

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри
інженерії енергосистем
(назва кафедри)

К.Т.Н., доц. _____ Євген АНТИПОВ
(підпис)

„_____” _____ 2026 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: **«Система резервного електроживлення фермерського господарства з використанням сонячних панелей і акумуляторів»**

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма «Інжиніринг електроенергетичних систем з відновлюваними джерелами»

—

02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 009 ПЗ

Гарант освітньої програми

_____ К.Т.Н., доцент
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (Підпис)

_____ Світлана МАКАРЕВИЧ
(ПІБ)

Керівник бакалаврської
кваліфікаційної роботи

_____ К.Т.Н., доцент
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (Підпис)

_____ Володимир ПАВЛЕНКО
(ПІБ)

Виконав

_____ (Підпис)

_____ Олександр ХРИСТЮК
(ПІБ студента)

КИЇВ – 2026

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

інженерії енергосистем

(назва кафедри)

к.т.н., доц. _____ Євген АНТИПОВ

(підпис)

„_____” _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту

Христюку Олександрю Анатолійовичу

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма «Інжиніринг електроенергетичних систем з відновлюваними джерелами»

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи: «Система резервного електроживлення фермерського господарства з використанням сонячних панелей і акумуляторів»

затверджена наказом ректора НУБіП України від «30» 10 2025 р. № 2606 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру «29» травня 2026 р.

Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи: вимоги ПУЕ; генеральний план, електричне навантаження, структурна схема

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Аналіз систем резервного з використанням сонячних панелей

2. Характеристика фермерського господарства та його електричних навантажень

3. Розрахунок параметрів сонячних панелей, акумуляторів та інвертора

4. Вибір основного електрообладнання системи резервного живлення

5. Оцінка техніко-економічної ефективності і проекту

Перелік графічних документів: презентація виконана в Microsoft PowerPoint

Дата видачі завдання: 30.10.2025р.

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

_____ к.т.н., доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (Підпис)

Завдання прийняв до виконання _____

(Підпис)

_____ Володимир ПАВЛЕНКО

(підп.)

_____ Олександр ХРИСТЮК

РЕФЕРАТ

Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему “Система резервного електроживлення фермерського господарства з використанням сонячних панелей і акумуляторів” виконана у складі вступу, п’яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг пояснювальної записки становить 61 сторінку; у роботі наведено 25 таблиць, 5 рисунків та 3 додатки.

Метою роботи є обґрунтування структури та параметрів резервної системи, що забезпечує живлення відповідальних електроприймачів фермерського господарства із застосуванням фотоелектричних модулів, акумуляторного блока, гібридного інвертора та засобів електротехнічного захисту. Об’єктом дослідження є процес резервного електроживлення фермерського господарства, предметом - параметри, структура і режими роботи відповідної системи.

У роботі прийнято добове електроспоживання резервованого навантаження 26,22 кВт·год, тривалість резервування 8 год, акумуляторний блок LiFePO₄ енергоємністю 20,48 кВт·год, фотоелектричне поле потужністю 6,6 кВт і гібридний інвертор номінальною потужністю 6 кВт. Орієнтовні капітальні витрати становлять 377 000 грн, простий строк окупності - 8,46 року. Практичне значення роботи полягає у можливості використання запропонованого підходу як бази для проектування резервних систем електроживлення малих і середніх фермерських господарств.

Ключові слова: резервне електроживлення, фермерське господарство, фотоелектричні модулі, акумуляторна батарея, гібридний інвертор, енергетичний баланс, LiFePO₄, енергоефективність.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ПОБУДОВИ СИСТЕМ РЕЗЕРВНОГО ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ФЕРМЕРСЬКИХ ГОСПОДАРСТВ.....	12
1.1. Роль резервного електроживлення в електропостачанні аграрних об'єктів	12
1.2. Фотоелектричні модулі та акумуляторні батареї як складові резервної системи.....	13
1.3. Інженерні критерії побудови резервної системи для фермерського господарства.....	15
Висновки до розділу 1.....	17
РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ФЕРМЕРСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ТА ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОЄКТУВАННЯ.....	19
2.1. Загальна характеристика об'єкта проєктування.....	19
2.2. Склад і характеристика електроспоживачів, що підлягають резервуванню	20
2.3. Формування розрахункового електричного навантаження та добового графіка споживання.....	22
2.4. Кліматичні та експлуатаційні умови впровадження резервної системи	24
Висновки до розділу 2.....	25
РОЗДІЛ 3. ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ РЕЗЕРВНОГО ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ФЕРМЕРСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА.....	27
3.1. Вибір структури резервної системи електроживлення.....	27

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 009 ПЗ							
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Система резервного електроживлення фермерського господарства			Літ.	Арк.	Аркушів		
Розроб.		Христюк								5	61	
Перевір.		Павленко										
								група ІЕС-220016				
Н. Контр.												
Затверд.												

3.2. Розрахунок і вибір акумуляторного блока.....	29
3.3. Розрахунок і вибір фотоелектричних модулів.....	31
3.4. Розрахунок та вибір інверторного обладнання.....	33
3.5. Вибір кабельних ліній і захисних апаратів.....	35
3.6. Оцінка енергетичного балансу та режимів роботи системи.....	37
Висновки до розділу 3.....	38
РОЗДІЛ 4. БЕЗПЕКА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ.....	39
4.1. Аналіз небезпечних і шкідливих чинників під час монтажу та експлуатації системи.....	39
4.2. Заходи електробезпеки під час монтажу та експлуатації системи.....	40
4.3. Безпечне розміщення обладнання та порядок відключення системи.....	42
4.4. Пожежна безпека, роботи на висоті та дії в аварійних ситуаціях.....	44
Висновки до розділу 4.....	46
РОЗДІЛ 5. ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ І ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ.....	47
5.1. Оцінка енергоефективності запропонованої системи.....	47
5.2. Визначення капітальних витрат та річного економічного ефекту.....	49
5.3. Розрахунок строку окупності та аналіз чутливості.....	51
Висновки до розділу 5.....	53
ВИСНОВКИ.....	55
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	57
ДОДАТКИ.....	60

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 009 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Христюк			Система резервного електроживлення фермерського господарства	Літ.	Арк.
Перевір.		Павленко					Аркушів
							6 61
Н. Контр.						група IEC-220016	
Затверд.							

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АВР - автоматичне введення резерву;

АКБ - акумуляторна батарея;

ВДЕ - відновлювані джерела енергії;

ДБЖ - джерело безперебійного живлення;

ЕМ - електрична мережа;

ЗМ - зовнішня мережа;

ККД - коефіцієнт корисної дії;

ПУЕ - Правила улаштування електроустановок;

СЕС - сонячна електростанція;

ФЕМ - фотоелектричний модуль;

АС - змінний струм;

BMS - Battery Management System - система керування батареєю;

DC - постійний струм;

DoD - Depth of Discharge - глибина розряду акумуляторної батареї;

EMS - Energy Management System - система керування енергетичними потоками;

LiFePO₄ - літій-залізо-фосфатна акумуляторна технологія;

MPPT - Maximum Power Point Tracking - відстеження точки максимальної потужності;

SoC - State of Charge - рівень заряду акумуляторної батареї;

SPD - Surge Protection Device - пристрій захисту від імпульсних перенапруг.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 009 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Надійне електропостачання фермерського господарства є однією з обов'язкових умов стабільної роботи аграрного об'єкта, оскільки від електричної енергії залежать водопостачання, вентиляція, освітлення, холодильне зберігання продукції, автоматика, засоби зв'язку та системи безпеки. На відміну від побутового споживача, фермерське господарство має змішаний характер навантаження: частина електроприймачів працює безперервно, частина вмикається періодично, а двигунні споживачі створюють короточасні пускові перевантаження. Тому питання резервного живлення для такого об'єкта потрібно розглядати як інженерне завдання з визначення критичних навантажень, енергетичного запасу та режимів роботи системи.

У сучасних умовах для малих і середніх фермерських господарств доцільним є не повне дублювання всієї встановленої потужності, а резервування відповідальної частини електроспоживання. Такий підхід дає змогу підтримувати роботу найважливіших процесів під час відключення зовнішньої мережі та одночасно не завищувати вартість обладнання.

Кількісним підтвердженням актуальності теми є те, що Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 року передбачає збільшення частки енергії, виробленої з відновлюваних джерел, у структурі валового кінцевого споживання енергії України до рівня не менш як 27%, а для сектору електричної енергії у 2030 році наведено цільовий показник 29,4% [1].

Для визначення сонячного ресурсу конкретної точки встановлення доцільно використовувати PVGIS [10] та Global Solar Atlas [11], які застосовуються для оцінювання сонячної радіації й продуктивності фотоелектричних систем. Регульовані складові вартості електроенергії для непобутового споживача, зокрема тарифи на послуги з розподілу електричної енергії, повинні уточнюватися за чинними матеріалами НКРЕКП [4].

Проектування автономних систем електропостачання сільськогосподарських об'єктів з використанням фотоелектрики та акумуляторів

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 009 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

розглянуто у матеріалах Горбеля та Павленка [5]. Доцільність гібридного накопичення енергії для резервного живлення критичних споживачів підтверджує робота Колоса та Павленка [7], а ефективність гібридної фотоелектричної системи з акумулятором розглянуто у статті Shavolkin та ін. [8].

Актуальність теми бакалаврської кваліфікаційної роботи зумовлена потребою у підвищенні стійкості електропостачання аграрних об'єктів, зменшенні залежності від нестабільної роботи зовнішньої мережі та раціональному використанні локальної сонячної генерації. Для фермерського господарства критично важливим є не тільки факт наявності резервного джерела, а й відповідність його параметрів реальному графіку навантаження. Саме тому в роботі прийнято підхід, за якого резервується визначена група електроприймачів, а параметри акумуляторного блока, фотоелектричного поля та інвертора вибираються на основі розрахункового добового електроспоживання.

Метою роботи є розроблення системи резервного електроживлення фермерського господарства з використанням сонячних панелей та акумуляторних батарей, яка забезпечує надійне живлення відповідальних електроприймачів у разі аварійного або планового відключення електроенергії у зовнішній мережі.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати сучасні підходи до побудови систем резервного електроживлення з використанням фотоелектричних модулів та акумуляторних батарей;
- охарактеризувати фермерське господарство як об'єкт електропостачання та сформувані вихідні дані для проектування;
- визначити склад резервованих електроприймачів, їх добове електроспоживання та розрахункову потужність;

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 009 ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- обґрунтувати вибір основного обладнання системи: акумуляторного блока, фотоелектричних модулів, гібридного інвертора, кабельних ліній і захисних апаратів;
- розробити структурну та спрощену однолінійну електричну схеми резервної системи;
- оцінити режими роботи системи, її енергетичний баланс, умови безпечної експлуатації та техніко-економічні показники.

Об'єктом дослідження є процес резервного електроживлення фермерського господарства в умовах нестабільної роботи зовнішньої електричної мережі.

Предметом дослідження є склад, параметри та режими роботи системи резервного електроживлення, що включає фотоелектричні модулі, акумуляторні батареї, гібридний інвертор, комутаційне обладнання та засоби електротехнічного захисту.

Методи дослідження. У роботі використано методи аналізу науково-технічних джерел, розрахунково-аналітичні методи визначення електричних навантажень, інженерний підбір обладнання за паспортними характеристиками, порівняльний аналіз варіантів побудови резервної системи, а також елементи техніко-економічного оцінювання прийнятого рішення.

Наукова новизна й практичне значення для рівня бакалаврської роботи полягають в узгодженні складу резервованих навантажень фермерського господарства з параметрами гібридної системи на базі фотоелектричних модулів і акумуляторного блока. Запропоноване рішення передбачає пріоритетне живлення критичних електроприймачів, раціональний вибір ємності АКБ і потужності ФЕМ та може бути використане як типова основа для подальшого робочого проєктування резервних систем електроживлення аграрних об'єктів.

Структура роботи. Бакалаврська кваліфікаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. У першому розділі розглядаються теоретичні та інженерні передумови побудови резервної системи; у другому - характеристика об'єкта й вихідні дані; у третьому

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 009 ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- проектування системи та вибір обладнання; у четвертому - питання безпеки та охорони праці; у п'ятому - енергоефективність і техніко-економічне обґрунтування.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 009 ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ПОБУДОВИ СИСТЕМ РЕЗЕРВНОГО ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ФЕРМЕРСЬКИХ ГОСПОДАРСТВ

1.1. Роль резервного електроживлення в електропостачанні аграрних об'єктів

Фермерське господарство як споживач електричної енергії має низку особливостей, що відрізняють його від типового побутового або адміністративного об'єкта. По-перше, електричне навантаження формується не одним видом обладнання, а сукупністю технологічних, допоміжних і побутових електроприймачів. По-друге, частина процесів має безперервний або майже безперервний характер, зокрема робота систем автоматики, охорони, вентиляції та холодильного зберігання продукції. По-третє, у складі навантаження присутні двигунні споживачі, пуск яких супроводжується короткочасним збільшенням струму.

За таких умов резервне електроживлення виконує не лише функцію тимчасового комфорту, а й функцію підтримання технологічної стійкості об'єкта. Відсутність живлення на насосі водопостачання, холодильній камері або системі вентиляції може спричинити порушення умов зберігання продукції, неможливість виконання окремих операцій і зростання експлуатаційних ризиків.

Разом із тим для фермерського господарства економічно недоцільно резервувати всю встановлену потужність. Повне дублювання всіх електроприймачів призводить до збільшення потужності інвертора, ємності акумуляторної батареї, перерізів кабельних ліній, кількості захисних апаратів і загальної вартості проєкту. Тому більш раціональним є поділ навантаження на критичне, бажане до резервування та нерезервоване.

У межах цієї роботи до складу резервованих електроприймачів надалі включаються освітлення, насос водопостачання, вентиляційне обладнання, холодильна камера, автоматика, сигналізація, відеоспостереження, офісне та комунікаційне обладнання. Потужне технологічне обладнання,

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 009 ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електронагрівальні пристрої, зварювальні апарати та інші споживачі з великим або нерегулярним навантаженням розглядаються як нерезервовані.

Порівняння можливих рішень резервного електроживлення для такого підходу наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 - Порівняльна характеристика основних рішень резервного електроживлення фермерського господарства

Критерій	Паливний генератор	Інвертор + АКБ	ФЕМ + АКБ + гібридний інвертор
Основна функція	Резервне джерело змінного струму	Коротко- або середньотривале резервування	Резервування критичних навантажень і часткове локальне вироблення енергії
Залежність від палива	Висока	Відсутня	Відсутня під час роботи від ФЕМ та АКБ
Час переходу в резерв	Залежить від схеми запуску	Малий, за умови автоматичного перемикавання	Малий, керується гібридним інвертором
Експлуатаційні витрати	Пальне, обслуговування, шум	Контроль стану АКБ	Контроль АКБ, інвертора та стану ФЕМ
Доцільність для цієї роботи	Може бути додатковим джерелом	Можливе, але без локальної генерації	Основний варіант для проектування

З табл. 1.1 видно, що гібридна система з фотоелектричними модулями, акумуляторним блоком і гібридним інвертором є найбільш придатною для досліджуваного об'єкта, оскільки поєднує резервування критичних навантажень із можливістю локального вироблення електроенергії.

1.2. Фотоелектричні модулі та акумуляторні батареї як складові резервної системи

Гібридна система резервного електроживлення, що застосовується для фермерського господарства, поєднує три основні енергетичні контури: зовнішню електричну мережу, фотоелектричну генерацію та акумуляторне накопичення. Подібний склад автономної системи з фотоелектрикою та акумуляторами

наведено для сільськогосподарських об'єктів у роботі Горбеля та Павленка [5]. Використання акумуляторного накопичення для резервного живлення критичних споживачів описано у роботі Колоса та Павленка [7]. Ефективність гібридної фотоелектричної системи з акумулятором проаналізовано у статті Shavolkin та ін. [8], а особливості роботи фотоелектричних модулів в умовах природного освітлення підтверджує дослідження Shvedchykova та ін. [9].

Фотоелектричні модулі в такій системі не слід розглядати як єдине автономне джерело, здатне гарантовано покрити всі потреби господарства в будь-який момент часу. Їх виробіток залежить від сонячної радіації, сезонності, температури модулів, кута нахилу, орієнтації та можливого затінення. Тому у резервній системі ФЕМ доцільно поєднувати з акумуляторним блоком і гібридним інвертором.

Акумуляторний блок у резервній системі виконує функцію енергетичного буфера. Він накопичує електроенергію від мережі або ФЕМ і віддає її критичним навантаженням у момент дефіциту потужності. Для систем, які повинні регулярно працювати у режимі резервування, важливими параметрами АКБ є номінальна енергоємність, допустима глибина розряду, кількість циклів заряд-розряд, максимальний струм розряду, наявність BMS і сумісність з інверторним обладнанням.

У цій роботі вибір літій-залізо-фосфатного акумуляторного блока обґрунтовується не загальним твердженням про всі типи АКБ, а паспортними характеристиками конкретного модуля Pylontech UF5000: номінальна напруга 51,2 В, енергоємність 5,12 кВт·год, допустима глибина розряду 95%, нормальний струм заряду/розряду 100 А та ресурс понад 6000 циклів за 25 °С [14]. У подальших розрахунках ці дані використовуються як паспортна база для прийнятого батарейного блока.

Функції основних елементів прийнятої гібридної резервної системи узагальнено в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 - Функції основних елементів гібридної резервної системи

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 009 ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Елемент системи	Основна функція	Вплив на проєктне рішення
Фотоелектричні модулі	Локальне вироблення електроенергії протягом світлового часу доби	Визначають можливість підзарядження АКБ та часткового покриття добового споживання
Акумуляторний блок	Накопичення енергії та живлення критичних навантажень під час відключення мережі	Визначає тривалість резервування та корисний енергетичний запас
Гібридний інвертор	Перетворення DC/AC, керування потоками енергії та перемикання режимів	Визначає допустиму потужність навантаження і сумісність ФЕМ/АКБ
Захисне обладнання	Захист DC- та AC-кіл від аварійних режимів	Впливає на безпечність монтажу та експлуатації системи

Попередня оцінка необхідної енергоємності акумуляторного блока виконується за формулою (1.1):

$$E_{рез} = R_{кр} \cdot t_{рез} / (\eta_{інв} \cdot DoD) \quad (1.1)$$

де $E_{рез}$ - потрібна номінальна енергоємність акумуляторного блока, кВт·год; $R_{кр}$ - сумарна потужність критичних навантажень, кВт; $t_{рез}$ - задана тривалість резервування, год; $\eta_{інв}$ - коефіцієнт корисної дії інвертора; DoD - допустима глибина розряду акумуляторної батареї, в.о.

Формула (1.1) використовується як попередній інженерний критерій для зв'язку вимог до автономної роботи з параметрами акумуляторного блока. У розрахунковій частині вона уточнюється з урахуванням фактичного складу електроприймачів, резервного інтервалу та ККД обладнання.

1.3. Інженерні критерії побудови резервної системи для фермерського господарства

Побудова резервної системи електроживлення повинна починатися з визначення не обладнання, а вимог до об'єкта. Для фермерського господарства такими вимогами є перелік електроприймачів, які не можна залишати без живлення, допустима тривалість автономної роботи, характер пускових навантажень, умови монтажу, можливість подальшого розширення та вимоги до безпечної експлуатації.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 009 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На відміну від повністю автономної системи, у цій роботі резервна підсистема проектується як частина електропостачання фермерського господарства. У нормальному режимі об'єкт живиться від зовнішньої мережі, а фотоелектрична генерація може зменшувати споживання з мережі та заряджати акумулятори. У разі зникнення напруги гібридний інвертор має автоматично перейти в автономний режим і забезпечити живлення тільки критичних навантажень.

Для подальшого проектування доцільно прийняти такі інженерні критерії:

- тривалість резервування критичних електроприймачів - не менше 8 год у разі відключення зовнішньої мережі;
- резервуються лише електроприймачі, необхідні для підтримання безпечної та технологічно допустимої роботи господарства;
- допустима глибина розряду АКБ приймається з урахуванням типу батареї та паспортних даних виробника;
- потужність інвертора вибирається із запасом відносно максимальної одночасної активної потужності та з урахуванням пускових струмів двигунних споживачів;
- конфігурація фотоелектричного поля має відповідати діапазону МРРТ-входу інвертора;
- кабельні лінії та захисні апарати вибираються за допустимим струмом, умовами прокладання, падінням напруги та вимогами електробезпеки.
- допустиме відхилення напруги на шинах критичних навантажень приймається в межах, що не порушують нормальну роботу насосного, холодильного та електронного обладнання;
- перехід у резервний режим має виконуватися автоматично, без ручного перемикання персоналом, із подальшим відключенням другорядних навантажень у разі зниження заряду АКБ.

Зведений перелік проєктних критеріїв і їх вплив на вибір обладнання подано в табл. 1.3.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 009 ПЗ	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.3 - Основні проєктні критерії резервної системи електроживлення фермерського господарства

Критерій	Прийнятий орієнтир	Що перевіряється	Вплив на вибір обладнання
Тривалість резервування	8 год	Чи вистачає корисної енергії АКБ	Ємність акумуляторного блока
Потужність критичних навантажень	Близько 3 кВт у піковому режимі	Одночасність роботи та пускові струми	Номінал і перевантажувальна здатність інвертора
Добове споживання резервованих навантажень	26,22 кВт·год	Енергетичний баланс за добу	Потужність ФЕМ і режим заряджання АКБ
Тип АКБ	LiFePO4	DoD, циклічність, струм розряду, BMS	Конфігурація батарейного блока
Захист DC/AC кіл	Автоматичні вимикачі, запобіжники, SPD, заземлення	КЗ, перевантаження, перенапруги	Склад щитів і кабельних ліній

Потужність інвертора повинна перевищувати максимальну одночасну активну потужність резервованих споживачів з урахуванням запасу за формулою (1.2):

$$P_{\text{інв}} \geq P_{\text{мах}} \cdot k_3 \quad (1.2)$$

де $P_{\text{інв}}$ - номінальна потужність інвертора, кВт; $P_{\text{мах}}$ - максимальна одночасна активна потужність резервованих навантажень, кВт; k_3 - коефіцієнт запасу, що враховує пускові режими та короткочасні перевантаження.

Отже, на етапі теоретичного обґрунтування встановлено, що найбільш раціональною для досліджуваного об'єкта є гібридна структура резервного електроживлення з відокремленням критичних навантажень. Така структура дозволяє поєднати роботу від зовнішньої мережі, локальну сонячну генерацію та акумуляторне накопичення без завищення встановленої потужності всієї системи.

Висновки до розділу 1

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 009 ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. У першому розділі розглянуто роль резервного електроживлення для фермерського господарства та показано, що для аграрного об'єкта доцільно резервувати не всю встановлену потужність, а визначену групу критичних електроприймачів.
2. Проаналізовано основні варіанти резервного живлення: паливні генератори, інверторно-акумуляторні системи та гібридні рішення з фотоелектричними модулями й акумуляторами. Для цієї роботи найбільш обґрунтованим є третій варіант.
3. Сформульовано інженерні критерії подальшого проєктування: тривалість резервування 8 год, вибір критичних навантажень, перевірка енергоємності АКБ, запас потужності інвертора, відповідність ФЕМ параметрам МРРТ-входу та вибір захисних апаратів за умовами DC/AC кіл.
4. Отримані положення є основою для наступного розділу, у якому формується характеристика фермерського господарства, визначається склад електроприймачів і розраховується добове електроспоживання резервованого навантаження.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 009 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

ХАРАКТЕРИСТИКА ФЕРМЕРСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА ТА ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОЄКТУВАННЯ

2.1. Загальна характеристика об'єкта проєктування

У роботі як об'єкт проєктування прийнято фермерське господарство змішаного профілю, умовно розташоване у Білоцерківському районі Київської області. Такий підхід дає змогу розробити типові інженерні рішення для малого або середнього аграрного об'єкта без прив'язки до комерційної документації конкретного підприємства, але з урахуванням характерних для регіону умов електропостачання та сонячної генерації.

Функціональна структура господарства включає виробничо-складську зону, приміщення для короткочасного зберігання продукції, вузол водопостачання, вентиляційне обладнання, холодильну камеру, зовнішнє та внутрішнє освітлення, систему автоматики, охоронну сигналізацію, відеоспостереження та невелике адміністративно-побутове приміщення.

Основним джерелом живлення фермерського господарства в нормальному режимі є зовнішня електрична мережа 0,4 кВ. Резервна система, що проєктується в цій роботі, не замінює повністю мережеве електропостачання, а забезпечує живлення попередньо відібраної групи критичних електроприймачів у разі аварійного або планового відключення напруги.

Вихідні дані для проєктування сформовано на основі типового складу електрообладнання фермерського господарства, орієнтовних паспортних потужностей споживачів, прийнятих режимів їх роботи протягом доби та вимоги забезпечити автономне живлення критичних навантажень протягом 8 год.

Прийняті потужності споживачів у табл. 2.1 мають характер попередніх навчальних проєктних даних. Вони використані для виконання розрахунків у бакалаврській роботі та не прив'язуються до конкретних моделей насосного, холодильного чи освітлювального обладнання. Під час робочого проєктування ці значення потрібно уточнювати за паспортами фактично вибраних

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 009 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електроприймачів, умовами пуску електродвигунів і реальним режимом роботи об'єкта.

З погляду резервування електроприймачі господарства доцільно поділити на три групи:

- I група - критичні електроприймачі, зупинка яких може порушити технологічний процес або безпечну експлуатацію об'єкта;
- II група - важливі, але частково обмежувані споживачі, які бажано підтримувати в роботі під час відключення мережі;
- III група - допоміжні або потужні періодичні споживачі, що не включаються до складу резервованого навантаження.

У подальших розрахунках резервується лише I та частково II група електроприймачів. Це дозволяє обмежити ємність акумуляторного блока й потужність інвертора без втрати основної функції системи - підтримання роботи відповідальних процесів.

2.2. Склад і характеристика електроспоживачів, що підлягають резервуванню

До складу резервованого навантаження включено споживачі, робота яких є важливою для підтримання мінімально необхідного функціонування господарства під час відсутності напруги у зовнішній мережі. До них належать аварійне та робоче освітлення, насос водопостачання, вентиляційне обладнання, холодильна камера, автоматика, сигналізація, відеоспостереження, офісне та комунікаційне обладнання, а також невеликі резервні розетки допоміжного призначення.

Потужне технологічне обладнання, електронагрівальні прилади, зварювальні апарати, подрібнювачі, кормові механізми та інші споживачі з великою або нерегулярною потужністю до складу резервованого навантаження не включаються. Їх резервування призвело б до істотного збільшення встановленої потужності інвертора, ємності АКБ і вартості системи, але не є обов'язковим для підтримання базової працездатності об'єкта.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 009 ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Прийнятий склад електроприймачів наведено в табл. 2.1. Категорії резервування в цій таблиці використано як внутрішнє проектне групування для вибору критичних споживачів, а не як заміну нормативної класифікації надійності електропостачання; під час остаточного робочого проектування категорії надійності уточнюються відповідно до ПУЕ [2].

Орієнтовні потужності насосного, холодильного та освітлювального обладнання прийнято як навчальні розрахункові значення для формування добового графіка навантаження. Тому вони використовуються тільки як вихідні дані цієї роботи, а в реальному проекті мають бути замінені паспортними параметрами конкретно обраних моделей обладнання.

Таблиця 2.1 - Склад основних електроспоживачів фермерського господарства

№	Найменування споживача	Встановлена потужність, кВт	Середня тривалість роботи, год/добу	Категорія резервування	Примітка
1	Аварійне та робоче освітлення	0,45	8	I-II	Освітлення виробничих, складських і зовнішніх зон
2	Насос водопостачання	1,10	2	I	Періодичне ввімкнення протягом доби
3	Вентиляційне обладнання	0,75	8	I	Підтримання повітрообміну
4	Холодильна камера	0,90	8	I	Забезпечення умов зберігання продукції
5	Автоматика, сигналізація, відеоспостереження	0,18	24	I	Безперервний режим роботи
6	Офісне та комунікаційне обладнання	0,25	8	II	Комп'ютер, роутер, засоби зв'язку

№	Найменування споживача	Встановлена потужність, кВт	Середня тривалість роботи, год/добу	Категорія резервування	Примітка
7	Резервні розетки допоміжного призначення	0,30	3	II	Невелике сервісне навантаження

Аналіз табл. 2.1 показує, що найбільший вплив на вибір параметрів резервної системи мають насос водопостачання, вентиляційне обладнання та холодильна камера. Саме ці споживачі формують як енергетичне навантаження за добу, так і вимоги до перевантажувальної здатності інвертора під час пуску двигунів.

2.3. Формування розрахункового електричного навантаження та добового графіка споживання

Після визначення складу резервованих електроприймачів наступним кроком є розрахунок добового електроспоживання. Для цього використовується встановлена потужність кожного споживача та орієнтовна тривалість його роботи протягом доби; розрахунок одного електроприймача виконується за формулою (2.1). Такий підхід є достатнім для попереднього інженерного вибору обладнання резервної системи.

$$E_{\text{доб},i} = P_i \cdot t_i \quad (2.1)$$

де $E_{\text{доб},i}$ - добове електроспоживання i -го електроприймача, кВт·год; P_i - встановлена або прийнята розрахункова потужність i -го споживача, кВт; t_i - середня тривалість роботи протягом доби, год.

Сумарне добове електроспоживання резервованого навантаження визначається як сума добових витрат енергії всіх електроприймачів за формулою (2.2):

$$E_{\text{доб}} = \sum E_{\text{доб},i} \quad (2.2)$$

Результати розрахунку добового електроспоживання резервованого навантаження наведено в табл. 2.2.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 009 ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.2 - Розрахункові значення добового електроспоживання резервованого навантаження

№	Найменування споживача	Потужність, кВт	Тривалість роботи, год/добу	Добове споживання, кВт·год
1	Аварійне та робоче освітлення	0,45	8	3,60
2	Насос водопостачання	1,10	2	2,20
3	Вентиляційне обладнання	0,75	8	6,00
4	Холодильна камера	0,90	8	7,20
5	Автоматика, сигналізація, відеоспостереження	0,18	24	4,32
6	Офісне та комунікаційне обладнання	0,25	8	2,00
7	Резервні розетки допоміжного призначення	0,30	3	0,90
Разом				26,22

За результатами розрахунку сумарне добове електроспоживання резервованого навантаження становить 26,22 кВт·год. Це значення використовується як базовий енергетичний показник для вибору потужності фотоелектричних модулів і оцінки можливості заряджання акумуляторної батареї протягом доби.

Крім добового споживання, необхідно враховувати максимальну одночасну активну потужність. У резервному режимі вона може наближатися до 3 кВт, а короточасні пускові режими насоса й холодильного обладнання потребують запасу за потужністю інвертора.

Орієнтовний добовий графік резервованого навантаження, побудований за табл. 2.2, наведено на рис. 2.1.

Рис. 2.1. Орієнтовний добовий графік резервованого навантаження фермерського господарства

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 009 ПЗ		Арк.
							23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

З рис. 2.1 видно, що графік навантаження є нерівномірним. Найбільші значення потужності припадають на ранкові та вечірні години, коли одночасно можуть працювати освітлення, насос, холодильна камера і частина допоміжного обладнання. Денний період є найбільш придатним для безпосереднього використання сонячної генерації та заряджання акумуляторного блока.

Основні числові характеристики графіка на рис. 2.1 зведено в табл. 2.3, а погодинні вихідні дані для його побудови наведено в додатку А.

Таблиця 2.3 - Основні показники добового графіка резервованого навантаження

Показник	Значення	Пояснення
Сумарне добове електроспоживання	26,22 кВт·год	Визначено за табл. 2.2
Мінімальна потужність протягом доби	0,18 кВт	Постійно працююча автоматика та засоби контролю
Орієнтовна максимальна потужність	2,98 кВт	Одночасна робота кількох резервованих споживачів
Прийнята тривалість резервування	8 год	Вихідна вимога до автономної роботи системи

2.4. Кліматичні та експлуатаційні умови впровадження резервної системи

Для системи резервного електроживлення з фотоелектричними модулями важливими є не лише параметри навантаження, а й умови встановлення обладнання. Для Київської області характерна виражена сезонність сонячної генерації: у весняно-літній період фотоелектричні модулі можуть забезпечувати суттєву частину добового споживання, тоді як у зимові місяці виробіток зменшується через коротший світловий день, більшу хмарність і нижчий кут падіння сонячного випромінювання. Для уточнення сонячного ресурсу та питомого виробітку на етапі робочого проектування доцільно використовувати онлайн-інструмент PVGIS [10] і карту сонячного ресурсу Global Solar Atlas [11].

Найбільш доцільним місцем розміщення фотоелектричних модулів є покрівля виробничого або складського приміщення за умови достатньої несучої здатності, відсутності значного затінення та можливості орієнтації панелей у

південному або близькому до південного напрямку. Перед практичною реалізацією системи необхідно перевірити стан покрівлі, наявність вільної площі, напрямок схилів, можливі джерела затінення та умови прокладання DC-кабелів.

Інверторне, комутаційне та захисне обладнання доцільно розміщувати у сухому вентильованому приміщенні або в електротехнічній шафі з відповідним ступенем захисту. Акумуляторний блок повинен установлюватися в місці з обмеженим доступом сторонніх осіб, стабільним температурним режимом, можливістю візуального контролю та достатнім простором для обслуговування.

Експлуатаційні умови фермерського господарства можуть включати підвищену запиленість, сезонні коливання температури, вологість, ризик механічного впливу та наявність струмопровідних частин у виробничих зонах. Тому під час подальшого проєктування необхідно передбачити захист DC- та AC-кіл, заземлення, пристрої захисту від перенапруг, правильний вибір кабельних трас і можливість безпечного відключення обладнання перед технічним обслуговуванням.

Підсумкові вихідні умови, які далі використовуються для вибору обладнання, наведено в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 - Вихідні умови для подальшого вибору обладнання резервної системи

Група даних	Прийняте значення / умова	Використання у подальших розрахунках
Об'єкт проєктування	Фермерське господарство змішаного профілю	Формування складу резервованих споживачів
Регіон розміщення	Білоцерківський район Київської області	Оцінка сезонності сонячної генерації
Добове споживання резервованого навантаження	26,22 кВт·год	Вибір потужності ФЕМ та енергетичний баланс
Тривалість резервування	8 год	Вибір корисної ємності АКБ
Максимальна одночасна	Близько 3 кВт	Вибір потужності інвертора з

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 009 ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Група даних	Прийняте значення / умова	Використання у подальших розрахунках
потужність		запасом
Місце встановлення ФЕМ	Покрівля виробничої або складської будівлі	Перевірка площі, орієнтації, затінення і кабельних трас

Висновки до розділу 2

- У другому розділі охарактеризовано фермерське господарство змішаного профілю як об'єкт електропостачання та обґрунтовано доцільність резервування не всієї встановленої потужності, а визначеної групи відповідальних електроприймачів.
- Сформовано склад резервованого навантаження, до якого включено освітлення, насос водопостачання, вентиляційне обладнання, холодильну камеру, автоматику, сигналізацію, відеоспостереження, офісне обладнання та резервні розетки допоміжного призначення.
- За формулами (2.1)-(2.2) визначено сумарне добове електроспоживання резервованого навантаження, яке становить 26,22 кВт·год. Це значення приймається як базове для подальшого вибору акумуляторного блока, фотоелектричних модулів та інверторного обладнання.
- Побудовано орієнтовний добовий графік резервованого навантаження та встановлено, що максимальна одночасна потужність наближається до 3 кВт, тому інвертор повинен мати запас за потужністю і витримувати короточасні пускові перевантаження.
- Визначено кліматичні та експлуатаційні умови впровадження системи, які необхідно врахувати у третьому розділі під час вибору обладнання, конфігурації фотоелектричного поля, кабельних ліній і засобів захисту.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 009 ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ РЕЗЕРВНОГО ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ФЕРМЕРСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

3.1. Вибір структури резервної системи електроживлення

За результатами аналізу навантажень у попередньому розділі система резервного електроживлення проєктується не для повного живлення всього фермерського господарства, а для окремої групи критичних електроприймачів. Такий підхід дає змогу зменшити потрібну потужність інвертора, номінальну ємність акумуляторного блока та вартість технічного рішення без втрати основної функції - підтримання безпечної та технологічно допустимої роботи об'єкта під час відключення зовнішньої мережі.

Для подальшого проєктування приймається гібридна структура резервної системи. У нормальному режимі електроприймачі живляться від зовнішньої мережі, а фотоелектричні модулі можуть покривати частину поточного споживання та заряджати акумуляторну батарею. У разі зникнення напруги у мережі гібридний інвертор автоматично переходить в автономний режим і подає напругу на щит критичних навантажень.

Основними елементами системи є фотоелектричне поле, акумуляторний блок LiFePO₄, гібридний інвертор, щит критичних навантажень, комутаційна апаратура, пристрої захисту DC- та AC-кіл, заземлення і засоби захисту від імпульсних перенапруг. Нерезервовані споживачі відокремлюються від резервованої групи, щоб у режимі автономної роботи не перевантажувати інвертор і не прискорювати розряд АКБ.

Прийняту структуру системи, розроблену за результатами розрахунків розділу 2, показано на рис. 3.1.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 009 ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

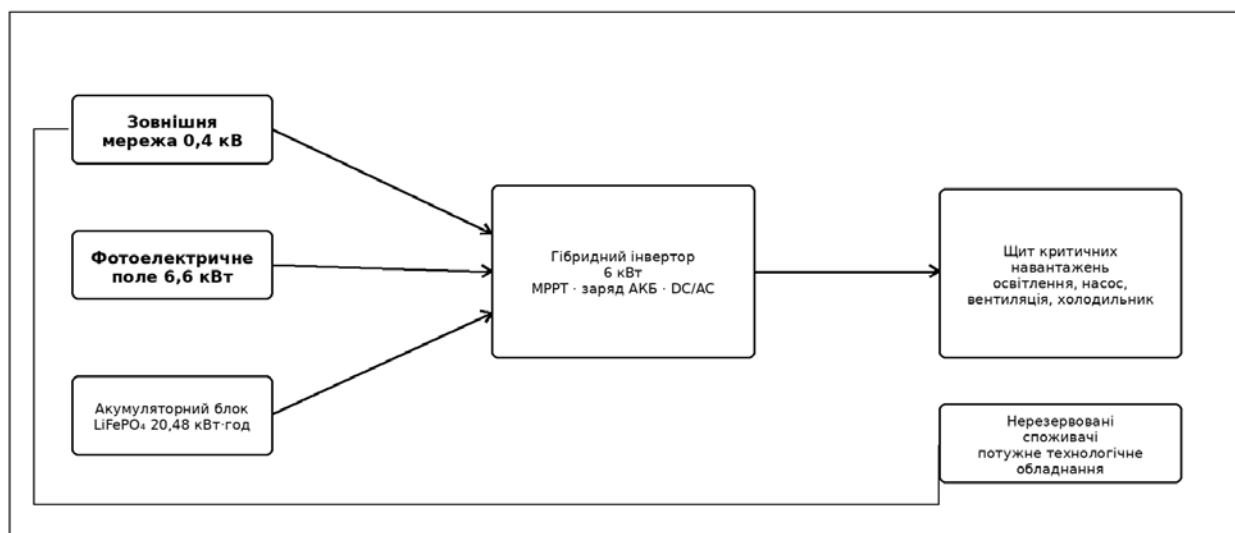


Рис. 3.1. Структура системи резервного електроживлення фермерського господарства

Схема на рис. 3.1 показує, що гібридний інвертор є центральним вузлом системи. Він координує роботу фотоелектричного поля, акумуляторного блока і зовнішньої мережі, а також забезпечує живлення тільки тих електроприймачів, які включено до щита критичних навантажень.

Спрощену однолінійну електричну схему резервної системи електроживлення наведено на рис. 3.2. На схемі показано окремі контури змінного та постійного струму, основні комутаційні апарати, захист DC- та AC-кіл, акумуляторний блок, фотоелектричне поле, гібридний інвертор і щит критичних навантажень.



Рис. 3.2. Спрощена однолінійна електрична схема системи резервного електроживлення фермерського господарства

Однолінійна схема на рис. 3.2 уточнює прийняту структуру системи: зовнішня мережа підключається до АС-входу інвертора через ввідний автоматичний вимикач, фотоелектричні модулі та акумуляторний блок підключаються до DC-частини через відповідні апарати захисту, а резервовані споживачі живляться від окремого щита критичних навантажень.

3.2. Розрахунок і вибір акумуляторного блока

Акумуляторний блок визначає реальну тривалість автономної роботи системи. Для цієї роботи прийнято вимогу забезпечити резервування критичних електроприймачів протягом 8 год. Оскільки добовий графік навантаження є нерівномірним, доцільно орієнтуватися не лише на середньодобове споживання, а й на найбільш навантажений восьмигодинний інтервал. Після розрахунку енергоємності паспортні струмові та енергетичні обмеження обраного модуля перевіряються за документацією Pylontech UF5000 [14].

Вибір технології LiFePO₄ у роботі прив'язано не до загального твердження про всі літієві батареї, а до конкретного паспортного модуля Pylontech UF5000. За паспортом цей модуль має номінальну напругу 51,2 В, енергоємність 5,12

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 009 ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кВт·год, корисну ємність 4,864 кВт·год, допустиму глибину розряду 95%, нормальний струм заряду/розряду 100 А, піковий струм 121-200 А протягом 15 с, проектний строк служби 15 років і ресурс понад 6000 циклів за 25 °С [14]. У розрахунках далі прийнято консервативне значення DoD = 0,80, тобто менше за паспортно допустиме, щоб залишити запас на старіння батареї, температурні умови та нерівномірність режимів експлуатації.

За графіком резервованого навантаження максимальне споживання електроенергії за 8 год приймається на рівні 11,39 кВт·год. Для врахування старіння батареї, можливих відхилень фактичного режиму роботи та похибок вихідних даних вводиться коефіцієнт запасу $k_z = 1,25$. Допустима глибина розряду для прийнятого типу акумуляторної технології приймається $DoD = 0,80$, а ККД інвертора - $\eta_{інв} = 0,93$.

$$E_{АКБ} = E_8 \cdot k_z / (DoD \cdot \eta_{інв}) \quad (3.1)$$

де $E_{АКБ}$ - потрібна номінальна енергоемність акумуляторного блока, кВт·год; E_8 - споживання резервованого навантаження за найбільш навантажені 8 год, кВт·год; k_z - коефіцієнт запасу; DoD - допустима глибина розряду; $\eta_{інв}$ - коефіцієнт корисної дії інвертора.

$$E_{АКБ} = 11,39 \cdot 1,25 / (0,80 \cdot 0,93) = 19,14 \text{ кВт·год} \quad (3.2)$$

За результатом розрахунку за формулою (3.2) доцільно прийняти акумуляторний блок номінальною енергоемністю 20,48 кВт·год. Корисний енергетичний запас такого блока з урахуванням допустимої глибини розряду та ККД інвертора визначається за формулою (3.3):

$$E_{кор} = 20,48 \cdot 0,80 \cdot 0,93 = 15,24 \text{ кВт·год} \quad (3.3)$$

Результати перевірки енергоемності акумуляторного блока наведено в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 - Перевірка енергоемності акумуляторного блока

Показник	Позначення	Значення	Коментар
Максимальне споживання за 8 год	E_8	11,39 кВт·год	За добовим графіком навантаження
Коефіцієнт запасу	k_z	1,25	Врахування старіння та нерівномірності

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 009 ПЗ	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Показник	Позначення	Значення	Коментар
			режимів
Допустима глибина розряду	DoD	0,80	Прийнято для LiFePO ₄
ККД інвертора	η _{інв}	0,93	Прийняте розрахункове значення
Потрібна номінальна ємність	ЕАКБ	19,14 кВт·год	Розрахунок за формулою (3.1)
Прийнята ємність блока	-	20,48 кВт·год	Відповідає вимозі резервування
Корисний запас енергії	Е _{кор}	15,24 кВт·год	Перевищує потребу за 8 год

Графічну перевірку енергетичного запасу акумуляторного блока наведено на рис. 3.3.

Рис. 3.3. Перевірка енергетичного запасу акумуляторного блока

З рис. 3.3 видно, що корисний запас енергії прийнятого акумуляторного блока перевищує потребу найбільш навантаженого восьмигодинного інтервалу. Це створює резерв для короточасного збільшення навантаження, неповного початкового заряду або зниження фактичної ємності батареї під час експлуатації. Окремо необхідно перевірити струм розряду акумуляторного блока під час роботи в режимі найбільшого навантаження за формулами (3.4)-(3.5). Для попередньої оцінки приймається максимальна активна потужність критичних споживачів $P_{\max} = 3$ кВт і номінальна напруга батарейного блока $U_{\text{АКБ}} = 51,2$ В.

$$I_{\text{АКБ}} = P_{\max} / (U_{\text{АКБ}} \cdot \eta_{\text{інв}}) \quad (3.4)$$

$$I_{\text{АКБ}} = 3000 / (51,2 \cdot 0,93) = 63,0 \text{ А} \quad (3.5)$$

Розрахунковий струм 63,0 А порівнюється з паспортними обмеженнями акумуляторного модуля. Для RyLontech UF5000 у паспорті наведено нормальний струм заряду/розряду 100 А та піковий струм 121-200 А протягом 15 с [14]. Отже, струм 63,0 А менший за нормальний допустимий струм одного модуля; за батарейного блока з чотирьох модулів енергоемністю 20,48 кВт·год та

орієнтовною ємністю близько 400 А·год такий режим є помірним для резервного живлення критичних навантажень.

3.3. Розрахунок і вибір фотоелектричних модулів

Фотоелектричне поле в цій системі призначене не для повної автономізації господарства, а для заряджання акумуляторного блока, часткового покриття денного споживання та зменшення навантаження на зовнішню мережу. Тому його потужність вибирається з урахуванням енергії, яку потрібно компенсувати після резервного режиму, і середньої ефективної тривалості сонячної генерації.

Для попереднього розрахунку за формулою (3.6) приймається, що фотоелектрична система повинна мати можливість компенсувати енергію найбільш навантаженого восьмигодинного інтервалу з урахуванням сезонного запасу. Значення $Неф = 3,4$ год/добу та коефіцієнт системних втрат $кс = 0,85$ використано як навчальні розрахункові припущення, а не як готові паспортні або довідкові дані для конкретного майданчика. Для робочого проєкту ці параметри потрібно уточнювати за координатами об'єкта в PVGIS [10] або Global Solar Atlas [11], оскільки ці ресурси призначені для оцінювання сонячної радіації та продуктивності фотоелектричних систем за місцем встановлення. Сезонний коефіцієнт запасу $ксез = 1,70$ введено для врахування зменшення виробітку у періоди меншої інсоляції.

$$РФЕМ = E8 \cdot ксез / (Неф \cdot кс) \quad (3.6)$$

де РФЕМ - потрібна встановлена потужність фотоелектричного поля, кВт;
 $E8$ - енергія, яку необхідно компенсувати після резервного інтервалу, кВт·год;
 $ксез$ - сезонний коефіцієнт запасу; $Неф$ - ефективна тривалість сонячної генерації, год/добу; $кс$ - коефіцієнт системних втрат.

$$РФЕМ = 11,39 \cdot 1,70 / (3,4 \cdot 0,85) = 6,70 \text{ кВт} \quad (3.7)$$

З урахуванням стандартної потужності сучасних монокристалічних модулів приймається фотоелектричне поле потужністю 6,6 кВт. Потужність одного модуля на рівні 550 Вт відповідає паспортному діапазону

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 009 ПЗ	Арк.
						32
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

фотоелектричних модулів JA Solar JAM72S30 525-550/MR [15]. Поле складається з 12 модулів по 550 Вт:

Прийнята конфігурація фотоелектричного поля наведена в табл. 3.2.

$$P_{\text{ФЕМ,пр}} = 12 \cdot 0,55 = 6,6 \text{ кВт} \quad (3.8)$$

Таблиця 3.2 - Прийнята конфігурація фотоелектричного поля

Параметр	Прийняте значення	Пояснення
Кількість модулів	12 шт.	Забезпечує сумарну потужність 6,6 кВт
Потужність одного модуля	550 Вт	Вихідний параметр для розрахунку
Сумарна встановлена потужність	6,6 кВт	Відповідає розрахунковій потребі 6,70 кВт з урахуванням округлення
Попередня структура стрінгів	2 стрінги по 6 модулів	Потребує перевірки за паспортними V_{oc} , V_{mp} та межами MPPT інвертора
Основна функція ФЕМ	Підзаряд АКБ і денне покриття частини навантаження	Не замінює повністю зовнішню мережу

Для остаточного прийняття конфігурації 2 стрінги по 6 модулів необхідно виконати перевірку за напругою холостого ходу та робочою напругою за формулами (3.9)-(3.10) з використанням паспортних параметрів конкретного фотоелектричного модуля [15]. Розрахунок виконується за формулами:

$$U_{oc,стр}(T_{min}) = n \cdot U_{oc,STC} \cdot [1 + \beta_{oc} \cdot (T_{min} - 25)] \quad (3.9)$$

$$U_{mp,стр} = n \cdot U_{mp,STC} \quad (3.10)$$

де n - кількість модулів у стрінгу; $U_{oc,STC}$ - паспортна напруга холостого ходу модуля за стандартних умов, В; β_{oc} - температурний коефіцієнт напруги холостого ходу, $1/^{\circ}\text{C}$; T_{min} - мінімальна розрахункова температура, $^{\circ}\text{C}$; $U_{mp,STC}$ - паспортна робоча напруга модуля в точці максимальної потужності, В. Умовою придатності конфігурації є неперевищення максимально допустимої вхідної напруги інвертора та входження робочої напруги стрінга в діапазон MPPT.

Для контрольної перевірки прийнято паспортні дані модуля JA Solar JAM72S30-550/MR/1500V: $U_{oc,STC} = 49,90 \text{ В}$, $U_{mp,STC} = 41,96 \text{ В}$, температурний

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 009 ПЗ	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

коефіцієнт напруги холостого ходу $\beta_{oc} = -0,00275 \text{ 1/}^\circ\text{C}$ [15]. Для стрінга з 6 модулів за $T_{min} = -25 \text{ }^\circ\text{C}$ отримаємо $U_{oc,стр} \approx 6 \cdot 49,90 \cdot [1 + (-0,00275) \cdot (-50)] = 340,6 \text{ В}$, а робоча напруга $U_{mp,стр} \approx 6 \cdot 41,96 = 251,8 \text{ В}$. Такі значення не перевищують максимальну вхідну напругу 500 В та входять у робочий діапазон MPPT 150-425 В, наведені у паспорті гібридного інвертора Deye [12]. Тому попередня конфігурація 2 стрінги по 6 модулів є технічно прийнятною.

3.4. Розрахунок та вибір інверторного обладнання

Гібридний інвертор повинен забезпечувати перетворення енергії від акумуляторного блока та фотоелектричних модулів у змінну напругу для критичних споживачів. Його номінальна потужність вибирається не тільки за середнім споживанням, а й за максимальною одночасною потужністю навантаження та можливими пусковими струмами двигунних електроприймачів.

З урахуванням добового графіка резервованого навантаження максимальна одночасна активна потужність приймається $P_{max} = 3 \text{ кВт}$, а мінімальна потужність інвертора визначається за формулами (3.11)-(3.12). Для врахування пуску насоса, холодильного обладнання та інших короточасних перевантажень приймається коефіцієнт запасу $k_p = 1,5$.

$$P_{інв} \geq P_{max} \cdot k_p \quad (3.11)$$

$$P_{інв} \geq 3,0 \cdot 1,5 = 4,5 \text{ кВт} \quad (3.12)$$

За результатами розрахунку приймається гібридний інвертор номінальною потужністю 6 кВт. Паспорт Deye SUN-3.6/5/6K-SG03LP1-EU підтверджує потрібні параметри потужності, PV-входу та діапазону MPPT [12]. Інструкція виробника окремо наводить вимоги до підключення резервного навантаження, встановлення автоматичних вимикачів і режимів роботи з акумуляторною батареєю [13]. Такий вибір забезпечує запас відносно розрахункової потужності, дає можливість витримувати короточасні пускові режими та узгоджується з прийнятою потужністю фотоелектричного поля 6,6 кВт.

Перевірку відповідності прийнятого інвертора розрахунковим умовам подано в табл. 3.3.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 009 ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Крім номінальної потужності, під час остаточного вибору моделі необхідно перевірити її паспортну перевантажувальну здатність і допустимий пусковий струм. Для резервної системи це принципово, оскільки насос водопостачання та холодильна камера мають двигунні навантаження, а короткочасний пусковий режим не повинен спричиняти аварійне вимкнення інвертора.

$$I_{AC} = P_{інв} / U_{AC} \quad (3.13)$$

$$I_{AC} = 6000 / 230 = 26,1 \text{ A} \quad (3.14)$$

Отримане за формулою (3.14) значення струму 26,1 А використовується для попереднього вибору апаратів захисту та перерізу АС-кабельної лінії від інвертора до щита критичних навантажень. Остаточний вибір перерізів кабелів виконується з урахуванням способу прокладання, допустимого струмового навантаження, температурних умов і граничного падіння напруги.

Перевірку вибору інверторного обладнання наведено в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 - Перевірка вибору інверторного обладнання

Показник	Значення	Висновок
Максимальна одночасна потужність резервованих навантажень	3,0 кВт	Базовий показник для вибору інвертора
Коефіцієнт запасу на пускові режими	1,5	Враховує насос і холодильну камеру
Мінімально потрібна потужність інвертора	4,5 кВт	Розраховано за формулою (3.11)
Прийнята номінальна потужність інвертора	6 кВт	Забезпечує необхідний запас
Розрахунковий струм АС-виходу	26,1 А	Використовується для вибору захисту та кабелю

3.5. Вибір кабельних ліній і захисних апаратів

Захисні апарати й кабельні лінії мають забезпечувати безпечну роботу системи у колах постійного та змінного струму. До основних захисних елементів належать автоматичні вимикачі АС-кіл, запобіжники або автоматичні вимикачі

DC-кіл, пристрої захисту від імпульсних перенапруг, заземлення та комутаційні пристрої для безпечного відключення обладнання під час обслуговування.

Попередній вибір виконується за робочими струмами відповідних ділянок. Для батарейного кола за повної потужності інвертора 6 кВт розрахунковий струм визначається за формулами (3.15)-(3.16):

$$I_{\text{АКБ,ном}} = P_{\text{інв}} / (U_{\text{АКБ}} \cdot \eta_{\text{інв}}) \quad (3.15)$$

$$I_{\text{АКБ,ном}} = 6000 / (51,2 \cdot 0,93) = 126,0 \text{ А} \quad (3.16)$$

Це значення використовується для вибору кабельної лінії між акумуляторним блоком та інвертором, а також для вибору DC-захисту батарейного кола. Для фотоелектричних стрінгів робочі струми визначаються за паспортними значеннями струму короткого замикання I_{sc} та струму в точці максимальної потужності I_{mp} конкретного модуля.

Попередній склад апаратів захисту для основних ділянок системи наведено в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 - Попередній склад захисту резервної системи

Ділянка системи	Контрольований параметр	Необхідний захист / елемент
ФЕМ - вхід інвертора	Струм стрінга, напруга холостого ходу, перенапруга	DC-запобіжники або вимикачі, SPD DC, роз'єднувач
АКБ - інвертор	Струм розряду, коротке замикання, полярність	DC-вимикач або запобіжник, кабель відповідного перерізу
Інвертор - щит критичних навантажень	АС-струм, перевантаження, КЗ	Автоматичний вимикач, за потреби УЗО/RCD
Зовнішня мережа - інвертор	Наявність напруги, аварійне відключення	Автоматичний вимикач, комутаційний апарат
Уся система	Імпульсні перенапруги і дотикова напруга	SPD, заземлення, вирівнювання потенціалів

Під час остаточного вибору кабелів необхідно перевірити не тільки допустимий тривалий струм, а й падіння напруги на ділянці. Для кіл з акумуляторами, інверторами та зарядними пристроями слід враховувати

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 009 ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рекомендації виробників щодо вибору DC-кабелів, запобіжників, шин, з'єднань і захисту від коротких замикань [16], а також вимоги ПУЕ [2]. Для однофазної АС-лінії попередня оцінка падіння напруги може бути виконана за формулою (3.17) з урахуванням вимог ПУЕ [2] і рекомендацій довідника Victron щодо кабельних з'єднань у системах з батареями та інверторами [16].

$$\Delta U = 2 \cdot I \cdot L \cdot \rho / S \quad (3.17)$$

де ΔU - падіння напруги, В; I - струм у лінії, А; L - довжина лінії в одному напрямку, м; ρ - питомий опір матеріалу провідника, Ом·мм²/м; S - переріз жили кабелю, мм². Після уточнення фактичних довжин кабельних трас у робочому проєкті перерізи повинні бути перевірені за допустимим падінням напруги та умовами прокладання.

Наприклад, для однофазної АС-лінії від інвертора до щита критичних навантажень за $I = 26,1$ А, довжині траси $L = 20$ м, мідному провіднику з $\rho = 0,0175$ Ом·мм²/м і перерізі $S = 6$ мм² падіння напруги становить $\Delta U = 2 \cdot 26,1 \cdot 20 \cdot 0,0175 / 6 = 3,05$ В, тобто близько 1,3% від 230 В. Такий результат є прийнятним для попереднього вибору кабелю, а остаточна перевірка виконується після уточнення фактичної довжини траси та способу прокладання.

3.6. Оцінка енергетичного балансу та режимів роботи системи

Прийнята конфігурація системи дає змогу реалізувати кілька основних режимів роботи: нормальний мережевий режим, режим самоспоживання сонячної генерації, заряджання акумуляторного блока, резервний режим під час відключення мережі та післяаварійне відновлення заряду АКБ.

У нормальному режимі зовнішня мережа залишається основним джерелом живлення, а фотоелектричне поле зменшує споживання з мережі та заряджає батарею. У резервному режимі живлення критичних навантажень забезпечується через інвертор від акумуляторного блока, а за наявності сонячної генерації - також від ФЕМ. Після відновлення напруги у мережі система переходить до заряджання АКБ та нормального режиму роботи.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 009 ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Узагальнений баланс енергії в резервному режимі наведено в табл. 3.5, а зведену специфікацію обладнання винесено в додаток Б.

Таблиця 3.5 - Узагальнений баланс енергії в резервному режимі

Показник	Значення	Коментар
Потреба за найбільш навантажені 8 год	11,39 кВт·год	Енергія критичних навантажень
Номінальна ємність АКБ	20,48 кВт·год	Прийнятий батарейний блок
Корисний запас АКБ з урахуванням DoD та ККД	15,24 кВт·год	Доступна енергія для навантажень
Резерв енергії відносно 8-год потреби	3,85 кВт·год	Запас для нерівномірності режимів
Встановлена потужність ФЕМ	6,6 кВт	Заряджання АКБ і денне покриття частини навантаження
Номінальна потужність інвертора	6 кВт	Перевищує розрахункову потребу 4,5 кВт

Висновки до розділу 3

1. У третьому розділі обґрунтовано гібридну структуру системи резервного електроживлення фермерського господарства з відокремленням щита критичних навантажень від нерезервованих споживачів.
2. За найбільш навантаженим восьмигодинним інтервалом визначено потрібну номінальну енергоемність акумуляторного блока 19,14 кВт·год. Для проєкту прийнято LiFePO₄-блок 20,48 кВт·год, корисний запас якого становить 15,24 кВт·год.
3. Виконано перевірку струму розряду АКБ: за потужності навантаження 3 кВт розрахунковий струм становить 63,0 А, а за повної потужності інвертора 6 кВт - 126,0 А. Ці значення мають бути звірені з паспортними даними конкретних акумуляторних модулів.
4. Розраховано потрібну потужність фотоелектричного поля на рівні 6,70 кВт та прийнято конфігурацію з 12 × 0,55 кВт сумарною потужністю 6,6 кВт. Остаточна

схема стрінгів повинна бути перевірена за V_{oc} , V_{mp} та діапазоном MPPT інвертора.

5. За умовою запасу потужності вибрано гібридний інвертор номінальною потужністю 6 кВт. Таке рішення забезпечує резерв для пускових режимів насоса і холодильного обладнання.

6. Сформовано попередній склад захисних апаратів для DC- та AC-кіл і наведено формулу для перевірки падіння напруги в кабельних лініях, що враховує зауваження щодо інженерного обґрунтування вибору кабелів.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 009 ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4

БЕЗПЕКА ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Аналіз небезпечних і шкідливих чинників під час монтажу та експлуатації системи

Система резервного електроживлення фермерського господарства містить АС-кола 230/400 В, DC-кола фотоелектричних модулів і акумуляторного блока, гібридний інвертор, комутаційні апарати та кабельні лінії. За ПУЕ така система належить до електроустановок до 1 кВ; основні ризики пов'язані з дотиком до струмовідних частин, короткими замиканнями, перенапругами, перегрівом контактів, пошкодженням кабелів і роботами на висоті [2]. Узагальнення небезпечних чинників наведено в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 - Основні небезпечні чинники під час монтажу та експлуатації резервної системи

Небезпечний чинник	Джерело виникнення	Можливі наслідки	Заходи зниження ризику
Ураження електричним струмом	АС-кола інвертора, щит критичних навантажень, пошкоджена ізоляція	Травмування персоналу, аварійне відключення системи	Захисне заземлення, автоматичне вимикання, ізоляція, закриті щити, перевірка відсутності напруги
Коротке замикання в DC-колах	ФЕМ, акумуляторний блок, помилки підключення кабелів	Пошкодження обладнання, перегрівання провідників, дуга	DC-запобіжники або вимикачі, правильна полярність, маркування кабелів, механічний захист ліній
Пожежна безпека	Перегрів контактів, перевантаження, несправність інвертора або АКБ	Займання кабелів, шафи або обладнання	Негорюча основа, вентиляція, захист від перевантажень, візуальний контроль, відстані від горючих матеріалів
Роботи на висоті	Монтаж і обслуговування ФЕМ на покрівлі	Падіння працівника або модуля, пошкодження	Перевірка стану покрівлі, страхувальні засоби,

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 009 ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

		покрівлі	заборона робіт за сильного вітру та опадів
Механічне пошкодження кабелів	Прокладання кабельних трас у виробничій зоні ферми	Порушення ізоляції, КЗ, відключення системи	Кабель-канали, гофротруби, захисні труби, відокремлення від місць руху техніки

З аналізу табл. 4.1 видно, що найбільш суттєвими для цієї системи є ризики ураження електричним струмом, коротких замикань у DC-колах та перегрівання контактних з'єднань. Саме ці чинники враховуються в подальшому під час вибору захисних апаратів, місць встановлення обладнання і порядку безпечного відключення системи.

4.2. Заходи електробезпеки під час монтажу та експлуатації системи

Електробезпека резервної системи повинна забезпечуватися не одним окремим пристроєм, а сукупністю технічних і організаційних заходів. До технічних заходів належать захисне заземлення, автоматичне вимикання живлення, правильний вибір апаратів захисту, ізоляція струмовідних частин, застосування оболонки і електротехнічних шаф, вирівнювання потенціалів та захист від імпульсних перенапруг.

Під час практичного впровадження резервної системи потрібно керуватися чинними Правилами улаштування електроустановок [2] та Правилами технічної експлуатації електроустановок споживачів [3]. Правила технічної експлуатації встановлюють організаційні й технічні вимоги до експлуатації електроустановок споживачів і спрямовані на забезпечення їх надійної, безпечної та раціональної експлуатації [3]. Для проєктованої системи це означає, що відкриті провідні частини інвертора, металеві корпуси щитів, конструкції кріплення обладнання та РЕ-шини повинні бути приєднані до системи захисного заземлення відповідно до вимог ПУЕ [2].

У колах змінного струму після інвертора доцільно передбачити автоматичний вимикач за струмом навантаження та умовами короткого замикання, а також пристрій захисного вимкнення для груп розеток і допоміжних споживачів, де можливий дотик персоналу до корпусів обладнання.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 009 ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У колах постійного струму фотоелектричних модулів потрібно застосовувати DC-роз'єднувачі, запобіжники або автоматичні вимикачі, а також пристрої захисту від імпульсних перенапруг на стороні ФЕМ.

Заходи електробезпеки для окремих частин системи зведено в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 - Заходи електробезпеки для основних частин резервної системи

Частина системи	Основний ризик	Прийнятий захід захисту
Фотоелектричне поле	Наявність DC-напруги під час освітлення модулів, дуга під час розмикання кола	DC-роз'єднувач, запобіжники або автоматичний захист, SPD DC, маркування полярності
Акумуляторний блок	Великий струм короткого замикання, неправильна полярність, перегрівання контактів	BMS, DC-вимикач або запобіжник, кабелі відповідного перерізу, закрита шафа
Гібридний інвертор	Пробій на корпус, перегрів, помилки підключення AC/DC кіл	Заземлення корпусу, автоматичний вимикач на AC-вході та виході, вентиляційні зазори
Щит критичних навантажень	Перевантаження ліній, коротке замикання, дотик до струмовідних частин	Автоматичні вимикачі, кришка щита, РЕ-шина, підписані групи навантажень
Кабельні лінії	Пошкодження ізоляції, перегрівання, падіння напруги	Вибір перерізу за струмом і падінням напруги, механічний захист, розділення AC та DC трас

Наведені в табл. 4.2 заходи повинні виконуватися комплексно. Наприклад, встановлення автоматичного вимикача не скасовує потреби у захисному заземленні корпусів, а наявність BMS в акумуляторному блоці не замінює зовнішній DC-захист і правильний вибір кабелю. Такий підхід узгоджується з вимогами безпечної експлуатації електроустановок споживачів [3], паспортними обмеженнями акумуляторного блока [14] та рекомендаціями щодо DC-кабелів, запобіжників і з'єднань у системах з АКБ та інверторами [16].

Окрему увагу необхідно приділити недопущенню роботи під напругою. Перед відкриванням щита, від'єднанням кабелю, заміною апарата захисту або роботою з акумуляторним блоком система повинна бути послідовно відключена, а відсутність напруги перевірена справним вимірювальним приладом.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 009 ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4.3. Безпечне розміщення обладнання та порядок відключення системи

Безпечність роботи резервної системи значною мірою залежить від правильного розміщення її елементів. Фотоелектричні модулі доцільно встановлювати на покрівлі виробничого або складського приміщення з достатньою несучою здатністю, мінімальним затіненням і можливістю безпечного доступу для огляду. Кабелі від ФЕМ повинні прокладатися так, щоб уникати перетирання об покрівельні елементи, контакту з гострими кромками та місцями накопичення вологи.

Гібридний інвертор слід розміщувати в сухому вентилязованому приміщенні або електротехнічній шафі, захищеній від пилу, опадів, прямих сонячних променів і механічного пошкодження. Для фермерського господарства доцільним є встановлення інвертора на негорючій основі або стіні, з вільним простором для охолодження та доступом до органів керування. Біля інвертора не слід зберігати паливо, мастила, соломку, картонну тару та інші горючі матеріали.

Акумуляторний блок LiFePO₄ необхідно встановлювати в окремій шафі або виділеній зоні електротехнічного приміщення. Місце встановлення повинно мати обмежений доступ сторонніх осіб, стабільний температурний режим, вентиляцію, можливість візуального огляду та достатню відстань для обслуговування. Не допускається розміщення АКБ у місцях можливого затоплення, ударного механічного впливу або сильного нагрівання.

Вимоги до розміщення основного обладнання наведено в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 - Вимоги до розміщення основного обладнання

Обладнання	Рекомендоване розміщення	Основні вимоги безпеки
Фотоелектричні модулі	Покрівля виробничої або складської будівлі	Перевірка несучої здатності, відсутність затінення, надійне кріплення, механічний захист DC-кабелів
Гібридний інвертор	Сухе вентилязоване приміщення або електротехнічна шафа	Негорюча основа, вентиляційні зазори, заземлення корпусу, доступ для обслуговування

Акумуляторний блок	Окрема шафа або виділена зона з обмеженим доступом	Захист від механічного впливу, контроль температури, вентиляція, наявність DC-вимикача
Щит критичних навантажень	Поряд з інвертором або у розподільчій зоні	Підписані групи, закрита оболонка, РЕ-шина, автоматичні вимикачі для кожної групи
Кабельні траси	Кабель-канали, лотки або захисні труби	Розділення AC/DC ліній, захист від пошкодження, мінімізація довжин для зменшення падіння напруги

Перед будь-яким обслуговуванням або ремонтом необхідно виконувати послідовне відключення системи. Орієнтовний порядок безпечного відключення наведено в табл. 4.4. Його потрібно уточнювати за паспортною інструкцією конкретного інвертора та акумуляторних модулів. Для прийнятого інвертора Deue інструкція окремо вказує, що AC- та DC-кола мають бути відключені окремо, а перед початком робіт після знеструмлення слід витримати паузу 5 хв [13].

Для практичного використання цей порядок також подано у вигляді короткої інструкції в додатку В.

Таблиця 4.4 - Орієнтовний порядок безпечного відключення резервної системи

Крок	Дія персоналу	Мета виконання
1	Вимкнути або від'єднати критичні навантаження, які не повинні працювати під час обслуговування	Зменшення навантаження на інвертор і виключення випадкового пуску обладнання
2	Відключити AC-живлення від зовнішньої мережі на вводі інвертора	Унеможливлення надходження напруги з мережі
3	Відключити AC-вихід інвертора на щит критичних навантажень	Знеструмлення споживачів і розподільчого щита
4	Відключити DC-коло фотоелектричних модулів штатним	Ізоляція інвертора від ФЕМ

	DC-роз'єднувачем	
5	Відключити акумуляторний блок DC-вимикачем або згідно з інструкцією виробника	Унеможливлення живлення інвертора від АКБ
6	Витримати паузу 5 хв після відключення AC- та DC-кіл, якщо це передбачено інструкцією інвертора	Розрядження внутрішніх кіл інвертора перед перевіркою напруги
7	Перевірити відсутність напруги на робочій ділянці справним вимірювальним приладом	Підтвердження безпечного стану перед початком робіт

Після завершення робіт увімкнення системи виконується у зворотній послідовності, але лише після перевірки правильності з'єднань, цілісності ізоляції, відсутності сторонніх предметів у шафах та нормального стану кабельних трас. Перше ввімкнення після ремонту доцільно виконувати без підключення всіх навантажень, поступово контролюючи напругу, струм, температуру обладнання та повідомлення системи моніторингу.

4.4. Пожежна безпека, роботи на висоті та дії в аварійних ситуаціях

Пожежна безпека системи резервного електроживлення забезпечується правильним вибором кабелів і захисних апаратів, якісним виконанням контактних з'єднань, застосуванням негорючих основ для інвертора та щитового обладнання, а також недопущенням перевантаження кабельних ліній. Особливо важливим є контроль DC-кіл, оскільки фотоелектричні модулі можуть залишатися джерелом напруги під час освітлення навіть після відключення AC-мережі.

У місці встановлення інвертора та акумуляторного блока доцільно передбачити первинні засоби пожежогасіння, попереджувальні написи та вільний доступ для обслуговування. У разі появи запаху гару, диму, локального нагрівання кабелю або корпусу обладнання система повинна бути знеструмлена відповідно до порядку безпечного відключення. Гасіння обладнання, яке може залишатися під напругою, водою не допускається.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 009 ПЗ	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Роботи на покрівлі під час монтажу ФЕМ повинні виконуватися тільки після огляду стану покрівлі та визначення безпечних місць переміщення. Заборонено виконувати монтаж модулів за сильного вітру, дощу, ожеледиці або недостатньої видимості. Піднімання модулів на покрівлю потрібно виконувати так, щоб не пошкодити скло, раму, кабелі та роз'єми.

Першочергові дії персоналу в типових аварійних ситуаціях наведено в табл. 4.5.

Таблиця 4.5 - Дії персоналу в типових аварійних ситуаціях

Аварійна ситуація	Первинні ознаки	Першочергові дії
Перегрів інвертора	Підвищена температура корпусу, аварійне повідомлення, шум вентилятора	Зменшити навантаження, перевірити вентиляцію, за потреби відключити систему
Нагрівання кабелю або автомата	Запах ізоляції, потемніння корпусу, локальне тепло	Відключити відповідне коло, не вмикати повторно до перевірки перерізу кабелю і контактів
Пошкодження DC-кабелю ФЕМ	Обрив ізоляції, іскріння, сліди механічного впливу	Не торкатися пошкодженої ділянки, відключити DC-роз'єднувач, обмежити доступ
Несправність АКБ або BMS	Аварійний сигнал, різке падіння напруги, нагрів корпусу	Відключити акумулятор згідно з інструкцією, припинити заряд/розряд, повідомити відповідального
Задимлення або займання	Дим, полум'я, запах горіння	Знеструмити систему, евакуювати людей із зони ризику, застосувати відповідний вогнегасник, викликати аварійні служби

Для зменшення аварійності важливо вести простий журнал огляду системи. У ньому можна фіксувати дату перевірки, стан інвертора, акумуляторного блока, DC- та AC-захисту, наявність повідомлень про помилки, зовнішній стан кабелів і результати очищення поверхні фотоелектричних модулів. Такий журнал не замінює технічну документацію виробника, але спрощує контроль стану системи в умовах фермерського господарства.

Усі роботи з відкритими струмовідними частинами, щитовим обладнанням, акумуляторними кабелями та DC-роз'ємами повинні виконуватися підготовленими особами. Для звичайного персоналу господарства доступними мають бути лише операції вмикання/вимикання за інструкцією, візуальний контроль індикаторів і повідомлення відповідального спеціаліста про несправності.

Висновки до розділу 4

1. У четвертому розділі визначено основні небезпечні чинники, характерні для системи резервного електроживлення фермерського господарства: ураження електричним струмом, короткі замикання у DC- та AC-колах, пожежна небезпека, механічне пошкодження кабелів і ризики робіт на висоті.

2. На основі вимог ПУЕ обґрунтовано необхідність застосування захисного заземлення, автоматичного вимикання живлення, ізоляції струмовідних частин, закритих оболонок, захисту від імпульсних перенапруг та розділення AC- і DC-кіл.

3. Запропоновано вимоги до розміщення фотоелектричних модулів, гібридного інвертора, акумуляторного блока, щита критичних навантажень і кабельних трас з урахуванням умов фермерського господарства.

4. Наведено порядок безпечного відключення системи перед обслуговуванням і перелік першочергових дій персоналу в типових аварійних ситуаціях, що зменшує ризик пошкодження обладнання та травмування працівників.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 009 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 5

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ І ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ РОЗРАХУНКИ

5.1. Оцінка енергоефективності запропонованої системи

Енергоефективність системи резервного електроживлення фермерського господарства оцінюється не тільки за кількістю виробленої електроенергії, а й за здатністю системи зменшувати споживання електроенергії із зовнішньої мережі, забезпечувати живлення критичних електроприймачів та раціонально використовувати акумуляторний блок. Автономні системи електропостачання сільськогосподарських об'єктів із фотоелектрикою та акумуляторами розглянуто у матеріалах Горбеля та Павленка [5]. Питання розподілу енергії в мікромережах з інтеграцією ВДЕ висвітлено Іванченком та Павленком [6]. Гібридне зберігання енергії для резервного живлення критичних споживачів описано Колосом та Павленком [7]. Ефективність гібридної фотоелектричної системи з акумуляторним накопичувачем досліджено у статті Shavolkin та ін. [8].

Для розрахунку приймаються результати попередніх розділів: добове електроспоживання резервованого навантаження $E_{доб} = 26,22 \text{ кВт} \cdot \text{год}$, встановлена потужність фотоелектричного поля $P_{ФЕМ} = 6,6 \text{ кВт}$, тривалість резервування критичних електроприймачів $t_{рез} = 8 \text{ год}$, номінальна ємність акумуляторного блока $E_{АКБ} = 20,48 \text{ кВт} \cdot \text{год}$. Ці параметри визначають як технічну придатність системи, так і її економічний ефект.

Орієнтовний середньорічний виробіток фотоелектричного поля визначається за формулою (5.1):

$$E_{ФЕМ, рік} = P_{ФЕМ} \cdot \text{Неф} \cdot k_c \cdot 365 \quad (5.1)$$

де $E_{ФЕМ, рік}$ - очікуваний річний виробіток фотоелектричного поля, $\text{кВт} \cdot \text{год} / \text{рік}$; $P_{ФЕМ}$ - встановлена потужність фотоелектричних модулів, кВт ; Неф - прийнята ефективна тривалість сонячної генерації, $\text{год} / \text{добу}$; k_c - коефіцієнт системних втрат, який враховує втрати в модулях, кабелях, інверторі, температурні та експлуатаційні чинники.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 009 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У межах навчального розрахунку приймається $H_{\text{еф}} = 3,4$ год/добу та $k_{\text{с}} = 0,85$, після чого розрахунок виконується за формулою (5.2). Остаточне уточнення цих параметрів для робочого проєкту потрібно виконувати за даними сонячного ресурсу конкретної точки встановлення: PVGIS [10] або Global Solar Atlas [11].

$$E_{\text{ФЕМ,рік}} = 6,6 \cdot 3,4 \cdot 0,85 \cdot 365 = 6960 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік} \quad (5.2)$$

Річне споживання резервованої групи електроприймачів за прийнятим добовим навантаженням визначається за формулою (5.3):

$$E_{\text{рез,рік}} = E_{\text{доб}} \cdot 365 = 26,22 \cdot 365 = 9570 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік} \quad (5.3)$$

Коефіцієнт розрахункового покриття річного споживання резервованої групи за рахунок фотоелектричної генерації визначається за формулою (5.4), а числовий результат наведено у формулі (5.5):

$$K_{\text{покр}} = E_{\text{ФЕМ,рік}} / E_{\text{рез,рік}} \quad (5.4)$$

$$K_{\text{покр}} = 6960 / 9570 = 0,73 \quad (5.5)$$

Отже, за річним енергетичним балансом фотоелектричне поле потужністю 6,6 кВт може компенсувати близько 73% річного споживання резервованої групи. Водночас це значення не означає повну автономність, оскільки фактичне використання сонячної генерації залежить від добового графіка навантаження, стану заряду АКБ, сезонності та режимів роботи інвертора.

Розрахункові показники енергоефективності системи узагальнено в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 - Розрахункові показники енергоефективності системи

Показник	Позначення	Значення	Пояснення
Добове споживання резервованого навантаження	$E_{\text{доб}}$	26,22 кВт·год	Прийнято за результатами розділу 2
Річне споживання резервованої групи	$E_{\text{рез,рік}}$	9570 кВт·год/рік	Розраховано за формулою (5.3)
Потужність фотоелектричного поля	$P_{\text{ФЕМ}}$	6,6 кВт	$12 \times 0,55$ кВт
Очікуваний річний виробіток ФЕМ	$E_{\text{ФЕМ,рік}}$	6960 кВт·год/рік	Розраховано за формулою (5.2)
Розрахункове покриття	$K_{\text{покр}}$	0,73	Показує частку річного

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 009 ПЗ	Арк.
						49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

резервованого споживання			споживання, яку може компенсувати ФЕМ
Корисний запас АКБ	Екор	15,24 кВт·год	Достатній для 8-год резервування

З табл. 5.1 видно, що прийнята конфігурація не є завищеною відносно потреб об'єкта. Фотоелектричне поле забезпечує помітне зменшення річного споживання електроенергії з мережі, а акумуляторний блок створює енергетичний запас для резервного режиму. Саме поєднання цих двох ефектів формує практичну доцільність системи для фермерського господарства.

5.2. Визначення капітальних витрат та річного економічного ефекту

Техніко-економічна оцінка виконується як попередній укрупнений розрахунок. Вона потрібна для порівняння масштабу капітальних витрат із можливим річним ефектом від заміщення електроенергії зовнішньої мережі та підвищення надійності електропостачання. Регульовані тарифні складові для непобутових споживачів, зокрема послуги з розподілу електричної енергії, необхідно уточнювати за офіційними публікаціями НКРЕКП [4]. Водночас економічна доцільність не повинна розглядатися окремо від технічної функції системи - забезпечення резервного живлення відповідальних електроприймачів.

У табл. 5.2 наведено орієнтовну структуру капітальних витрат. Значення використано як розрахункові кошторисні дані для бакалаврської роботи. У разі практичного впровадження їх потрібно уточнювати за комерційними пропозиціями постачальників, паспортними характеристиками конкретних моделей обладнання та фактичними умовами монтажу. Параметри гібридного інвертора перевіряються за паспортом Deye [12] та інструкцією виробника [13]. Для акумуляторного блока використано паспорт Pylontech UF5000 [14], для фотоелектричних модулів - паспорт JA Solar [15]. Вимоги до кабельних з'єднань і захисту батарейних кіл уточнюються за довідковими матеріалами Victron Energy [16].

Таблиця 5.2 - Орієнтовна структура капітальних витрат на систему

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 009 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Стаття витрат	Кількість / параметр	Орієнтовна вартість, грн	Коментар
Фотоелектричні модулі	6,6 кВт	72 000	12 × 0,55 кВт
Акумуляторний блок LiFePO4	20,48 кВт·год	190 000	Основна частка вартості системи
Гібридний інвертор	6 кВт	55 000	3 запасом за потужністю
Кріплення ФЕМ та монтажні елементи	комплект	15 000	Для встановлення на покрівлі
Кабелі, автоматика, SPD, DC/AC-захист	комплект	35 000	3 урахуванням вимог електробезпеки
Монтаж і пусконаладження	комплекс робіт	10 000	Попередня оцінка трудових витрат
Разом	-	377 000	Сумарні капітальні витрати

Найбільшу частку капітальних витрат становить акумуляторний блок, оскільки саме він визначає тривалість резервування. Зменшення ємності АКБ могло б знизити вартість системи, але одночасно погіршило б здатність забезпечувати восьмигодинне живлення критичних споживачів. Тому прийнята ємність 20,48 кВт·год є компромісом між резервним енергетичним ресурсом і вартістю рішення.

Річний економічний ефект від використання фотоелектричної генерації визначається як вартість електроенергії, яку система може не споживати із зовнішньої мережі, за формулою (5.6):

$$Sp_{\text{рік}} = E_{\text{вик}} \cdot C_e \quad (5.6)$$

де $Sp_{\text{рік}}$ - річний економічний ефект, грн/рік; $E_{\text{вик}}$ - кількість електроенергії ФЕМ, корисно використаної для живлення навантажень або заряджання АКБ, кВт·год/рік; C_e - прийнята розрахункова вартість електроенергії, грн/кВт·год.

Для базового сценарію приймається, що вся річна генерація ФЕМ використовується в межах об'єкта завдяки поєднанню денного споживання та заряджання акумуляторного блока. Розрахункова ціна електроенергії $C_e = 6,40$

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 009 ПЗ	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

грн/кВт·год використана як навчальний сценарій; під час практичного впровадження її потрібно замінити фактичною ціною постачання та чинними регульованими складовими, зокрема тарифом на розподіл за матеріалами НКРЕКП [4]. Річний ефект визначається за формулою (5.7):

$$Sp_{\text{рік}} = 6960 \cdot 6,40 = 44\,544 \text{ грн/рік} \quad (5.7)$$

Проміжні показники для розрахунку річного економічного ефекту наведено в табл. 5.3.

Таблиця 5.3 - Розрахунок річного економічного ефекту

Показник	Позначення	Значення	Примітка
Річний виробіток ФЕМ	ЕФЕМ,рік	6960 кВт·год	За формулою (5.2)
Коефіцієнт корисного використання генерації	квик	1,00	Базовий сценарій для простого строку окупності
Корисно використана електроенергія	Евик	6960 кВт·год	За умови використання генерації в межах об'єкта
Розрахункова вартість електроенергії	Се	6,40 грн/кВт·год	Прийняте кошторисне значення для навчального розрахунку
Річний економічний ефект	Sp _{рік}	44 544 грн/рік	Без урахування індексації тарифу та витрат обслуговування

У більш консервативному сценарії фактичне використання сонячної генерації може бути меншим через сезонність, повний заряд АКБ у денний час або невідповідність графіка генерації графіку споживання. Тому під час остаточного робочого проектування доцільно окремо перевіряти режим самоспоживання за погодинним графіком навантаження.

5.3. Розрахунок строку окупності та аналіз чутливості

Для попередньої оцінки він визначається за формулою (5.8):

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 009 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\text{Ток} = \text{Кзаг} / \text{Срік} \quad (5.8)$$

де Ток - простий строк окупності, років; Кзаг - загальні капітальні витрати, грн; Срік - річний економічний ефект, грн/рік.

$$\text{Ток} = 377\,000 / 44\,544 = 8,46 \text{ року} \quad (5.9)$$

Отримане за формулою (5.9) значення збігається з прийнятим у рефераті орієнтовним строком окупності 8,46 року і може вважатися базовою оцінкою для обраної конфігурації. Водночас цей показник є чутливим до тарифу на електроенергію, фактичного використання генерації, вартості акумуляторного блока та ресурсу обладнання.

Аналіз чутливості цього показника до прийнятої вартості електроенергії наведено в табл. 5.4.

Таблиця 5.4 - Аналіз чутливості строку окупності до вартості електроенергії

Сценарій	Тариф, грн/кВт·год	Річний ефект, грн/рік	Простий строк окупності, років
Тариф нижчий на 30%	4,48	31 181	12,09
Базовий сценарій	6,40	44 544	8,46
Тариф вищий на 30%	8,32	57 907	6,51

За даними табл. 5.4 видно, що підвищення вартості електроенергії скорочує строк окупності, а її зниження або неповне використання сонячної генерації, навпаки, збільшує період повернення інвестицій. Тому для реального впровадження доцільно перевіряти не один, а кілька сценаріїв роботи системи.

Графічну залежність простого строку окупності від розрахункової вартості електроенергії показано на рис. 5.1.

Рис. 5.1. Залежність простого строку окупності від прийнятої вартості електроенергії

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 009 ПЗ	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

На рис. 5.1 показано, що економічний результат найбільше залежить від вартості електроенергії та фактичної частки використання генерації в межах господарства. За таких умов акумуляторний блок виконує не тільки резервну функцію, а й підвищує корисне використання денного виробітку ФЕМ.

Окремо потрібно оцінити співвідношення строку окупності з ресурсом обладнання. Для акумуляторного блока така перевірка може спиратися на паспорт Pylontech UF5000, де наведено DoD 95%, проєктний строк служби 15 років і ресурс понад 6000 циклів за 25 °C [14]. Для фотоелектричних модулів у роботі використано паспортні електричні параметри JA Solar JAM72S30-550/MR/1500V, зокрема потужність 550 Вт, напруги Uoc та Ump і температурний коефіцієнт Voc [15]; гарантійні умови та очікуваний строк служби конкретної партії ФЕМ потрібно додатково перевіряти за гарантійними документами постачальника перед практичним впровадженням. У цій роботі як проєктну вимогу приймається, що ресурс АКБ, ФЕМ та інвертора має бути не меншим за розрахунковий період повернення інвестицій.

Перевірку ресурсної придатності основних елементів системи наведено в табл. 5.5.

Таблица 5.5 - Проверка ресурсной пригодности оборудования

Елемент системи					Критичний ресурсний параметр	Вимога для прийнятого рішення
Фотоелектричні модулі					Строк служби, деградація потужності, механічна міцність	Паспортний ресурс повинен перевищувати строк окупності системи
Акумуляторний блок LiFePO4					Кількість циклів, DoD, залишкова ємність, робоча температура	Заявлений виробником ресурс має забезпечувати роботу у режимі періодичного резервування
Гібридний інвертор					Номінальна потужність,	Потужність і паспортні
					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 009 ПЗ	
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		
						Арк.
						54

	перевантажувальна здатність, ресурс силових електроніки	режими повинні відповідати пусковим навантаженням
Кабелі та захисні апарати	Допустимий струм, падіння напруги, теплова стійкість, ресурс комутації	Вибір має виконуватися відповідно до ПУЕ та умов фактичного монтажу

Таким чином, техніко-економічна доцільність запропонованого рішення підтверджується за базовим сценарієм, але остаточна ефективність залежить від уточнених цін, тарифу, режиму використання ФЕМ та паспортного ресурсу акумуляторного блока. Для бакалаврської роботи прийнята оцінка є достатньою для порівняння варіантів і підтвердження практичної доцільності запропонованої системи.

Висновки до розділу 5

1. У п'ятому розділі виконано оцінку енергоефективності системи резервного електроживлення фермерського господарства з фотоелектричним полем потужністю 6,6 кВт, акумуляторним блоком 20,48 кВт·год та гібридним інвертором 6 кВт.
2. За прийнятими розрахунковими параметрами очікуваний річний виробіток фотоелектричного поля становить 6960 кВт·год/рік, що відповідає близько 73% річного споживання резервованої групи електроприймачів.
3. Орієнтовні капітальні витрати на впровадження системи становлять 377 000 грн, найбільшу частку яких формує акумуляторний блок, необхідний для забезпечення восьмигодинного резервування.
4. За базового сценарію з розрахунковою вартістю електроенергії 6,40 грн/кВт·год річний економічний ефект становить 44 544 грн/рік, а простий строк окупності - 8,46 року.
5. Аналіз чутливості показав, що за зниження тарифу на 30% строк окупності збільшується до 12,09 року, а за його зростання на 30% скорочується до 6,51 року. Це підтверджує необхідність перевірки кількох економічних сценаріїв.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 009 ПЗ	Арк.
						55
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

6. Для практичної реалізації системи необхідно уточнити кошторисні дані за комерційними пропозиціями, а ресурс ФЕМ, АКБ та інвертора перевірити за паспортними характеристиками конкретних моделей обладнання.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 009 ПЗ	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

1. У бакалаврській кваліфікаційній роботі виконано аналіз сучасних підходів до побудови систем резервного електроживлення аграрних об'єктів. Встановлено, що для малого або середнього фермерського господарства раціональним є не повне дублювання всієї встановленої потужності, а резервування групи критичних електроприймачів.

2. Охарактеризовано фермерське господарство змішаного профілю як об'єкт електропостачання та сформовано вихідні дані для проектування. До складу резервованого навантаження включено освітлення, насос водопостачання, вентиляційне обладнання, холодильну камеру, автоматику, сигналізацію, відеоспостереження, офісне обладнання та резервні розетки допоміжного призначення.

3. Розраховано добове електроспоживання резервованого навантаження. За прийнятими потужностями та тривалістю роботи електроприймачів воно становить $E_{доб} = 26,22 \text{ кВт} \cdot \text{год}$. Найбільший вплив на параметри системи мають холодильна камера, вентиляційне обладнання, насос водопостачання та постійно ввімкнені засоби автоматики і контролю.

4. За результатами аналізу режимів роботи прийнято вимогу забезпечення резервного живлення критичних електроприймачів протягом 8 год. Для цього обґрунтовано застосування акумуляторного блока LiFePO_4 номінальною енергоємністю $20,48 \text{ кВт} \cdot \text{год}$, корисний запас якого з урахуванням допустимої глибини розряду та ККД інвертора становить $15,24 \text{ кВт} \cdot \text{год}$.

5. Виконано перевірку струмів акумуляторного блока. За максимальної потужності критичного навантаження 3 кВт розрахунковий струм розряду становить $63,0 \text{ А}$, а за повної потужності інвертора 6 кВт - $126,0 \text{ А}$. Ці значення необхідно звірити з паспортно допустимими струмами конкретних акумуляторних модулів під час остаточного вибору обладнання.

6. Розраховано потужність фотоелектричного поля та прийнято конфігурацію з 12 фотоелектричних модулів по 550 Вт сумарною встановленою потужністю $6,6$

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 009 ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кВт. Така потужність призначена для заряджання акумуляторного блока, часткового покриття денного споживання та зменшення споживання електроенергії із зовнішньої мережі.

7. Обґрунтовано вибір гібридного інвертора номінальною потужністю 6 кВт. За розрахунком мінімально потрібна потужність з урахуванням коефіцієнта запасу становить 4,5 кВт, тому прийнятий інвертор має резерв для короткочасних пускових режимів насоса та холодильного обладнання.

8. Розроблено структуру резервної системи з відокремленням щита критичних навантажень, а також визначено попередній склад захисту DC- та AC-кіл. Для кабельних ліній і захисних апаратів передбачено перевірку за робочим струмом, умовами прокладання, падінням напруги та вимогами ПУЕ [2].

9. Розроблено заходи безпеки та охорони праці під час монтажу й експлуатації системи. У роботі конкретизовано місця встановлення фотоелектричних модулів, інвертора та акумуляторного блока, порядок безпечного відключення перед обслуговуванням і першочергові дії персоналу в аварійних ситуаціях.

10. Виконано техніко-економічну оцінку запропонованого рішення. Очікуваний річний виробіток фотоелектричного поля становить 6960 кВт·год/рік, орієнтовні капітальні витрати - 377 000 грн, а простий строк окупності за базового сценарію - 8,46 року. Подальше вдосконалення системи може передбачати уточнення погодинного енергобалансу, підключення системи моніторингу та резервне підключення паливного генератора для тривалих зимових відключень.

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 009 ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кабінет Міністрів України. Про затвердження Національного плану дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 року та плану заходів з його виконання: розпорядження від 13.08.2024 № 761-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/761-2024-%D1%80> (дата звернення: 10.06.2026).
2. Правила улаштування електроустановок: наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 21.07.2017 № 476. Офіційна картка документа: URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/v0476732-17> (дата звернення: 10.06.2026).
3. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів: наказ Міністерства палива та енергетики України від 25.07.2006 № 258, зареєстрований у Міністерстві юстиції України 25.10.2006 за № 1143/13017. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z1143-06> (дата звернення: 10.06.2026).
4. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг. Тарифи на послуги з розподілу електричної енергії для непобутових споживачів. URL: <https://www.nerc.gov.ua/sferi-diyalnosti/elektroenergiya/promislovist/tarifi-na-elektroenergiyu-dlya-nepobutovih-spozhivachiv/tarifi-na-poslugi-z-rozpodilu-elektrichnoyi-energiyi> (дата звернення: 10.06.2026).
5. Горбель О. О., Павленко В. М. Проектування автономних систем електропостачання сільськогосподарських об'єктів з використанням фотоелектрики та акумуляторів. Енергоефективний університет: матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції, 23 жовтня 2025 р. Київ: КНУТД, 2025. С. 26–29. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/33438> (дата звернення: 10.06.2026).
6. Іванченко А. М., Павленко В. М. Оптимізація розподілу енергії в мікромережах з інтеграцією ВДЕ. Енергоефективний університет: матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції, 23 жовтня 2025 р. Київ: КНУТД,

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 009 ПЗ	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2025. С. 37–40. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/33441> (дата звернення: 10.06.2026).

7. Колос Д. М., Павленко В. М. Інтелектуальна гібридна система зберігання енергії з функцією резервного живлення для критичних споживачів. Електромеханічні, інформаційні системи та нанотехнології: матеріали IV Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції молодих учених та студентів, 17 квітня 2025 р. Київ: КНУТД, 2025. С. 34–35. URL: <https://er.knutd.edu.ua/handle/123456789/32154> (дата звернення: 10.06.2026).

8. Shavolkin O., Shvedchykova I., Demishonkova S., Pavlenko V. Increasing the efficiency of hybrid photoelectric system equipped with a storage battery to meet the needs of local object with generation of electricity into grid. Przegląd Elektrotechniczny. 2021. Vol. 97, № 11. URL: <https://pe.org.pl/articles/2021/11/> (дата звернення: 10.06.2026).

9. Shvedchykova I., Trykhlieb A., Trykhlieb S., Demishonkova S., Pavlenko V. Determining the efficiency of restored photovoltaic modules under natural lighting conditions. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2024. Vol. 6, № 8 (132). P. 16–24. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.317829>.

10. European Commission, Joint Research Centre. Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS). URL: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/photovoltaic-geographical-information-system-pvgis_en (дата звернення: 10.06.2026).

11. World Bank Group, ESMAP, Solargis. Global Solar Atlas. URL: <https://globalsolaratlas.info/> (дата звернення: 10.06.2026).

12. Ningbo Deye Inverter Technology Co., Ltd. SUN-3.6/5/6K-SG03LP1-EU Single Phase Hybrid Inverter. Datasheet. URL: https://www.deyeinverter.com/deyeinverter/2024/10/21/datasheet_sun-3.6-6k-sg03lp1_241021_en.pdf (дата звернення: 10.06.2026).

13. Ningbo Deye Inverter Technology Co., Ltd. SUN-3.6/5/6K-SG03LP1-EU User Manual. URL:

https://www.deyeinverter.com/deyeinverter/2024/02/03/instructions_sun-3.6-6k-sg03lp1-eu_240203_en.pdf (дата звернення: 10.06.2026).

14. Pylon Technologies Co., Ltd. UF5000 Residential ESS: low-voltage rack-mounted battery. Datasheet. URL:

https://global-site.oss-eu-central-1.aliyuncs.com/upload/2024/09/26/UF5000_20240926105838A038.pdf (дата звернення: 10.06.2026).

15. JA Solar. JAM72S30 525-550/MR Photovoltaic Module. Datasheet. URL:

<https://www.jasolar.com/uploadfile/2021/0706/20210706053524693.pdf> (дата звернення: 10.06.2026).

16. Victron Energy. Wiring Unlimited: electrical wiring systems containing batteries, inverters, chargers and inverter/chargers. URL:

https://www.victronenergy.com/media/pg/The_Wiring_Unlimited_book/en/index-en.html (дата звернення: 10.06.2026).

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 009 ПЗ	Арк.
						61
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ДОДАТКИ
ДОДАТОК А

Вихідні дані для побудови добового графіка резервованого навантаження

У додатку А, табл. А.1, наведено погодинний розподіл розрахункового резервованого навантаження. Дані узгоджені з добовим споживанням $E_{доб} = 26,22$ кВт·год і використовуються для пояснення добового графіка навантаження, наведеного в основній частині роботи.

Таблиця А.1 - Погодинний графік резервованого навантаження

Інтервал часу	Р, кВт	Інтервал часу	Р, кВт
00:00-01:00	0,18	12:00-13:00	0,18
01:00-02:00	0,18	13:00-14:00	0,63
02:00-03:00	0,18	14:00-15:00	1,33
03:00-04:00	0,18	15:00-16:00	1,63
04:00-05:00	0,18	16:00-17:00	1,33
05:00-06:00	0,63	17:00-18:00	1,18
06:00-07:00	1,38	18:00-19:00	2,48
07:00-08:00	2,48	19:00-20:00	1,38
08:00-09:00	2,98	20:00-21:00	1,68
09:00-10:00	2,38	21:00-22:00	0,63
10:00-11:00	1,33	22:00-23:00	0,18
11:00-12:00	1,33	23:00-00:00	0,18
Разом за 00:00-12:00	13,41	Разом за 12:00-24:00	12,81
Добове споживання	-	Едоб, кВт·год	26,22

ДОДАТОК Б

Зведена специфікація основного обладнання системи

У додатку Б, табл. Б.1, наведено зведену специфікацію основного обладнання, прийнятого за результатами розрахунків. Остаточні марки

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 009 ПЗ	Арк.
						62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обладнання мають уточнюватися за паспортними даними, наявністю сертифікатів, умовами гарантії та фактичними умовами монтажу.

Таблиця Б.1 - Зведена специфікація основного обладнання

Елемент системи	Прийнятий параметр	Кількість	Призначення / вимога
Фотоелектричний модуль	550 Вт	12 шт.	ФЕМ потужністю 6,6 кВт
Акумуляторний блок LiFePO4	20,48 кВт·год, 51,2 В	1 комплект	Восьмигодинне резервування критичних навантажень
Гібридний інвертор	6 кВт, 230 В АС	1 шт.	Живлення щита критичних навантажень та заряд АКБ
DC-захист ФЕМ	За струмами I _{sc} та I _{mp}	комплект	Захист стрігів та їх безпечне відключення
DC-захист АКБ	За розрахунковим струмом	комплект	Захист кола АКБ - інвертор
АС-захист навантажень	За струмом 26,1 А	комплект	Захист від перевантаження та КЗ
SPD та заземлення	Для DC- та АС-кіл	комплект	Захист від перенапруг і дотикової напруги

ДОДАТОК В

Порядок безпечного відключення системи перед обслуговуванням

У додатку В, табл. В.1, узагальнено порядок дій персоналу перед технічним обслуговуванням системи. Послідовність уточнюється за інструкцією виробника інвертора Deye [13] та вимогами безпечної експлуатації електроустановок споживачів [3].

Таблиця В.1 - Послідовність безпечного відключення системи

Крок	Дія	Результат
1	Повідомити відповідальних осіб і обмежити доступ до обладнання.	Організаційна безпека
2	Вимкнути навантаження щита критичних	Зняття навантаження з інвертора

	споживачів.	
3	Відключити АС-вхід інвертора від зовнішньої мережі.	Виключення зворотного живлення
4	Відключити DC-коло фотоелектричних модулів.	Відокремлення ФЕМ від інвертора
5	Відключити акумуляторний блок штатним вимикачем або DC-захистом.	Відокремлення джерела накопиченої енергії
6	Витримати 5 хв після відключення АС- та DC-кіл.	Зменшення ризику залишкової напруги.
7	Перевірити відсутність напруги на АС- і DC-клемах.	Підготовка до безпечного обслуговування

					02.03 – КР. 2606 "С" 2025.10.30 009 ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		