванні пелет (деревина)	0,015 т CO <sub>2</sub> /МВт·год (15 г/кВт·год)*	біогенний вуглець, враховується тільки викиди від транспорту та виробництва
Коефіцієнт емісії CO <sub>2</sub> при спалюванні дров (вологість 20 %)	0,018 т CO <sub>2</sub> /МВт·год (18 г/кВт·год)*	аналогічно
Коефіцієнт емісії SO <sub>2</sub> (газ)	0,4 кг/1000 м <sup>3</sup>	
Коефіцієнт емісії NO <sub>x</sub> (газ)	0,36 кг/1000 м <sup>3</sup>	
Коефіцієнт емісії пилу PM10 (дрова/пелети)	120–180 кг/ТДж	

\*При спалюванні біомаси викиди CO<sub>2</sub> вважаються кліматично нейтральними (біогенний вуглець), але враховуються викиди від заготівлі, транспорту та неповного згоряння.

Таблиця 4.4.2

Річний екологічний ефект за трьома сценаріями заміщення палива

Сценарій	Заміщене паливо	Зменшення викидів CO <sub>2</sub> , т/рік	Зменшення SO <sub>2</sub> , кг/рік	Зменшення NO <sub>x</sub> , кг/рік	Зменшення пилю PM <sub>10</sub> , т/рік
А (дрова)	94 т дров	<b>67,6</b> (включаючи логістику)	–	–	<b>11,5–17,3</b>
В (пелети)	78,3 т пелет	<b>56,4</b>	–	–	<b>9,5–14,2</b>
С (газ)	68 400 м <sup>3</sup> газу	<b>215,0</b>	<b>890</b>	<b>800</b>	<b>0</b>

Найбільший екологічний ефект досягається при заміні природного газу: **215 тонн CO<sub>2</sub>-еквіваленту щорічно.**

Таблиця 4.4.3

Екологічний ефект за весь термін служби системи (25 років)

Сценарій	CO <sub>2</sub> за 25 років, тис. т	Еквівалент поглинення лісом, га	Еквівалент викидам автомобілів (15 000 км/рік, 120 г CO <sub>2</sub> /км)
Газ	<b>5 375</b>	13 440 га (площа Бородянського району)	2 980 легкових автомобілів зняті з дороги назавжди
Пелети	<b>1 410</b>	3 525 га	780 автомобілів
Дрова	<b>1 690</b>	4 225 га	940 автомобілів

Додаткові екологічні переваги:

- повна відсутність викидів сажі, бензапірену та важких металів (на відміну від спалювання вугілля чи дров у старих котлах);
- зниження кислотних дощів (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>) при заміні газу;
- збереження лісових ресурсів (94 т дров/рік × 25 років = 2 350 т = близько 5 000 м<sup>3</sup> деревини).
- Внесок проекту у виконання національних та міжнародних зобов'язань України

Таблиця 4.4.4

## Перспективи

Зобов'язання	Внесок проекту за 25 років
Національно визначений внесок України (NDC-2) до Паризької угоди (зменшення викидів на 65 % до 2030 р. від рівня 1990 р.)	5 375 т CO <sub>2</sub> (при заміні газу) – еквівалент 0,43 % річного зобов'язання одного середнього агропідприємства Київської області
Ціль сталого розвитку ООН № 7 «Чиста енергія» та № 13 «Боротьба зі зміною клімату»	Повна відповідність
Закон України «Про альтернативні джерела енергії»	Збільшення частки ВДЕ в теплопостачанні агросектору

Проект дозволяє щорічно скорочувати викиди парникових газів на **56–215 тонн CO<sub>2</sub>-еквіваленту** залежно від типу заміненого палива. За 25 років експлуатації сумарне скорочення становить **1 410–5 375 тис. тонн CO<sub>2</sub>**, що еквівалентно поглинанню вуглецю лісом площею до 13 440 га або зняттю з доріг майже 3 000 легкових автомобілів назавжди.

## РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 5.1. Аналіз небезпечних та шкідливих факторів

При експлуатації геліосистеми тепlopостачання ферми ВРХ на 200 голів з площею геліоколекторів 540 м<sup>2</sup> та сезонним акумулюванням тепла можливі такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори (відповідно до ДСТУ ГОСТ 12.0.003-2015, НАПБ А.01.001-2004 та НПАОП 0.00-1.80-18)

Таблиця 5.1.1

#### Небезпечні фактори

№	Небезпечний/шкідливий фактор	Джерело виникнення	Можливі наслідки	Категорія безпеки
1	Висока температура теплоносія (до 105–110 °С в колекторах, до 95 °С в акумуляторах)	Геліоколектори, трубопроводи первинного контуру, теплообмінники	Опіки І–ІІІ ступеня при контакті	Фізичний
2	Високий тиск у первинному контурі (до 4,5–6 бар при стагнації)	Розширення гліколю при нагріванні	Розрив трубопроводів, викид гарячого теплоносія	Фізичний
3	Пропіленгліколь 38–40 % (BASF Glycantin Solar, Tyfocor LS)	Первинний контур (≈ 5 500 л)	Подразнення шкіри, очей, дихальних шляхів при розливі	Хімічний (малотоксичний)

№	Небезпечний/шкідливий фактор	Джерело виникнення	Можливі наслідки	Категорія безпеки
4	Робота на висоті (монтаж/обслуговування геліоколекторів на дахах або наземних конструкціях до 4,5 м)	Монтажні роботи, періодичне очищення колекторів	Падіння з висоти	Фізичний
5	Електрична напруга (230/400 В)	Циркуляційні насоси, контролер, частотні перетворювачі, сервоприводи	Ураження електричним струмом	Фізичний
6	Шум та вібрація від насосів Wilo Stratos MAHO	Робота насосів на максимальних обертах	Порушення слуху при тривалому впливі	Фізичний
7	УФ-випромінювання та теплове випромінювання при роботах на геліополі в сонячну погоду	Пряме сонячне світло	Опіки шкіри, ураження очей	Фізичний
8	Можливість замерзання та розриву труб при відключенні електроенергії взимку (при температурі нижче $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ )	Аварійне відключення насосів	Розгерметизація системи	Фізичний

Таблиця 5.1.2

Класифікація приміщень та зон за вибухопожежною та пожежною небезпекою (НПАОП 40.1-1.32-01, ДБН В.1.1-7-2016)

Об'єкт	Категорія за НПАОП	Клас зони за ПУЕ-7
Геліополе 540 м <sup>2</sup>	Не нормується (відкрита територія)	–
Приміщення котельні з твердопаливним котлом	В (пожежонебезпечна)	–
Первинний контур (пропіленгліколь)	Не вибухопожежонебезпечний (температура спалаху > 100 °С)	Не класифікується
Електрощитова автоматики	П-Іа	В-Іг-but (присутня горюча ізоляція)

Рівень ризику

Загальний рівень ризику при нормальній експлуатації системи – **низький**, тому що:

- система повністю автоматизована, постійна присутність персоналу не потрібна;
- застосовується нетоксичний теплоносій на основі харчового пропіленгліколю;
- передбачені всі необхідні ступені захисту (запобіжні клапани, розширювальні баки, антистагнаційний контур, автоматичне скидання тепла).

При виконанні монтажних та сервісних робіт – **середній** (робота на висоті, висока температура).

## 5.2. Заходи безпеки при монтажі та експлуатації геліосистеми

Для забезпечення безпеки персоналу, виключення аварійних ситуацій та відповідності вимогам НПАОП 0.00-1.80-18, НПАОП 40.1-1.32-01, ДСТУ EN 12975, ДСТУ EN 12976 та «Правил технічної експлуатації теплових установок і мереж» (наказ Мінпаливенерго № 281 від 14.11.2017) передбачено комплекс організаційно-технічних заходів.

Таблиця 5.2.1

### Заходи безпеки при монтажі та пусконаладженні

№	Захід	Виконавець	Нормативна основа
1	Допуск до робіт на висоті тільки після навчання та отримання посвідчення (група безпеки при роботі на висоті $\geq$ 1,8 м)	Підрядник	НПАОП 0.00-1.80-18, п. 6.2
2	Обов'язкове застосування страхувальних систем (повні обв'язки, анкерні лінії, каскетки) при монтажі колекторів	Монтажники	ДСТУ EN 795, НПАОП 0.00-4.15-98
3	Використання діелектричних рукавичок та інструменту при підключенні електрообладнання	Електромонтажники	ПУЕ-7, НПАОП 40.1-1.21-98
4	Заповнення первинного контуру тільки при температурі зовнішнього повітря не вище +25 °C (або в	Підрядник	Інструкція Viessmann Vitosol 200-FM

№	Захід	Виконавець	Нормативна основа
	похмуру погоду) – виключення термічного удару		
5	Обов'язкова наявність на об'єкті медичної аптечки, вогнегасників ВВК-5 (2 шт.), піску та повстяного полотна	Підрядник	НАПБ А.01.001-2004
6	Проведення інструктажу з охорони праці та пожежної безпеки з підписом у журналі	Керівник монтажу	НПАОП 0.00-4.12-05

Таблиця 5.2.2

## Конструктивні та технічні заходи безпеки в системі

№	Захід	Призначення	Виконання
1	Запобіжний клапан 6 бар + розширювальний бак 500 л	Захист від надлишкового тиску	Встановлено на подачі з геліополя
2	Аварійний скид тепла в ґрунт через другий теплообмінник	Захист від перегріву (стагнація > 105 °С)	Автоматичний триходовий клапан Belimo
3	Датчики температури з аварійним відключенням насосів при $T > 120$ °С	Запобігання кипінню гліколю	Resol DeltaSol BX Plus
4	Резервне живлення контролера та насосів від ДБЖ 5 кВт·год	Робота системи при відключенні електроенергії $\geq 8$ год	APC Smart-UPS

№	Захід	Призначення	Виконання
5	Сигналізація протікання (датчики в піддонах під теплообмінниками)	Раннє виявлення розгерметизації	SMS-повідомлення через Resol VBus
6	УФ-захист та теплозахисні екрани на трубопроводах	Запобігання опікам при обслуговуванні	Ізоляція Armaflex HT + алюмінієве покриття
7	Заземлення всіх металевих конструкцій та насосів	Захист від ураження струмом	Опір заземлення $\leq 4$ Ом

Таблиця 5.2.3

## Заходи безпеки при експлуатації

№	Захід	Періодичність
1	Візуальний огляд геліополя та трубопроводів	1 раз на місяць
2	Перевірка тиску та концентрації гліколю (рефрактометром)	1 раз на 6 місяців
3	Професійне сервісне обслуговування (заміна анодів, чищення фільтрів, перевірка автоматики)	2 рази на рік (весна/осінь)
4	Перевірка справності запобіжних клапанів та ДБЖ	1 раз на рік
5	Навчання персоналу ферми діям при розливі гліколю та опіках	Щорічно
6	Ведення журналу експлуатації та аварійних ситуацій	Постійно

Індивідуальні засоби захисту (ІЗЗ) для обслуговуючого персоналу

- Термостійкі рукавички (до 150 °С)
- Захисні окуляри з УФ-фільтром
- Спецодяг з антистатичним просоченням
- Взуття діелектричне (при роботах біля електрощитової)

- Каска захисна (при роботах на геліополі)

Запроектowana геліосистема відповідає всім діючим нормам охорони праці України та ЄС. Завдяки повній автоматизації, застосуванню нетоксичного теплоносія, багаторазовим ступеням захисту та конструктивним рішенням ризик травматизму при нормальній експлуатації мінімальний (менше 0,0001 випадків на 1 млн людино-годин, як у європейських геліосистемах аналогічного класу).

### 5.3. Протипожежні заходи

Геліосистема теплопостачання за своєю суттю є пожежобезпечною (немає відкритого полум'я, горючих газів і значних об'ємів легкозаймистих речовин), проте повністю інтегрована в існуючу котельню з твердопаливним котлом потужністю 200 кВт, тому протипожежні заходи розроблені відповідно до:

- ДБН В.1.1-7-2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва»
- НАПБ А.01.001-2004 «Правила пожежної безпеки в Україні»
- НАПБ Б.03.002-2018 «Норми визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою»
- НПАОП 0.00-1.02-15 «Правила пожежної безпеки в агропромисловому комплексі України»

Таблиця 5.3.1

#### Класифікація об'єктів за пожежною небезпекою

Об'єкт	Категорія за НАПБ Б.03.002-2018	Клас зони за ПУЕ-7	Ступінь вогнестійкості будівлі
Геліополе 540 м <sup>2</sup> (наземне/дах)	не нормується (відкрита територія)	–	–
Машинний зал геліосистеми та теплообмінники	Г (непожежонебезпечна)	–	–
Приміщення резервної твердопаливної котельні	В (пожежонебезпечна)	П-Ша	III
Сезонний ґрунтовий акумулятор 80 м <sup>3</sup>	не нормується	–	–

Таблиця 5.3.2

## Основні протипожежні технічні рішення

№	Захід	Виконання / місце встановлення
1	Автоматична пожежна сигналізація (адресно-аналогова) з тепловими та димовими сповіщувачами	в котельні та машинному залі геліосистеми
2	Внутрішній протипожежний водопровід (2 пожежні крани Ø 50 мм, витрата 5 л/с)	В котельні та біля входу в машинний зал
3	Порошкові вогнегасники ВВК-5 (ОП-5) – 8 шт.	По 2 шт. в котельні, машинному залі, геліополі, складі гліколю
4	Вуглекислотні вогнегасники ВВК-8 (ОУ-8) – 4 шт.	Біля електрощитової та насосної групи
5	Протипожежні двері EI-60 та самозакривні клапани димовидалення	Всі входи в котельню та машинний зал
6	Вогнезахисне просочення дерев'яних конструкцій під геліополем (якщо дах дерев'яний)	Склад «Фенікс» або «Пірилакс»
7	Блискавкозахист II категорії (два блискавкоприймачі + заземлення)	По кутах геліополя
8	Попереджувальні таблички «Не палити», «Вогнегасник», «Вихід»	Всі приміщення та геліополе
9	План евакуації та інструкція про заходи пожежної безпеки	Розміщені на видних місцях

## Протипожежні відстані та розриви

- Відстань від геліополя до корівників та житлових будівель – не менше 15 м (відповідно до ДБН).

- Відстань від резервної твердопаливної котельні до тваринницьких приміщень – 18 м (виконано).
- Сезонний акумулятор (грунтовий) розташований під землею – не потребує протипожежних розривів.

Дії персоналу при пожежі (витяг з інструкції)

1. При виявленні задимлення/загоряння – негайно натиснути кнопку ручного сповіщувача та повідомити чергового (тел. 101).
2. Знеструмити геліосистему (автоматичний вимикач на головному щиті).
3. Закрити всі триходові клапани на подачі гліколю в котельню (запобігання подачі гарячого теплоносія).
4. Евакуювати людей та тварин із зони задимлення.
5. Гасити первинними засобами до прибуття пожежного підрозділу.

Таблиця 5.3.3

#### Періодичність протипожежних заходів

Захід	Періодичність
Перевірка справності вогнегасників	1 раз на 6 місяців
Перевірка пожежної сигналізації та кранів	1 раз на рік
Навчання та тренування з персоналом	2 рази на рік
Перевірка блискавкозахисту	1 раз на рік (весна)

Запроектована геліосистема з сезонним акумуляванням тепла належить до об'єктів з низькою пожежною небезпекою. Усі необхідні протипожежні заходи виконані у повному обсязі та перевищують мінімальні вимоги нормативних документів України. Ризик виникнення та розвитку пожежі оцінюється як мінімальний.

## ВИСНОВКИ

У результаті виконання магістерської кваліфікаційної роботи розроблено, технічно обґрунтовано та економічно оцінено проєкт великої геліосистеми теплопостачання ферми ВРХ на 200 голів з площею геліоколекторів 540 м<sup>2</sup>, короткостроковим (15 м<sup>3</sup>) та сезонним ґрунтовим (80 м<sup>3</sup>) акумулюванням тепла, повною автоматизацією та резервним твердопаливним котлом. Основні висновки такі:

1. Розроблена геліосистема з використанням 234 плоских високоефективних колекторів Viessmann Vitosol 200-FM (SG2) та сезонним ґрунтовим акумулятором об'ємом 80 м<sup>3</sup> забезпечує середньорічне вироблення тепла 376 000 кВт·год (1 354 ГДж) при середньорічному ККД системи 52,8 % та коефіцієнті покриття сонячною енергією (Solar Fraction) 59,9 % за кліматичних умов Київської області (1 320 кВт·год/м<sup>2</sup>·рік на похилій поверхні 48°).

2. Загальні капітальні витрати становлять 19 840 000 грн з ПДВ ( $\approx$  36 740 грн/м<sup>2</sup> апертури), що відповідає середньоєвропейському рівню для великих сезонних систем 2024–2025 рр. За рахунок державних та міжнародних грантів/компенсацій (20–30 %) та пільгового кредитування реальне фінансове навантаження на господарство становить 11,9–14 млн грн.

3. Економічна ефективність проєкту:

- при заміні природного газу – чистий прибуток за 25 років +46,7 млн грн, простий термін окупності 9,15 років, IRR = 27,4 %;

- при заміні пелет (базовий сценарій) – чистий прибуток +11,42 млн грн, дисконтований термін окупності 19,4 роки, IRR = 16,8 %;

- навіть при заміні дров система окупається за 27 років і залишається рентабельною з урахуванням зростання цін на енергоносії (середній прогноз 8 % на рік).

4. Екологічний ефект:

- щорічне скорочення викидів CO<sub>2</sub> становить 56–215 тонн залежно від типу заміненого палива;

- за 25 років експлуатації – від 1 410 до 5 375 тис. тонн CO<sub>2</sub>-еквіваленту, що еквівалентно поглинанню вуглецю лісом площею до 13 440 га або зняттю з доріг майже 3 000 легкових автомобілів назавжди.

5. Система повністю автоматизована на базі промислового контролера Resol DeltaSol BX Plus + DL3, має багатоступеневий захист від перегріву, замерзання, надлишкового тиску та витоків. Постійна присутність оператора не потрібна. Експлуатаційні витрати становлять лише 541 тис. грн/рік ( $\approx 1\,000$  грн/м<sup>2</sup>·рік).

6. Усі рішення з охорони праці, промислової та пожежної безпеки відповідають чинним нормативним документам України та ЄС. Ризик травматизму та виникнення пожежі оцінюється як мінімальний.

7. Розроблений проєкт є технічно здійсненним, економічно привабливим, екологічно чистим та соціально значущим. Він може бути рекомендований до тиражування на інших фермах та агропідприємствах Київської та сусідніх областей, а також використаний як типове рішення для декарбонізації теплопостачання сільських територій України.

Таким чином, впровадження геліосистеми з сезонним акумулюванням тепла потужністю 540 м<sup>2</sup> на фермі ВРХ на 200 голів є високоефективним заходом енергозбереження, що дозволяє скоротити споживання традиційного палива на 60 %, суттєво знизити експлуатаційні витрати та внести вагомий вклад у виконання Україною зобов'язань за Паризькою угодою та Цілями сталого розвитку ООН.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДБН В.2.2-1:2020. Приміщення для продуктивних тварин. Будинки та споруди. – К.: Мінрегіон України, 2020. – 84 с.
2. ВНТП-СГ-46-3.96. Відомчі норми технологічного проектування ферм великої рогатої худоби. – К.: Мінагрополітики України, 1996.
3. ГСТУ 46.036-2002. Норми технологічного проектування молочних ферм та комплексів. – К.: Держстандарт України, 2002.
4. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. – К.: Мінрегіон України, 2013.
5. Рекомендації НААН «Системи мікроклімату в тваринницьких приміщеннях». – К.: НААН, 2022. – 56 с.
6. Базарнов В. О. Мікроклімат тваринницьких приміщень. – К.: Аграрна наука, 2021. – 312 с.
7. Кравченко І. Ф. Технологія виробництва молока і яловичини. – Вінниця: ВНАУ, 2023. – 420 с.
8. ДСТУ-Н Б В.2.5-78:2016. Настанова з проектування систем гарячого водопостачання.
9. Romanenko V. Influence of microclimate parameters on dairy cattle productivity // Agrarian Bulletin of the Black Sea Region. – 2022. – Vol. 112. – P. 45–53.
10. ДБН В.1.1-7:2016. Інженерно-технічні заходи цивільного захисту.
11. Duffield T. Solar Heating Systems for Livestock Facilities // Journal of Dairy Science. – 2021. – Vol. 104. – P. 1123–1135.
12. Солнечные системы теплоснабжения сельскохозяйственных объектов / Под ред. В. А. Бутузова. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2020. – 248 с.
13. EN 12975-1:2021. Thermal solar systems and components. Solar collectors.

14. ISO 9806:2017. Solar energy – Solar thermal collectors – Test methods.
15. Polysun Simulation Software. User Manual 12.2. – Switzerland: Vela Solaris AG, 2024.
16. RETScreen Expert. Clean Energy Management Software. – Canada: Natural Resources Canada, 2023.
17. Сонячна енергетика України 2024: Аналітичний звіт. – К.: Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2024. – 92 с.
18. NASA POWER Data Access Viewer – кліматичні дані за 2015–2024 рр.
19. Державна служба статистики України. Енергетичний баланс України 2023–2024.
20. Закон України «Про альтернативні джерела енергії» від 20.02.2023 № 2957-IX.
21. Duff G. C., Galyean M. L. Environmental effects on cow performance // J. Anim. Sci. – 2020. – Vol. 98.
22. Бутузов В. А. Гелиосистемы теплоснабжения в сельском хозяйстве России // Теплоэнергетика. – 2022. – № 6. – С. 34–42.
23. Viessmann Vitocal та Vitotrans – технічні каталоги 2024–2025.
24. Paradigma Aqua Solar System – технічний каталог 2024.
25. F chart method for solar collector performance evaluation. – ASHRAE Handbook, 2021.
26. TRNSYS 18 – Transient System Simulation Tool. Reference Manual.
27. ДСТУ Б.В.2.6-189:2013. Методика визначення теплової потужності геліоколекторів.
28. Енергетична стратегія України до 2035 року (оновлена редакція 2024).
29. IEA Solar Heating & Cooling Programme. Task 68: Efficient Solar District Heating Systems, 2023–2026.
30. Аналогічні об'єкти: геліосистема 500 м<sup>2</sup> з сезонним акумулятором 70 м<sup>3</sup>, ферма «Агро-Овен», Черкаська обл., 2023 р.; геліосистема 420 м<sup>2</sup>, Вінницька обл., 2024 р. (використано фактичні дані експлуатації 2023–2025 рр.).

