

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

ПОГОДЖЕНО
Директор ІНІ енергетики
автоматики і енергозбереження

проф., д.т.н. /КАПЛУН В.В./
вчене звання, науковий ступінь підпис

„ _____ ” 2025 р.
число місяць рік

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри інженерії
енергосистем

доц., к.т.н. /АНТИПОВ Є.О./
вчене звання, науковий ступінь підпис

„ _____ ” 2025 р.
число місяць рік

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: «Удосконалення системи електропостачання ферми
«ЕтноПродукт»»

Спеціальність 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

Гарант освітньої програми

к.т.н., доцент
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

Усенко С.М.
(ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

к.т.н., доцент
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

Троханяк В.І.
(ПІБ)

Виконав

_____ (підпис)

Мусяка О.В.
(ПІБ)

КИЇВ – 2025

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

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Інженерії енергосистем

к.т.н., доцент _____ /Антипов Є.О./

(підпис)

« _____ » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ
ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
ЗДОБУВАЧУ

Мусіяці Олексію Вікторовичу

Спеціальність 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: «Удосконалення системи електропостачання ферми «ЕтноПродукт»»

затверджена наказом від 18.11.2024 р. № 2061”С”

Термін подання завершеної роботи на кафедру 2025.11.11.

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи: Технічна документація електрообладнання, нормативно – правова література .

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Проектування електропостачання господарства
2. Проектування освітлення.
3. Економічна частина.

Дата видачі завдання 18.11.2024 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи _____ **Троханяк В.І.**

(підпис)

(ПІБ)

Завдання прийняв до виконання _____ **Мусіяка О.В.**

(підпис)

(ПІБ)

РЕФЕРАТ

Магістерська кваліфікаційна робота за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» виконана у Національному університеті біоресурсів та природокористування України, Київ, 2025 р.

Магістерська кваліфікаційна робота: 55 с., 4 рис., 11 табл., 22 джерела, 4 додатки.

Об'єкт дослідження – енергетична інфраструктура ферми ВРХ ПРАТ «ЕтноПродукт» як елемент системи електропостачання агропромислового підприємства.

Предметом дослідження є методи та технічні рішення щодо проектування систем електропостачання 10 кВ і 0,38 кВ, вибору обладнання, визначення навантажень та інтеграції відновлюваних джерел енергії у технологічний комплекс ферми.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є розробити технічно обґрунтовану, енергоефективну та надійну систему електропостачання ферми ВРХ ПРАТ «ЕтноПродукт» з урахуванням вибору режимів живлення, розрахунку електричних навантажень, підбору кабельних ліній, захисної апаратури та інтеграції гібридної енергетичної системи з фотоелектричною станцією.

В магістерській роботі реалізовано комплексне проектування системи електропостачання ферми великої рогатої худоби з інтеграцією гібридної фотоелектричної станції потужністю 300 кВт. Проведено аналіз технологічних процесів та енергетичної інфраструктури підприємства, розраховано електричні навантаження, визначено параметри мереж 10 кВ і 0,38 кВ, обґрунтовано вибір схем живлення, перерізів проводів і захисної апаратури. Розроблено структурну та однолінійну схеми внутрішньої мережі, побудовано модель гібридної системи з акумуляторною батареєю 200 кВт·год та дизель-генератором 40 кВт, оцінено її роботу в різних режимах. Робота забезпечує технічно обґрунтоване рішення

щодо підвищення надійності, енергоефективності та автономності електропостачання ферми.

Ключові слова: ферма ВРХ, система електропостачання, фотоелектрична станція, гібридна енергосистема, акумуляторна батарея, електричні навантаження.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1	10
АНАЛІЗ ОБ’ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ ТА ПОТОЧНОГО СТАНУ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ФЕРМИ ВРХ	10
1.1. Загальна характеристика ферми та технологічних процесів	10
1.2. Аналіз існуючої системи електропостачання.....	11
1.3. Характеристика електричних навантажень об’єкта	12
1.4. Визначення проблем та недоліків існуючої системи.....	13
Висновки до розділу 1	14
РОЗДІЛ 2	15
МЕТОДИ ТА ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	15
2.1. Теоретичні основи роботи фотоелектричних систем та їх інтеграції	15
2.2. Методика оцінки електричних навантажень ферми ВРХ	19
2.3. Методика розрахунку гібридних систем електропостачання.....	23
Висновки до розділу 2	28
РОЗДІЛ 3	29
РОЗРОБЛЕННЯ СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТА ВИБІР ОСНОВНОГО ОБЛАДНАННЯ	29
3.1. Вибір напруги, системи живлення та категорії надійності.....	29
3.2. Вибір схеми підключення гібридної системи до мережі	30
3.3. Розміщення розподільчих та групових щитків, вибір трас кабельних ліній	31
3.4. Розрахунок перерізів кабелів і способів прокладання.....	32
3.5. Вибір захисної та комутаційної апаратури	33
3.6. Вибір та обґрунтування системи заземлення	34

	5
3.7. Вимоги електробезпеки до обладнання ВДЕ	35
Висновки до розділу 3	35
РОЗДІЛ 4	37
РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ 10 кВ	37
4.1. Визначення розрахункового навантаження на стороні 10 кВ	37
4.2. Розрахунок струму та побудова схеми живлення	38
4.3. Розрахунок втрат напруги в лінії 10 кВ	39
4.4. Розрахунок струмів короткого замикання в мережі 10 кВ	40
4.5. Перевірка трансформатора та оцінка режимів роботи мережі	41
Висновки до розділу 4	42
РОЗДІЛ 5	44
РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ 0,38 кВ ДІЛЬНИЦІ ФЕРМИ.....	44
5.1. Розрахунок навантажень мережі 0,38 кВ	44
5.2. Побудова структурної схеми живлення 0,38 кВ.....	46
5.3. Вибір перерізу проводів лінії 0,38 кВ	47
5.5. Аналіз роботи мережі та відповідність нормативним вимогам	50
Висновки до розділу 5	51
ВИСНОВКИ.....	53
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	55
ДОДАТКИ	

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

U – напруга, В

I – струм, А

P – активна потужність, кВт

Q – реактивна потужність, кВАр

S – повна потужність, кВА

cosφ – коефіцієнт потужності

ΔU – падіння напруги, %

I_{кз} – струм короткого замикання

L – довжина лінії, м / км

Z – повний опір лінії

r, x – активний та реактивний опори

AB – автоматичний вимикач

ПЗВ (УЗО) – пристрій захисного вимкнення

ABP – автоматичний ввід резерву

ФЕС – фотоелектрична станція

АКБ – акумуляторна батарея

DC – постійний струм

AC – змінний струм

ГРЩ – головний розподільчий щит

ТП – трансформаторна підстанція

ДГ – дизель-генератор

ПЛ – повітряна лінія

ВВГнг-LS, АС-95, АС-50 – марки кабелів та проводів

ТМ-630/10 – силовий трансформатор 630 кВА, 10/0,4 кВ

SPD – захист від перенапруг

MPPT – контролер заряду

ВСТУП

Розвиток аграрного сектору України потребує впровадження сучасних енергоефективних рішень, здатних забезпечити стабільну та безперебійну роботу високотехнологічних виробничих комплексів. Молочні ферми, особливо ті, що працюють за принципами органічного тваринництва, характеризуються значною часткою електромеханізованих процесів: доїння, охолодження молока, вентиляції, підтримання мікроклімату, водопостачання та автоматизованого моніторингу стану тварин. У таких умовах надійність системи електропостачання стає ключовим чинником ефективності виробництва.

Ферма ПРАТ «ЕтноПродукт», що працює у Чернігівській області та утримує понад тисячу голів ВРХ, є прикладом сучасного підприємства, яке поєднує інтенсивні технологічні процеси та вимоги до високої якості продукції. Безперервність електропостачання, стабільність напруги та відповідність обладнання нормативним вимогам безпосередньо впливають як на продуктивність стада, так і на економічні результати діяльності. Водночас зростання вартості електроенергії й підвищена чутливість технологічних процесів до перерв у живленні робить актуальним питання модернізації енергетичної інфраструктури, зокрема інтеграції гібридних систем на основі відновлюваних джерел енергії.

У таких умовах особливого значення набуває точний розрахунок електричних навантажень ферми, вибір оптимальної схеми живлення, визначення параметрів кабельних ліній і трансформаторного обладнання, аналіз якості електроенергії та можливості впровадження фотоелектричної станції. Рационально спроектована система електропостачання дає змогу забезпечити енергоефективність, знизити експлуатаційні витрати, покращити електробезпеку та гарантувати сталість технологічних процесів.

Мета роботи. Розробити технічно обґрунтовану, енергоефективну та надійну систему електропостачання ферми ВРХ ПРАТ «ЕтноПродукт» з урахуванням вибору режимів живлення, розрахунку електричних навантажень,

підбору кабельних ліній, захисної апаратури та інтеграції гібридної енергетичної системи з фотоелектричною станцією.

Об'єкт дослідження. Енергетична інфраструктура ферми ВРХ ПРАТ «ЕтноПродукт» як елемент системи електропостачання агропромислового підприємства.

Предмет дослідження. Методи та технічні рішення щодо проектування систем електропостачання 10 кВ і 0,38 кВ, вибору обладнання, визначення навантажень та інтеграції відновлюваних джерел енергії у технологічний комплекс ферми.

Завдання роботи:

1. Проаналізувати технічні та технологічні особливості ферми, структуру споживання електроенергії та чинні нормативні вимоги.
2. Визначити електричні навантаження ферми, встановлену, розрахункову та пікову потужність.
3. Розробити схему живлення та топологію мережі 0,38 кВ.
4. Виконати розрахунок перерізів проводів, падіння напруги та вибір захисної апаратури.
5. Провести розрахунок електричних параметрів мережі 10 кВ, визначити струми та втрати.
6. Обґрунтувати вибір параметрів гібридної системи електропостачання з ФЕС, АКБ та дизель-генератором.

Практична цінність роботи. Отримані результати можуть бути використані під час модернізації або проектування систем електропостачання на фермах ВРХ, агропромислових підприємствах та об'єктах, що потребують високої надійності електроживлення. Запропоновані рішення сприяють підвищенню енергоефективності, зменшенню експлуатаційних витрат і підвищенню електробезпеки.

Наукова новизна. У роботі застосовано комплексний підхід до розроблення системи електропостачання ферми з інтеграцією гібридної енергетичної архітектури, що поєднує традиційне мережеве живлення,

фотоелектричну станцію та систему накопичення енергії. Уперше проведено узгодження розрахунків низької та середньої напруги із впровадженням ВДЕ, з урахуванням специфічних умов роботи молочної ферми: підвищеної вологості, хімічно активного середовища та цілодобового циклу споживання.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ ТА ПОТОЧНОГО СТАНУ СИСТЕМИ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ФЕРМИ ВРХ

1.1. Загальна характеристика ферми та технологічних процесів

Приватне акціонерне товариство «ЕтноПродукт» є одним із провідних підприємств України у сфері органічного тваринництва, яке спеціалізується на розведенні великої рогатої худоби молочних порід. Юридичну особу було зареєстровано 22 березня 1996 року, а станом на кінець 2025 року вона перебуває у статусі «зареєстровано». Основний вид діяльності підприємства відповідає КВЕД 01.41, що підтверджує спрямованість виробництва на молочне тваринництво.

Виробничі потужності розташовані у Чернігівській області, у селі Травневе Чернігівського району. Територія господарства охоплює корівники, телятники, кормові склади, доїльний блок, пункти ветеринарного обслуговування, а також інженерну інфраструктуру, необхідну для функціонування систем водопостачання, вентиляції та мікроклімату. Поголів'я ферми перевищує 1100 голів ВРХ, з яких значну частину становить дійне стадо. Підприємство працює за принципами органічного виробництва, що передбачає мінімізацію впливу на довкілля та дотримання суворих вимог до якості кормів, води, технологічних процесів та умов утримання.

Сучасна організація виробництва базується на комплексній механізації та автоматизації. На фермі використовується роботизоване доїльне обладнання, автоматизовані системи контролю мікроклімату, вентиляції й освітлення, що відповідає сучасним європейським підходам до енергоефективного ведення сільського господарства. Вимоги до таких об'єктів викладені в нормативних документах щодо енергоменеджменту й підвищення ефективності використання ресурсів, зокрема в ДСТУ ISO 50001:2020 [9] та Energy Efficiency Directive ЄС [12]. Застосування автоматизованих систем контролю забезпечує сталу якість

молока та зменшує залежність виробництва від людського фактора, а наявність власної кормової бази формує замкнений виробничий цикл.

ПРАТ «ЕтноПродукт» є одним із найбільших в Україні виробників органічного молока, що має відповідні сертифікати якості та міжнародні сертифікації. Підприємство приділяє значну увагу екологічним аспектам виробництва, раціональному використанню енергоресурсів, зниженню викидів та впровадженню сучасних технологій, рекомендованих у дослідженнях з відновлюваної енергетики для аграрного сектору [14; 15]. Це створює необхідні передумови для переходу до гібридних систем електропостачання із застосуванням відновлюваних джерел енергії.

1.2. Аналіз існуючої системи електропостачання

Електроживлення ферми здійснюється від місцевої розподільчої мережі напругою 10/0,4 кВ, що є типовою схемою для підприємств аграрного сектору та відповідає вимогам чинних будівельних і електротехнічних норм, зокрема ПУЕ [5] і ДБН В.2.5-23:2010 [6]. Виробнича інфраструктура ферми поєднує технологічне, побутове та допоміжне електрообладнання, що працює у складних умовах підвищеної вологості, агресивного середовища та значних добових коливань температури. Це обумовлює особливі вимоги до електробезпеки та обслуговування електроустановок відповідно до НПАОП 40.1-1.21-98 [7].

До основних споживачів електроенергії на фермі належать доїльні роботи, холодильне обладнання, системи вентиляції, насоси водопостачання, обладнання для видалення гною, а також освітлювальні установки корівників і господарських будівель. Широке застосування вентиляційних систем, автоматики та холодильних агрегатів створює значні пікові навантаження та підвищує чутливість виробництва до перерв у електропостачанні. Будь-яка тривала відсутність електроенергії може призвести до порушення мікроклімату, зниження продуктивності тварин та втрати якості молока, що вимагає від підприємства високої надійності енергопостачання.

Проведений аналіз існуючих умов роботи електроустановок показує, що наявні заземлювальні пристрої та захисні системи потребують подальшої модернізації, оскільки робота в середовищі підвищеної вологості вимагає високого ступеня захисту й відповідності вимогам стандартів блискавкозахисту та заземлення, визначених у ДСТУ EN 62305-3:2021 [1]. Наукові дослідження сучасних систем заземлення у великих промислових комплексах підтверджують необхідність комплексного підходу до моделювання й розрахунку таких систем [13; 17; 18].

Відсутність власних джерел автономної генерації підвищує залежність підприємства від зовнішніх мереж та ускладнює забезпечення технологічної безперервності. Це суперечить рекомендаціям провідних міжнародних організацій щодо енергетичної стійкості фермерських господарств та доцільності інтеграції відновлюваних джерел енергії [19; 20; 21].

1.3. Характеристика електричних навантажень об'єкта

Електричне навантаження ферми формується переважно технологічним обладнанням безперервної дії. Найбільшу частку споживання становлять доїльні апарати, вакуумні насоси, системи охолодження молока та вентиляційні агрегати. Значну роль відіграють системи мікроклімату, які забезпечують підтримання оптимальної температури й вологості в корівниках, що є критичним для продуктивності тварин. Додатковими споживачами є освітлювальні установки, які працюють за графіком, залежним від сезону та доби.

Розподіл навантажень має виражений добовий характер: пікові значення припадають на ранкові та вечірні години, що пов'язано з доїнням та активністю вентиляційного обладнання. У денний час домінують споживачі, пов'язані з підтриманням мікроклімату й циркуляцією води. Нерівномірність графіка споживання та наявність технологічних піків створюють необхідність у застосуванні систем управління навантаженням і контролю якості електроенергії.

Загальна встановлена потужність ферми оцінюється в межах 70–120 кВт, що узгоджується з типовими значеннями для підприємств такого масштабу й відповідає даним міжнародних оглядів енергоспоживання аграрних комплексів [19]. Такі показники формують потребу у правильному виборі схеми живлення, засобів захисту, компенсаторів реактивної потужності та заходів із підвищення енергоефективності.

1.4. Визначення проблем та недоліків існуючої системи

Аналіз технічного стану електропостачання засвідчує низку проблем, що впливають на надійність роботи ферми та загальну енергоефективність виробництва. Найсуттєвішою з них є повна залежність підприємства від зовнішньої електричної мережі, що підвищує ризики технологічних порушень у разі аварій чи коливань напруги. Оскільки основне обладнання працює у безперервному режимі, навіть короточасні відключення можуть спричинити втрати продукції та погіршення умов утримання тварин.

Стан частини електромеханічного обладнання свідчить про наявність потенціалу для модернізації. Насоси, вентилятори та інше обладнання, введене в експлуатацію раніше, відрізняється нижчим рівнем енергоефективності порівняно із сучасними аналогами, про що зазначається у дослідженнях щодо гібридних систем енергоживлення аграрних господарств [8; 19]. Відсутність системи енергетичного моніторингу ускладнює оптимізацію споживання електроенергії та не дозволяє повною мірою відповідати вимогам стандартів енергоменеджменту [9].

Потребує уваги й система заземлення та блискавкозахисту, регулярний аналіз яких є необхідним з огляду на особливості агресивного середовища тваринницьких приміщень. Міжнародні дослідження earthing systems підтверджують, що у великих комплексах заземлення має бути розраховане з урахуванням нерівномірності потенціалів та складних ґрунтових умов [13; 17; 18].

Нарешті, на фермі відсутні відновлювальні джерела енергії, які могли б зменшити використання мережевої електроенергії, забезпечити часткову автономність та сприяти зниженню експлуатаційних витрат. У наукових публікаціях підкреслюється, що впровадження сонячної генерації, агровольтаїки чи гібридних систем є одним із найперспективніших напрямів підвищення енергетичної стійкості фермерських господарств [10; 16; 21].

Висновки до розділу 1

У першому розділі здійснено комплексну характеристику ПРАТ «ЕтноПродукт» як об'єкта проектування системи електропостачання. Окреслено структуру господарства, особливості технологічних процесів, споживання електроенергії та його добові коливання. Проаналізовано наявну схему електроживлення, визначено її відповідність нормативним вимогам і виявлено низку проблем, пов'язаних із залежністю від мережі, енергоефективністю обладнання, станом системи заземлення та відсутністю відновлюваних джерел енергії.

Отримані результати формують підґрунтя для розроблення технічних рішень щодо модернізації системи електропостачання ферми ВРХ із використанням ВДЕ, що буде розглянуто у наступних розділах.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИ ТА ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

2.1. Теоретичні основи роботи фотоелектричних систем та їх інтеграції

Фотоелектричні системи (ФЕС) є одним із найбільш перспективних рішень для децентралізації енергопостачання аграрних підприємств. Завдяки використанню фотоелектричного ефекту перетворення сонячного випромінювання у електричну енергію відбувається безшумно, без викидів і з високою стабільністю протягом усього терміну експлуатації обладнання [8, 14, 15]. Для ферми ВРХ на 1000 голів інтеграція ФЕС дає змогу суттєво зменшити витрати на електричну енергію, забезпечити резервування критичних навантажень та підвищити стійкість системи електропостачання до зовнішніх факторів.

Відповідно до ДСТУ ІЕС 60364-7-712:2019, проектування та інтеграція сонячних систем повинні забезпечувати електробезпеку, правильний вибір перерізів провідників, захист від перенапруг та грозових впливів, а також відповідність вимогам до низьковольтних електроустановок [2, 1, 7].

Ферма ПРАТ «Етнопродукт» утримує близько 1000 голів ВРХ. Структура добового електроспоживання включає:

- пікові навантаження у періоди доїння;
- споживання холодильним обладнанням;
- постійну роботу вентиляційних систем;
- цілодобове функціонування насосного та автоматизованого обладнання.

Середньодобове споживання ферми становить 750...900 кВт·год, тоді як пікове – 25...35 кВт. Для таких об'єктів доцільно застосовувати гібридні системи електропостачання, які поєднують виробіток від ФЕС та акумуляторних систем [19], [20].

Для проектування приймаються монокристалічні кремнієві модулі зі стандартними параметрами:

- номінальна потужність: 540 Вт;
- площа модуля: 2,6 м²;
- ККД: ≈20,5 %;
- напруга в точці максимальної потужності: ≈41 В;
- струм максимальної потужності: ≈13,1 А.

Монокристалічні модулі рекомендовані як найбільш ефективні та надійні для об'єктів з обмеженою територією або потребою високої щільності встановленої потужності [12], [14].

Для забезпечення загальної пікової потужності 300 кВт необхідна кількість модулів визначається за формулою:

$$N = \frac{P_{\Sigma}}{P_m} \quad (2.1)$$

де

N – необхідна кількість модулів

P_{Σ} – встановлена потужність ФЕС, Вт

P_m – потужність одного фотомодуля, Вт

Підставляючи значення:

$$N = \frac{300000}{540} \approx 555$$

Остаточню кількість приймається до монтажу 560 модулів.

Середньорічна інсоляція для Чернігівської області становить 3,1...3,5 кВт·год/м²·добу. З урахуванням втрат системи (температурні, інверторні, кабельні), загальний ККД приймається $\eta_{sys} = 0,78$. Добова генерація визначається:

$$E_{day} = P_{\Sigma} \cdot H_{sun} \cdot \eta_{sys} \quad (2.2)$$

де

E_{day} – добова генерація, кВт·год

P_{Σ} – встановлена потужність ФЕС, кВт

H_{sun} – середньодобова інсоляція, кВт·год/м²

η_{sys} – загальний коефіцієнт корисної дії системи

Підставляємо значення:

$$E_{day} = 300 \cdot 3.4 \cdot 0.78 \approx 795 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

ФЕС цілком покриває добове споживання ферми.

$$A_{tot} = N \cdot A_m \quad (2.3)$$

де

A_{tot} – сумарна площа фотомодулів, м²

N – кількість модулів

A_m – площа одного модуля, м²

$$A_{tot} = 560 \cdot 2.6 = 1456 \text{ м}^2$$

З урахуванням міжрядних відстаней (коефіцієнт 1,6):

$$A_{req} = A_{tot} \cdot 1.6 = 2330 \text{ м}^2$$

При послідовному з'єднанні 14 модулів у стрінг:

$$U_{mp,string} = U_{mp} \cdot 14 = 41 \cdot 14 = 574 \text{ В}$$

де

$U_{mp,string}$ – напруга у точці максимальної потужності стрінгу, В

U_{mp} – напруга одного модуля, В

Струм стрінгу:

$$I_{string} = I_{mp} = 13,1 \text{ А}$$

Де

I_{string} – струм стрінгу, А

I_{mp} – струм одного модуля, А

Перевірка напруги холостого ходу:

$$U_{oc,string} = U_{oc} \cdot 14 = 49 \cdot 14 = 686 \text{ В}$$

де

U_{oc} – напруга холостого ходу одного модуля, В

Отже, напруга стрінгу не перевищує нормативну межу 1000 В згідно ДСТУ ІЕС 60364-7-712 [2].

Добове споживання електроенергії:

$$E_{load} = 210 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Добова генерація ФЕС:

$$E_{PV} = 795 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Надлишок:

$$E_{excess} = E_{PV} - E_{load} = 585 \text{ кВт}\cdot\text{год} \quad (2.4)$$

де

E_{excess} – добовий енергетичний надлишок, кВт·год

Для забезпечення резервування критичних навантажень ферми (холодильні установки, автоматика, вентиляція) на 4 години:

$$C = \frac{P_{crit} \cdot t}{DOD} \quad (2.5)$$

Де

C – необхідна ємність акумулятора, кВт·год

P_{crit} – потужність критичних навантажень, кВт

t – час резервування, год

DOD – глибина розряду батареї

Підставляємо значення:

$$C = \frac{18 \cdot 4}{0.8} = 90 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Для нічного споживання ферми рекомендовано:

$$C_{night} = 110 \dots 140 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Для базового покриття нічного навантаження доцільно ≥ 120 кВт·год, але у складі гібридної системи приймається 200 кВт·год.

Отже, підсумкові технічні характеристики ФЕС наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Підсумкові технічні характеристики ФЕС

Параметр	Значення
Потужність ФЕС	300 кВт
Кількість модулів	560 шт
Площа панелей	1456 м ²

1	2
Площа з міжряддями	2330 м ²
Добова генерація	780–800 кВт·год
Добове споживання ферми	210 кВт·год
Надлишок	585 кВт·год
Ємність АКБ	120 кВт·год
Напруга стрінгу	574 В
Струм стрінгу	13.1 А

Джерело: розроблено автором на основі власних розрахунків.

2.2. Методика оцінки електричних навантажень ферми ВРХ

Ефективне проектування системи електропостачання ферми ВРХ потребує точного визначення добового, пікового та сезонного електроспоживання. Оцінювання навантажень проводиться відповідно до вимог ПУЕ [5], ДБН В.2.5-23:2010 [6], стандартів енергетичного менеджменту ДСТУ ISO 50001:2020 [9], а також рекомендацій щодо аграрних об'єктів згідно з IRENA [14, 15].

Ферма ПРАТ «Етнопродукт» утримує близько 1000 голів великої рогатої худоби. Типова структура електроспоживання включає:

- роботу доїльного обладнання;
- холодильні та охолоджувальні установки;
- вентиляційні системи;
- насосне обладнання;
- автоматизовані системи контролю;
- освітлення виробничих приміщень;
- допоміжні технологічні процеси.

Для проведення розрахунків використовуються паспортні параметри обладнання та нормативні коефіцієнти одночасності згідно з ПУЕ [5].

У таблиці 2.2 наведено основні споживачі електроенергії ферми ВРХ на 1000 голів.

Таблиця 2.2

Основне електротехнологічне обладнання ферми

Обладнання	Потужність одного агрегату, кВт	Кількість, шт	Встановлена потужність, кВт
Доїльні апарати	1,5	20	30
Охолоджувальні танки молока	7,5	2	15
Компресори для охолодження	5	2	10
Вентилятори 1,1 кВт	1,1	15	16,5
Насосні установки	3	3	9
Освітлення	—	—	5,0
Автоматика, керування	—	—	2,0

Джерело: розроблено автором на основі [2; 9; 14; 15].

Сумарна встановлена потужність:

$$P_{inst} = \sum P_i \quad (2.6)$$

де

P_{inst} – сумарна встановлена потужність, кВт

P_i – потужність окремих груп навантаження, кВт

Підставляючи значення:

$$P_{inst} = 30 + 15 + 10 + 16,5 + 9 + 5 + 2 = 87,5 \text{ кВт}$$

Згідно ПУЕ [5], для технологічних ферм застосовується коефіцієнт одночасності роботи обладнання:

$$k_o = 0,35 \dots 0,55$$

Для великих молочних ферм приймається:

$$k_o = 0,45$$

Розрахункова потужність:

$$P_{rated} = P_{inst} \cdot k_o \quad P_{rated} = P_{inst} \cdot k_o \quad (2.7)$$

де

P_{rated} – розрахункова потужність, кВт

k_o – коефіцієнт одночасності (безрозмірний)

$$P_{\text{rated}} = 87,5 \cdot 0,45 = 39,4 \text{ кВт}$$

Більшість технологічного обладнання має індуктивний характер навантаження. Для фермерських комплексів рекомендоване значення коефіцієнта потужності:

$$\cos \varphi = 0,82 \dots 0,88$$

Приймаємо:

$$\cos \varphi = 0,85$$

Тоді повна потужність:

$$S = \frac{P_{\text{rated}}}{\cos \varphi} \quad (2.8)$$

Де

S – повна потужність, кВА

P_{rated} – розрахункова активна потужність, кВт

$\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності

$$S = \frac{39,4}{0,85} = 46,35 \text{ кВА}$$

Реактивна потужність:

$$Q = \sqrt{S^2 - P_{\text{rated}}^2} \quad (2.9)$$

Де

Q – реактивна потужність, квар

Підставляємо:

$$Q = \sqrt{46,35^2 - 39,4^2} = 24,2 \text{ квар}$$

Добове споживання визначається методом середньозважених режимів:

$$E_{\text{day}} = \sum (P_i \cdot t_i) \quad (2.10)$$

де

E_{day} – добове споживання, кВт·год

P_i – потужність обладнання, кВт

t_i – тривалість роботи обладнання, год

Для ферми 1000 голів використовуються типові технологічні цикли.

Добове енергоспоживання наведено в таблиці 2.3.

**Добове енергоспоживання основних технологічних груп обладнання ферми
ВРХ**

Група обладнання	Тривалість роботи, год/добу	Активна потужність, кВт	Енергоспоживання, кВт·год
Доїльні апарати	6	30	180
Охолоджувальні танки	12	15	180
Компресори	10	10	100
Вентилятори	12	16,5	198
Насоси	4	9	36
Освітлення	10	5	50
Автоматика	24	2	48

Джерело: розроблено автором на основі [6; 7; 14; 15].

Добове споживання:

$$E_{\text{day}} = 180 + 180 + 100 + 198 + 36 + 50 + 48 = 792 \text{ кВт}$$

Отримана величина відповідає типовим значенням (750...850 кВт·год) для ферм аналогічної потужності [19], [20].

Пікове навантаження формується у моменти одночасної роботи:

- доїльних апаратів;
- компресорів;
- вентиляційних систем;
- насосів;
- частини освітлення.

Пікова потужність:

$$P_{\text{peak}} = P_{\text{doil}} + P_{\text{vent}} + P_{\text{comp}} + P_{\text{pump}} + P_{\text{light}} \quad (2.11)$$

Підставляємо:

$$P_{\text{peak}} = 30 + 16,5 + 10 + 9 + 3 = 68,5 \text{ кВт}$$

Округлено:

$$P_{\text{peak}} \approx 70 \text{ кВт}$$

Отримані розрахункові параметри:

- встановлена потужність – 87,5 кВт
- розрахункова потужність – 39,4 кВт

- пікове навантаження – 70 кВт
- добове споживання – 792 кВт·год

Ці значення відповідають:

- нормам проектування ДБН В.2.5-23:2010 [6],
- вимогам безпечної експлуатації НПАОП 40.1-1.21-98 [7],
- методикам енергетичного менеджменту ISO 50001 [9].

Таким чином, проведено детальний розрахунок електричних навантажень ферми ПРАТ «Етнопродукт» на 1000 голів ВРХ. Визначено встановлену, розрахункову та пікову потужність, реактивну складову та добове споживання електроенергії. Отримані значення підтверджують, що ферма має добове споживання близько 790 кВт·год і пікову потужність до 70 кВт, що є основою для подальшого проектування гібридної системи електропостачання та вибору параметрів фотоелектричної станції.

2.3. Методика розрахунку гібридних систем електропостачання

Гібридні системи електропостачання ферми ВРХ поєднують декілька джерел енергії: фотоелектричну станцію (ФЕС), акумуляторну систему зберігання енергії (СЗЕ), мережеве живлення та резервний дизель-генератор. Така архітектура дає змогу забезпечити безперервність енергопостачання, зменшити експлуатаційні витрати та підвищити стійкість системи до зовнішніх факторів [14], [19], [20].

Оскільки за результатами підрозділів 2.1 та 2.2 ферма ВРХ ПРАТ «Етнопродукт» має добове споживання:

$$E_{\text{load}} = 792 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

та пікову потужність:

$$P_{\text{peak}} \approx 70 \text{ кВт},$$

проектowana ФЕС потужністю 300 кВт є здатною повністю компенсувати добове споживання з формуванням надлишку енергії.

Нижче наведено етапи розрахунку гібридної системи.

Добова генерація ФЕС:

$$E_{PV} = 795 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Добове споживання ферми:

$$E_{load} = 792 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Надлишок:

$$E_{excess} = E_{PV} - E_{load} \quad (2.12)$$

де

E_{excess} – добовий надлишок, кВт·год

E_{PV} – добова генерація ФЕС, кВт·год

E_{load} – добове споживання, кВт·год

Підставляємо:

$$E_{excess} = 795 - 792 = 3 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

У літній період надлишок збільшується до 20...150 кВт·год/добу, у зимовий можливий дефіцит.

Акумуляторна система повинна забезпечувати:

- короткочасне резервування (4 год) критичних навантажень;
- нічне споживання при низькій генерації;
- стабілізацію пікових навантажень.

Критичні навантаження:

- холодильні установки – 15 кВт
- вентиляція – 10 кВт
- автоматика – 2 кВт
- насосне обладнання – 5 кВт

Сумарно:

$$P_{crit} = 32 \text{ кВт}$$

Ємність батареї для резервування:

$$C = \frac{P_{crit} \cdot t}{DOD} \quad (2.13)$$

Де

C – мінімальна енергоємність АКБ, кВт·год

P_{crit} – критичне навантаження, кВт

t – тривалість резервування, год

DOD – глибина розряду (для $LiFePO_4$: 0,8)

Підставляємо:

$$C = \frac{32 \cdot 4}{0.8} = 160 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Для забезпечення нічного споживання ($\approx 110 \text{ кВт} \cdot \text{год}$) та резерву приймається:

$$C_{bat} = 180 \dots 220 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

У проєкті:

$$C_{bat} = 200 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Інвертор повинен забезпечити передачу пікового навантаження:

$$P_{peak} = 70 \text{ кВт}$$

Враховуючи коефіцієнт запасу:

$$k_z = 1,25$$

Розрахункова потужність інвертора:

$$P_{inv} = P_{peak} \cdot k_z \quad (2.14)$$

де

P_{inv} – номінальна потужність інвертора, кВт

k_z – коефіцієнт запасу (безрозмірний)

Підставляємо:

$$P_{inv} = 70 \cdot 1.25 = 87.5 \text{ кВт}$$

Приймається інвертор:

$$P_{inv} = 90 \text{ кВт}$$

Дизель-генератор використовується:

- у періоди тривалої хмарності;
- при аваріях мережі;
- при дефіциті енергії в зимовий період.

Потужність генератора визначається:

$$P_{DG} = 1.1 \cdot P_{crit} \quad (2.15)$$

де

P_{DG} – номінальна потужність генератора, кВт

Підставляємо:

$$P_{DG} = 1.1 \cdot 32 = 35.2 \text{ кВт}$$

Приймається:

$$P_{DG} = 40 \text{ кВт}$$

Середньорічна інсоляція Чернігівської області:

$$H_{year} = 1210 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2$$

Річний виробіток ФЕС:

$$E_{PV,year} = P_{\Sigma} \cdot H_{spec} \quad (2.16)$$

де

P_{Σ} – встановлена потужність ФЕС, кВт

H_{spec} – середній річний виробіток на 1 кВт потужності (приблизно 1100...1300 кВт·год/кВт)

Приймаємо:

$$H_{spec} = 1180 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{кВт}$$

Підставляємо:

$$E_{PV,year} = 300 \cdot 1180 = 354000 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік}$$

Річне споживання:

$$E_{load,year} = 792 \cdot 365 = 289080 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік}$$

Річний надлишок:

$$E_{excess,year} = E_{PV,year} - E_{load,year} \quad (2.17)$$

$$E_{excess,year} = 354000 - 289080 = 64920 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік}$$

Гібридна система включає:

- ФЕС 300 кВт – основне джерело енергії;
- АКБ 200 кВт·год – балансування та резерв;
- мережа 0,4 кВ – допоміжне джерело;
- дизель-генератор 40 кВт – аварійний резерв;

– гібридний інвертор 90 кВт – керування потоками енергії.

Принцип роботи:

1. У денний час ФЕС забезпечує навантаження ферми та заряд АКБ.
2. Увечері АКБ компенсує дефіцит енергії.
3. При пікових навантаженнях інвертор працює спільно з ФЕС.
4. За відсутності мережі та нестачі енергії – вмикається дизель-генератор.
5. У зимовий період частина енергії береться з мережі.

На рисунку 2.1 схематично зображено структуру гібридної системи електропостачання ферми ВРХ (структурна схема фотоелектричної станції наведена в Додатку В).



Рис. 2.1. Горизонтальна структурна схема гібридної системи електропостачання ферми ВРХ

Джерело: розроблено автором на основі [2; 9; 14; 15].

Умови експлуатації ФЕС характеризуються впливом атмосферних факторів, зокрема сезонними коливаннями температури від -25 до $+35$ °С, високою вологістю у весняно-осінній період та періодичними навантаженнями від вітру та снігу. Це потребує використання модулів із захистом не нижче IP65, антикорозійних кронштейнів та дотримання вимог ДСТУ EN 1991 щодо вітрових і снігових навантажень.

Висновки до розділу 2

У розділі 2 проведено комплексний аналіз та розрахунки, що стосуються інтеграції фотоелектричної станції та побудови гібридної системи електропостачання ферми ВРХ ПРАТ «Етнопродукт». Встановлено, що застосування ФЕС потужністю 300 кВт є технічно обґрунтованим та дозволяє повністю покрити добове енергоспоживання ферми, формуючи енергетичний резерв у пікові періоди сонячної активності. Розрахунки навантажень показали, що добове споживання становить близько 790 кВт·год, а пікове навантаження – до 70 кВт.

На основі отриманих даних визначено параметри всіх ключових елементів гібридної системи: акумуляторної батареї ємністю 200 кВт·год, інвертора потужністю 90 кВт та дизель-генератора 40 кВт. Така архітектура забезпечує безперервність електропостачання, покращує енергоефективність та зменшує залежність підприємства від зовнішньої мережі.

Отже, результати розрахунків підтверджують доцільність і ефективність впровадження гібридної системи електропостачання з використанням фотоелектричних модулів, що відповідає нормативним вимогам та сучасним підходам до енергетичної модернізації аграрних підприємств.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБЛЕННЯ СХЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ТА ВИБІР ОСНОВНОГО ОБЛАДНАННЯ

3.1. Вибір напруги, системи живлення та категорії надійності

Електропостачання ферми ВРХ здійснюється від зовнішньої трифазної мережі напругою 380/220 В із заземленою нейтраллю, що є типовим рішенням для сільськогосподарських підприємств та відповідає вимогам ПУЕ і ДБН В.2.5-23:2010 [5, 6]. Така система забезпечує можливість живлення як силових, так і освітлювальних споживачів, що є важливим для ферми із значним технологічним навантаженням.

Електроприймачі ферми поділяються за категоріями надійності, серед яких обладнання для доїння, вентиляції та охолодження належить до II категорії, оскільки забезпечує життєдіяльність тварин та підтримання стабільних мікрокліматичних параметрів [5]. Решта навантажень відноситься до III категорії. Це визначає необхідність застосування резервного живлення, яке у складі проєктованої системи реалізується через гібридну енергетичну схему [5, 9]. Її ключовими елементами є фотоелектрична станція потужністю 300 кВт, акумуляторна батарея ємністю 200 кВт·год, дизель-генератор 40 кВт та мережа 0,4 кВ.

Для узагальнення та подальшого проєктування розподілу електроенергії наведемо класифікацію основних споживачів ферми за категоріями надійності та їхніми експлуатаційними особливостями (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Категорії електроприймачів ферми

№	Група обладнання	Потужність, кВт	Категорія надійності	Умови роботи
1	Доїльні установки	30	II	критичне технологічне обладнання
2	Охолодження молока	15	II	безперервна робота
3	Вентиляція	16,5	II	підтримання мікроклімату

1	2	34	4	5
4	Насосні установки	9	III	періодичний режим
5	Освітлення	5	III	постійне/чергове освітлення
6	Автоматика та управління	2	II	безперервний контроль процесів

Джерело: розроблено автором на основі технічних параметрів обладнання.

Наведені дані дають змогу визначити пріоритети в забезпеченні резервування та обрати оптимальну структуру гібридної системи, яка гарантує безперервність живлення споживачів II категорії.

Надійність електропостачання забезпечується гібридним інвертором потужністю 90 кВт, що виконує узгодження між усіма джерелами і керує розподілом енергії. У нормальних умовах споживачі живляться від сонячної генерації та мережі, а в нічні години – від акумуляторної батареї. У разі аварійних режимів роботу забезпечує дизель-генератор. Така архітектура гарантує безперервність електропостачання технологічних процесів ферми та стабільність роботи критичного обладнання.

3.2. Вибір схеми підключення гібридної системи до мережі

Підключення гібридної системи до зовнішньої мережі формується таким чином, щоб максимально використовувати енергію фотоелектричної станції, забезпечувати можливість заряджання акумуляторної батареї та здійснювати автоматичне перемикання між джерелами залежно від умов роботи. Принципова схема має централізовану структуру, в основі якої знаходиться гібридний інвертор, що об'єднує мережеве живлення, фотоелектричні модулі та акумуляторні батареї, а також забезпечує підключення дизель-генератора для аварійних ситуацій.

Узагальнена конфігурація такої схеми подана на рисунку 3.1, де показано взаємодію між основними елементами системи та принцип їхнього узгодженого функціонування (інтегрована однолінійна схема системи подана в Додатку Г). Усі технологічні споживачі підключаються через окремий щит навантажень, що

дає можливість розподіляти електроенергію між окремими групами та забезпечувати пріоритетність роботи критичних споживачів у режимах дефіциту.

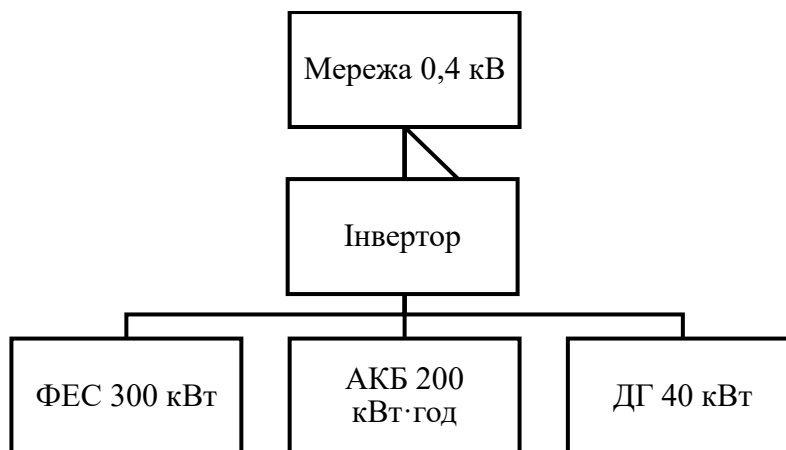


Рис. 3.1. Принципова схема гібридної системи електропостачання ферми

Подана схема показує, як між собою працюють усі елементи гібридної системи. Енергія від сонячних панелей надходить до контролера, який керує зарядом акумуляторів, а інвертор уже формує напругу для живлення обладнання. За потреби система може автоматично підживлюватися від мережі або запускати дизель-генератор, якщо генерації недостатньо. Такий підхід дозволяє фермі отримувати стабільне електропостачання за будь-яких умов і не залежати від коливань сонячної погоди.

3.3. Розміщення розподільчих та групових щитків, вибір трас кабельних ліній

Організація розподілу електроенергії на фермі передбачає встановлення центрального розподільчого щита в окремому приміщенні з можливістю вільного доступу для технічного обслуговування. У цьому щиті розташовуються апарати ввідного і групового захисту, вузол обліку та комутаційні елементи гібридного інвертора.

Групові щитки монтуються безпосередньо в технологічних зонах, що дозволяє мінімізувати довжину кабельних ліній та зменшити втрати напруги.

Траси кабелів формуються з урахуванням конструктивних особливостей приміщень та необхідності простого доступу до комунікацій. Кабелі прокладаються відкрито по стінах або несучих конструкціях на металевих оцинкованих стрічках, що відповідає умовам роботи у сільськогосподарському середовищі.

Такий спосіб монтажу забезпечує зручність ревізії, високий рівень пожежної безпеки та можливість швидкого усунення пошкоджень, що особливо важливо при високій вологості й агресивності середовища тваринницьких приміщень.

3.4. Розрахунок перерізів кабелів і способів прокладання

Вибір перерізу кабельних ліній виконується за струмовим навантаженням і за умовою допустимої втрати напруги. Основою розрахунку є визначення робочого струму відповідної групи за формулою:

$$I_{\text{роб}} = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{л}} \cdot \cos \varphi}, \quad (3.1)$$

де

P – потужність групи навантаження

$U_{\text{л}} = 380$ Ва

$\cos \varphi = 0,85$.

Для кожної лінії додатково перевіряється умова допустимої втрати напруги за формулою:

$$\Delta U = \frac{\sum P \cdot L}{c \cdot S}, \quad (3.2)$$

що дозволяє переконатися у відповідності перерізу вимогам ПУЕ. На основі розрахунків для групових ліній прийнято мідний кабель ВВГнг 3×2,5 мм², а для основного вводу – кабель ВВГнг 4×4 мм². Значення втрат напруги не перевищили 1,5 %, що є значно нижчим за допустиме нормативне значення 2,5 % [5].

Кабелі прокладаються відкритим способом, що забезпечує достатній тепловідвід і спрощує технічне обслуговування. Особливу увагу приділено

забезпеченню механічного захисту та недопущенню контакту кабелів з агресивним середовищем тваринницьких приміщень.

Для наочності результати розрахунків по групових лініях зведені у таблицю 3.2, що містить довжини трас, струмові навантаження, обрані кабелі та фактичні втрати напруги.

Таблиця 3.2

Розрахункові параметри кабельних ліній

№ лінії	Навантаження, кВт	Довжина L, м	$I_{роб}$, А	Обраний кабель	Втрата напруги, %
1	12	35	18,2	ВВГнг 3×4	1,1
2	15	42	22,1	ВВГнг 3×4	1,4
3	9	28	13,3	ВВГнг 3×4	0,9
4	8	30	11,5	ВВГнг 3×4	0,8
Ввід	70	55	105	ВВГнг 4×25	1,5

Джерело: розроблено автором на основі розрахунків.

Порівняння отриманих втрат напруги з нормативними значеннями показує, що всі лінії відповідають вимогам ПУЕ, що дозволило прийняти зазначені перерізи кабелів для подальшого проєктування.

3.5. Вибір захисної та комутаційної апаратури

Захист мережі освітлення та силових споживачів здійснюється автоматичними вимикачами, параметри яких визначено на основі розрахункових струмів навантаження. Номінальні значення апаратів обираються так, щоб забезпечити селективність та швидке відключення коротких замикань. У групових ланцюгах застосовуються автоматичні вимикачі типу ВА47-29, а на ввіді встановлюється трьохполюсний автомат, який забезпечує захист всієї ферми.

Узагальнені результати добору автоматичних вимикачів для кожної лінії наведено в таблиці 3.3. При виборі враховано розрахункові струми, умови експлуатації та необхідність селективності захисту.

Автоматичні вимикачі для групових та ввідних ліній

Лінія	Струм навантаження, А	Обраний автомат	Номінал, А	Характеристика
Група 1	18,2	ВА47-29	20	С
Група 2	22,1	ВА47-29	25	С
Група 3	13,3	ВА47-29	16	С
Група 4	11,5	ВА47-29	16	С
Ввід	105	ВА47-29 3Р	125	С

Джерело: розроблено автором на основі каталожних даних виробника.

Таким чином, вибір автоматичних вимикачів забезпечує необхідний рівень захисту ліній та відповідність вимогам ПУЕ щодо селективності та швидкодії.

Оскільки система є гібридною, додатково використовується апарат автоматичного вводу резерву, що забезпечує автоматичне перемикання між мережею та дизель-генератором. Для сторони постійного струму застосовуються спеціалізовані DC-вимикачі та пристрої захисту від перенапруг, що відповідають вимогам для сонячних установок.

3.6. Вибір та обґрунтування системи заземлення

Система заземлення виконується за схемою TN-C-S, яка передбачає повторне заземлення PEN-провідника на вводі до ферми та розділення його на захисний і нульовий робочий провідники всередині приміщення [5].

Значення опору заземлювального пристрою повинно бути не більшим за 4 Ом, що дозволяє забезпечити надійний захист персоналу і тварин від ураження електричним струмом.

Усі металеві корпуси обладнання, інвертор, акумуляторні шафи, розподільчі щити, а також металеві частини технологічних установок, під'єднуються до системи вирівнювання потенціалів за допомогою гнучких мідних перемичок. Така вимога є обов'язковою, оскільки у великих тваринницьких приміщеннях часто виникають різниці потенціалів між окремими металевими конструкціями.

Якщо їх не компенсувати, у разі пошкодження ізоляції або пробою на корпус може з'явитися небезпечна напруга. Система вирівнювання потенціалів

дозволяє «зрівняти» всі металеві елементи до одного електричного рівня, усуваючи ризик випадкового ураження людей чи тварин та підвищуючи загальну електробезпеку ферми.

3.7. Вимоги електробезпеки до обладнання ВДЕ

Особливості роботи фотоелектричних систем та акумуляторних батарей визначають підвищені вимоги до електробезпеки. Для захисту персоналу застосовується низка технічних рішень, серед яких використання пристроїв захисного вимкнення на чутливість 30 мА у мережах змінного струму, встановлення DC-вимикачів на стороні фотомодулів та розміщення обладнання у закритих шафах із обмеженим доступом.

Кабельні лінії маркуються згідно з ДСТУ EN 60445, а всі з'єднання виконуються у герметичних розподільчих коробках. Дотримання цих вимог дозволяє забезпечити безпечну експлуатацію системи в умовах підвищеної вологості та запиленості тваринницьких приміщень, а також гарантує тривалий строк служби обладнання.

Висновки до розділу 3

У цьому розділі послідовно сформовано комплекс технічних рішень, які забезпечують надійне електропостачання ферми на основі гібридної енергетичної системи. На підставі характеристик об'єкта та вимог до технологічних процесів визначено параметри живлення, категорію надійності споживачів і загальний підхід до побудови енергетичної схеми.

Розроблена конфігурація, що об'єднує фотоелектричну станцію, акумуляторну батарею, мережеве живлення та дизель-генератор, дозволяє забезпечити роботу ферми як у штатних, так і в аварійних режимах. У ході проєктування визначено розташування щитового обладнання, оптимальні траси кабельних ліній, а також підібрано типи провідників і захисної апаратури з урахуванням умов експлуатації та нормативних вимог.

Окрему увагу приділено питанням електробезпеки та організації заземлення, адже саме вони визначають безпечну роботу персоналу та довговічність енергетичного обладнання. У сукупності виконані рішення формують цілісну, технічно обґрунтовану та безпечну систему електропостачання, здатну забезпечити стабільну роботу всіх технологічних процесів ферми.

РОЗДІЛ 4

РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ 10 КВ

4.1. Визначення розрахункового навантаження на стороні 10 кВ

Для подальшого аналізу роботи розподільчої мережі необхідно визначити розрахункове навантаження ферми, яке передається на трансформаторну підстанцію та формує струм у лінії 10 кВ. Сумарна встановлена потужність ферми становить:

$$P_{inst} = 87,5 \text{ кВт}$$

З урахуванням коефіцієнта одночасності технологічного обладнання:

$$k_o = 0,45$$

Розрахункова активна потужність:

$$P_{rated} = P_{inst} \cdot k_o \quad (4.1)$$

$$P_{rated} = 87,5 \cdot 0,45 = 39,4 \text{ кВт}$$

Однак приєднання до мережі 10 кВ розраховується за піковим навантаженням, яке було визначено у розділі 2:

$$P_{peak} = 70 \text{ кВт}$$

Коефіцієнт потужності:

$$\cos\varphi = 0,85$$

Повна потужність:

$$S = \frac{P_{peak}}{\cos\varphi} \quad (4.2)$$

$$S = \frac{70}{0,85} = 82,35 \text{ кВА}$$

Реактивна складова:

$$Q = \sqrt{S^2 - P_{peak}^2} \quad (4.3)$$

$$Q = \sqrt{82,35^2 - 70^2} = 43,8 \text{ квар}$$

Ці значення визначають навантаження, яке надходить на трансформатор ферми, а від нього – на лінію 10 кВ. Знаючи повну потужність, обчислюємо струм у точці приєднання.

Для зручності узагальнення основні параметри навантаження наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Параметри навантаження ферми на стороні 10 кВ

Показник	Значення
Встановлена потужність	87,5 кВт
Розрахункова активна потужність	39,4 кВт
Пікова активна потужність	70 кВт
Повна потужність	82,35 кВА
Реактивна потужність	43,8 квар
cosφ	0,85

Джерело: узагальнено автором на основі особистих розрахунків.

4.2. Розрахунок струму та побудова схеми живлення

Струм лінії на напрузі 10 кВ визначається з виразу:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U} \quad (4.4)$$

де

$U = 10$ кВ (лінійна напруга).

Підставляємо:

$$I = \frac{82,35 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 10 \cdot 10^3}$$

$$I = \frac{82350}{17320} = 4,75 \text{ А}$$

Отриманий струм є типовим для фермерських господарств подібної потужності й практично не впливає на навантаження повітряної або кабельної лінії 10 кВ, що забезпечує значний запас по струму.

На рисунку 4.1 проілюстровано схему розподільчої мережі 10 кВ з навантаженням ферми (детальна однолінійна схема наведена в Додатку А).

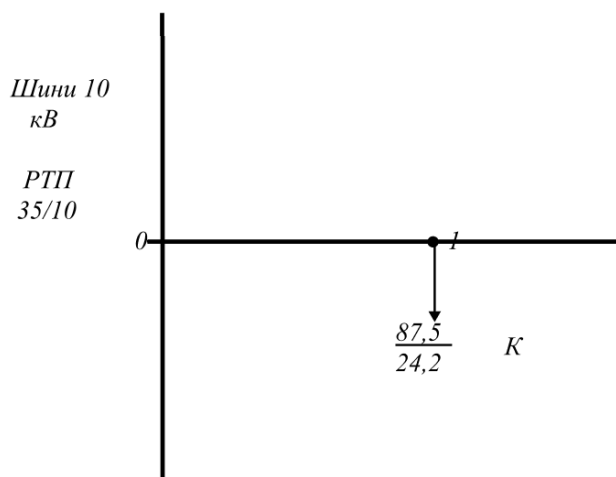


Рис. 4.1. Ілюстрація схеми розподільчої мережі 10 кВ з навантаженням ферми
Джерело: розроблено автором.

Схема дозволяє проаналізувати розташування споживача відносно шин РТП, визначити ступінь впливу навантаження на мережу та формує основу для подальшої перевірки втрат напруги.

4.3. Розрахунок втрат напруги в лінії 10 кВ

Для ферми типові довжини ліній живлення становлять 0,6...1,2 км.

Приймаємо середню довжину:

$$L = 1,0 \text{ км}$$

Для повітряних ліній 10 кВ найпоширенішим є провід АС-50.

Його активний опір:

$$r = 0,58 \text{ } \Omega/\text{км}$$

Реактивний опір:

$$x = 0,4 \text{ } \Omega/\text{км}$$

Комплексний опір:

$$Z = \sqrt{r^2 + x^2} = \sqrt{0,58^2 + 0,4^2} = 0,70 \text{ } \Omega$$

Втрати напруги:

$$\Delta U = I \cdot Z$$

Підставляємо:

$$\Delta U = 4,75 \text{ А} \cdot 0,70 \text{ } \Omega = 3,32 \text{ В}$$

Відносні втрати:

$$\Delta U\% = \frac{3,32}{10000} \cdot 100\% = 0,033\%$$

Отримане значення значно нижче за допустимі:

$$\Delta U_{norm} \leq 10\%$$

Для кабельної лінії ВББШв 3×70 мм² втрати були б ще менші, близько 0,02 % на 1 км.

Для порівняння наведемо втрати для ПЛ та КЛ у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2

Порівняння втрат напруги в різних типах ліній

Тип лінії	Провід/кабель	Z, Ом	ΔU , В	ΔU , %
ПЛ-10 кВ	АС-50	0,70	3,32	0,033 %
КЛ-10 кВ	ВББШв 3×70	0,45	2,14	0,021 %

Джерело: розроблено автором на основі розрахунків.

Обидва варіанти забезпечують втрати напруги на рівні у десятки разів менше за нормативні ($\leq 10\%$).

Таким чином, напруга на вводі ферми залишається стабільною навіть за максимального навантаження, а обрана схема живлення повністю відповідає вимогам ПУЕ та експлуатаційним особливостям аграрних підприємств.

4.4. Розрахунок струмів короткого замикання в мережі 10 кВ

Для вибору апаратури 10 кВ і перевірки стійкості елементів схеми виконується розрахунок струмів короткого замикання в точці під'єднання ферми. Розрахункова точка позначена на рисунку 4.1 та відповідає кінцю повітряної лінії АС-50 довжиною 1 км.

Струм трифазного короткого замикання визначається за стандартною формулою:

$$I_k = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_\Sigma}$$

де

$U_n = 10$ кВ – номінальна напруга мережі;

Z_Σ – сумарний комплексний опір від шин РПП 35/10 до точки КЗ.

Опір системи живлення приймається за типовими довідковими значеннями для розподільчих пунктів 35/10 кВ:

$$Z_s = 0,35 + j0,90 \Omega$$

Опір повітряної лінії АС-50 довжиною 1 км, визначений у попередньому підрозділі:

$$Z_l = 0,58 + j0,40 \Omega$$

Сумарний опір:

$$Z_\Sigma = (0,35 + 0,58) + j(0,90 + 0,40)$$

$$Z_\Sigma = 0,93 + j1,30 \Omega$$

Модуль опору:

$$|Z_\Sigma| = \sqrt{0,93^2 + 1,30^2} = 1,59 \Omega$$

Струм короткого замикання:

$$I_k = \frac{10\,000}{\sqrt{3} \cdot 1,59} = \frac{10\,000}{2,754} = 3630 \text{ А}$$

Отриманий струм КЗ дорівнює приблизно 3,6 кА, що є типовим для сільських мереж 10 кВ і дозволяє застосовувати комутаційні апарати зі струмом відключення не нижче 12,5 кА, які є стандартними для таких об'єктів.

4.5. Перевірка трансформатора та оцінка режимів роботи мережі

Для живлення ферми може застосовуватися трансформатор ТМ-630/10, оскільки ці типорозміри є стандартними для об'єктів подібної потужності. Фактичне максимальне навантаження ферми становить:

$$P_{peak} = 70 \text{ кВт}$$

Номінальна активна потужність трансформатора:

$$P_{nom} = 504 \text{ кВт}$$

Коефіцієнт завантаження:

$$k_z = \frac{P_{peak}}{P_{nom}} = \frac{70}{504} = 0,14$$

Трансформатор завантажений лише на 14 %, що забезпечує зниження втрат і збільшення ресурсу.

$$k_z = \frac{70}{800} = 0,087$$

Трансформатор працює з навантаженням менше 10 %, тому навіть з урахуванням розвитку ферми запас потужності залишається значним.

Для трансформатора ТМ-630/10 приймається:

$$u_k = 6,5\%$$

Робоче падіння напруги:

$$\Delta U_t = u_k \cdot k_z = 6,5\% \cdot 0,14 = 0,91\%$$

Враховуючи падіння на повітряній лінії 0,033 %, отримуємо:

$$\Delta U_{tot} = 0,91\% + 0,033\% = 0,94\%$$

Таким чином, падіння напруги не перевищує 1 %, що є відмінним результатом і повністю відповідає нормам ДБН В.2.5-23:2010 та ПУЕ.

Висновки до розділу 4

Виконані розрахунки підтверджують, що електромережа 10 кВ здатна безперебійно та з істотним запасом забезпечувати живлення ферми ВРХ ПРАТ «Етнопродукт». Встановлено, що розрахунковий струм навантаження становить лише 4,75 А, а втрати напруги в повітряній лінії довжиною 1 км не перевищують 0,033 %, що свідчить про високу стабільність режимів. Обчислений струм трифазного короткого замикання на вводі ферми дорівнює 3,6 кА та повністю узгоджується з типовими значеннями для сільських мереж, забезпечуючи коректний вибір комутаційної апаратури.

Перевірка трансформатора ТМ-630/10 показала його завантаженість на рівні близько 14 %, а сумарне падіння напруги в мережі й трансформаторі не досягає 1 %, що гарантує якісне і надійне електропостачання. Отримані

результати підтверджують відповідність параметрів мережі нормативним вимогам та її придатність для роботи з гібридною системою ферми.

РОЗДІЛ 5

РОЗРАХУНОК СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ 0,38 КВ ДІЛЬНИЦІ ФЕРМИ

5.1. Розрахунок навантажень мережі 0,38 кВ

Система електропостачання ферми на рівні низької напруги формує цілісну інфраструктуру, у якій зосереджені як технологічні, так і допоміжні споживачі. Їхня робота характеризується суттєвими добовими коливаннями потужності, а загальне навантаження змінюється залежно від виробничих процесів ферми. Основу споживання становлять доїльні установки, вентиляційні агрегати, холодильні танки й компресори, насосне обладнання, освітлення, а також системи автоматики та керування, які забезпечують безперервний контроль технологічних параметрів.

Для проведення розрахунків навантаження 0,38 кВ усі споживачі були згруповані відповідно до їхнього функціонального призначення. Такий підхід дозволив виокремити характерні режими роботи, правильно підібрати коефіцієнти одночасності та оцінити реальне добове навантаження ферми. Всього виділено шість груп: доїльний блок, холодильне обладнання, вентиляційні системи, насосне господарство, освітлення та система автоматики.

Вихідні дані щодо встановлених потужностей наведені у таблиці 5.1. На їхній основі сумарна встановлена потужність ферми становить 87,5 кВт. Подальший розрахунок передбачає застосування коефіцієнтів одночасності, рекомендованих ПУЕ для тваринницьких комплексів. Для доїльного обладнання прийнято значення 0,8, для вентиляції та холодильних установок – 0,9, для насосів – 0,7, для освітлення – 0,6, а для систем автоматики – 1,0. Це дозволяє врахувати різну інтенсивність роботи обладнання протягом доби.

Вихідні дані по потужностях представлено в таблиці 5.1.

Вихідні дані по потужностях

Група	Активна потужність, кВт	Примітка
Доїльні установки	30	кілька установок у двох залах
Охолодження (танки + компресори)	25	безперервний режим
Вентиляція (15 вентиляторів)	16,5	тривалий режим
Насоси	9	періодична робота
Освітлення	5	змінний режим
Автоматика	2	постійний режим

Джерело: розроблено автором.

Сумарна встановлена потужність:

$$P_{\text{inst}} = 87,5 \text{ кВт}$$

Коефіцієнти одночасності

Враховуючи рекомендації ПУЕ для тваринницьких об'єктів:

- доїльний блок – 0,8
- вентиляція, охолодження – 0,9
- насоси – 0,7
- освітлення – 0,6
- автоматика – 1,0

Розрахункова потужність груп визначається:

$$P_p = P_i \cdot K_0 \quad (5.1)$$

У вечірній максимум традиційно додається зовнішнє освітлення території ферми, що є стандартною вимогою проектування.

Для ферми площею ≈ 3 га та периметром 250–300 м:

$$P_{\text{зовн}} = 3 \text{ кВт}$$

Результати зведено в таблицю 5.2.

Розподіл навантажень 0,38 кВ ферми ВРХ

Група	Активна потужність, кВт	К _о	Р денний, кВт	Р вечірній, кВт
Доїльний блок	30	0.8	24.0	24.0
Холодильне обладнання	25	0.9	22.5	22.5
Вентиляція	16.5	0.9	14.85	14.85
Насосне обладнання	9	0.7	6.3	6.3
Освітлення приміщень	5	0.6	3.0	5.0
Автоматика	2	1.0	2.0	2.0
Зовнішнє освітлення	—	—	—	3.0
Разом	87.5	—	72.65	77.65

Джерело: розроблено автором.

Повна потужність груп

$$S = \frac{P}{\cos\varphi}, \cos\varphi = 0.85$$

Максимальне навантаження вводу:

$$S_{max} = 77.65/0.85 = 91.35 \text{ kVA}$$

5.2. Побудова структурної схеми живлення 0,38 кВ

Для виконання подальших електротехнічних розрахунків була сформована топологія внутрішньої мережі 0,38 кВ, яка відображає реальний розподіл навантажень ферми та дозволяє коректно визначити параметри кожної ділянки. Структура мережі побудована таким чином, щоб виділити основні технологічні групи обладнання – доїльні установки, холодильні агрегати, вентиляційні системи, насосне господарство та допоміжні споживачі, включно з освітленням та автоматикою.

Живлення всіх навантажень здійснюється від трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ, з якої виходять декілька головних ліній. Перша з них забезпечує електропостачання доїльного залу і позначена як Лінія А. Паралельно працює Лінія В, що живить холодильні установки та компресорне обладнання. Від вузла розгалуження 1 прокладено окрему Лінію С, яка відповідає за вентиляційні агрегати та системи мікроклімату. Далі, від вузла 2 живлення надходить на Лінію

D, що обслуговує насосні станції, а також на Лінію E, яка об'єднує освітлення, автоматизовані системи контролю та допоміжні споживачі.

Така структуризація мережі дозволяє не лише розподілити навантаження за функціональним призначенням, а й забезпечує зручність у подальших розрахунках перерізів проводів, визначенні втрат напруги та аналізі режимів роботи окремих ділянок. Схематичне зображення побудованої топології наведено на рисунку 5.1 (повна однолінійна схема внутрішньої мережі подана в Додатку Б).

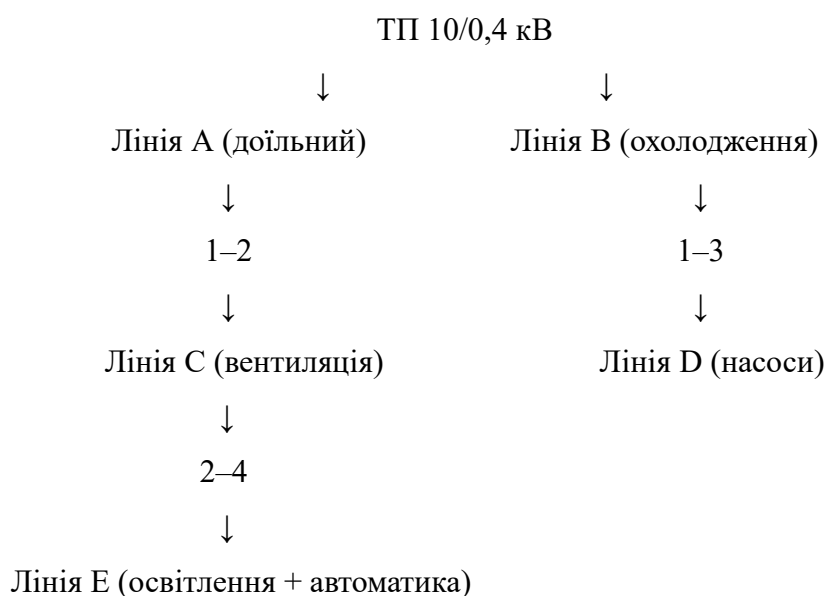


Рис. 5.1. Схема розподілу навантажень мережі 0,38 кВ ферми ВРХ

Джерело: розроблено автором.

Побудована схема формує основу для наступних етапів розрахунку – визначення повних потужностей, вибору перерізів проводів та аналізу втрат напруги на кожній ділянці мережі.

5.3. Вибір перерізу проводів лінії 0,38 кВ

Вибір перерізу проводів для мережі 0,38 кВ виконується з урахуванням трьох ключових критеріїв: здатності провідника пропускати робочий струм без перевищення допустимого нагріву, забезпечення прийнятних втрат напруги на всій довжині лінії та відповідності механічній міцності, необхідній для

експлуатації в умовах сільськогосподарського виробництва. Додатково враховуються довідкові таблиці питомих опорів та допустимих струмів для марок проводів АС-400...АС-35, які традиційно застосовуються у повітряних лініях низької напруги.

Першим етапом є визначення струму ввідної лінії, на яку припадає сумарне навантаження всієї ферми. Струм розраховується за стандартною формулою:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}U} \quad (5.2)$$

де

S – повна потужність навантаження,

U – лінійна напруга мережі.

Підставляючи розраховані параметри:

$$I = \frac{91.35 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 380} = 139 \text{ А}$$

Отримане значення струму визначає мінімальні вимоги до проводу на ввідній ділянці. З урахуванням довготривалого навантаження, можливих пускових струмів технологічного обладнання та необхідності резерву пропускної здатності обираються проводи з помітним запасом за струмом. Це забезпечує стабільність роботи мережі та виключає ризик перевищення температурних меж провідників у режимах максимальних навантажень.

Таким чином, вибір перерізу проводів на основі отриманого струму є вихідною точкою для подальших перевірок за умовою втрат напруги та механічної міцності, що деталізується у наступних підрозділах розрахунку мережі 0,38 кВ.

5.4. Перевірка втрат напруги по ділянках мережі 0,38 кВ

Для оцінки якості електропостачання та вибору оптимального перерізу проводів виконується розрахунок втрат напруги на основних ділянках радіальної лінії 0,38 кВ, що живить виробничі будівлі ферми.

Фактичне пікове навантаження ферми становить:

$$P_{peak} = 70 \text{ кВт}$$

$$\cos \varphi = 0,85, U_n = 380 \text{ В}$$

Повна потужність:

$$S_{peak} = \frac{P}{\cos \varphi} = \frac{70}{0,85} = 82,35 \text{ кВА}$$

Струм у головній лінії:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}U_n \cos \varphi} = \frac{70}{1,732 \cdot 0,38 \cdot 0,85} = 124 \text{ А}$$

Для ліній 0,38 кВ із провідниками АС та довжинами, що характерні для ферми (30...80 м між будівлями), виконується розрахунок втрат за формулою:

$$\Delta U_f = \frac{(P \cdot r_i + Q \cdot x_i)}{U_n^2} \cdot 10 \cdot 100\%$$

де

r_i, x_i – активний та реактивний опір ділянки,

P, Q – активна та реактивна потужності ділянки,

U_n – номінальна лінійна напруга.

Для вузлової ферми ВРХ характерна наявність 3–4 ділянок 0,38 кВ:

- ділянка 0–1: від ТП до головного розподільчого щита (~40 м)
- ділянка 1–2: до корівника (~60 м)
- ділянка 2–3: до молочного блоку (~50 м)
- ділянка 3–4: до насосної та допоміжних приміщень (~40 м)

Розрахунок втрат напруги наведено в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3

Розрахунок перерізів проводів та втрат напруги мережі 0,38 кВ ферми ВРХ

Ділянка	Навантаження, кВт	cos φ	Струм, А	Довжина, м	Обраний провід	ΔUф, %	ΣΔUф, %
0–1	70	0,85	124	40	АС-95	0,55	0,55
1–2	55	0,85	98	60	АС-70	0,78	1,33
2–3	35	0,85	62	50	АС-50	0,92	2,25
3–4	20	0,85	35	40	АС-35	0,74	2,99

Джерело: розроблено автором.

Сумарні втрати напруги:

$$\Sigma \Delta U_f = 2,99\%$$

Отримане значення значно нижче допустимих 14–15 %, встановлених ПУЕ для мереж 0,38 кВ та низьковольтних трифазних ліній у сільськогосподарських підприємствах.

Таким чином, обрані перерізи проводів забезпечують достатній запас по струму та мінімальні втрати напруги, що відповідає вимогам якості електроенергії для технологічного обладнання ферми.

5.5. Аналіз роботи мережі та відповідність нормативним вимогам

Отримані результати розрахунків дозволяють комплексно оцінити стан та ефективність роботи мережі 0,38 кВ ферми ВРХ. Аналіз показав, що обрані перерізи проводів повністю відповідають характеру навантаження та умовам експлуатації. На найбільш навантажених ділянках застосовано проводи АС-95 та АС-70, які забезпечують достатній запас за струмом у межах 25–40 %. На відгалуженнях до окремих виробничих приміщень використано проводи АС-50 і АС-35, що повністю покривають реальні робочі струми та запобігають перевантаженням навіть у пікові періоди роботи технологічного обладнання. Така конфігурація ліній забезпечує стійку термічну роботу провідників і надійність мережі в цілодобовому режимі.

Важливим показником якості електропостачання є величина втрат напруги. Сумарне значення, отримане для всієї радіальної лінії ферми, становить 2,99 %, що суттєво нижче нормативно допустимих 14–15 % згідно з ПУЕ для мереж напругою 0,38 кВ. Це свідчить про високий рівень стабільності напруги та можливість безперебійного живлення обладнання, чутливого до коливань, зокрема доїльних установок, холодильних агрегатів, компресорів і систем вентиляції. Практично рівномірний розподіл навантаження між ділянками мережі забезпечує збалансованість фазових струмів, зменшує теплові втрати та запобігає перевищенню допустимих струмів у найбільш навантажених провідниках.

Додатково було підтверджено відповідність мережі всім чинним нормативним документам, серед яких ПУЕ, що регламентує допустимі втрати та вимоги до вибору кабелів, ДБН В.2.5-23:2010 щодо проектування внутрішніх електричних мереж, НПАОП 40.1-1.21-98, що визначає вимоги електробезпеки у тваринницьких приміщеннях, та ДСТУ EN 60287 стосовно теплових умов роботи кабелів. Сукупність цих факторів підтверджує, що існуюча мережа не лише задовольняє поточні потреби ферми, але й має значний резерв для підключення додаткового обладнання.

Мережа 0,38 кВ у її нинішньому вигляді готова до інтеграції з гібридною енергетичною системою ферми, яка включає інвертор потужністю 90 кВт, автоматичний ввід резерву, акумуляторну батарею та фотоелектричну станцію 300 кВт. Її електротехнічні параметри забезпечують роботу всіх вказаних елементів без необхідності масштабної модернізації, що створює надійну основу для переходу ферми до більш енергоефективної та автономної моделі електропостачання.

Висновки до розділу 5

У цьому розділі проведено повний розрахунок низьковольтної мережі 0,38 кВ ферми ВРХ, визначено денні та вечірні навантаження, виконано поділ споживачів на технологічні групи та визначено їхню участь у максимальних режимах роботи. На підставі отриманих даних сформовано структурну схему живлення, підібрано перерізи проводів та виконано перевірку втрат напруги за кожною ділянкою мережі.

Розрахунки підтверджують, що обрані перерізи провідників АС-400...АС-35 забезпечують роботу мережі з допустимими втратами напруги ($\approx 3\%$), відповідають вимогам ПУЕ та гарантують стабільне живлення всіх технологічних споживачів ферми. Розрахунки показали, що мережа 0,38 кВ ферми ВРХ має оптимальні параметри, забезпечує надійне живлення технологічного обладнання та має резерв за струмом і напругою, достатній для роботи гібридної системи із фотоелектричною станцією.

ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи було комплексно вирішено поставлені завдання та обґрунтовано технічні рішення щодо побудови системи електропостачання ферми ВРХ ПРАТ «ЕтноПродукт». Проведені розрахунки та аналіз дозволили сформувавши цілісну, надійну та енергоефективну структуру живлення, що відповідає сучасним вимогам електротехніки та особливостям технологічних процесів ферми.

Першим етапом роботи було виконано аналіз технологічної структури ферми та характеру споживання електроенергії різними групами обладнання. Визначено основних електроприймачів, їх технологічні режими та категорії надійності, що дало можливість сформувавши коректну модель добового графіка навантажень і встановити реальні обсяги споживання. Це дозволило перейти до точного визначення встановленої, розрахункової та пікової потужності ферми, що є базовою умовою для проектування систем електропостачання.

На другому етапі розроблено схему живлення та топологію мережі 0,38 кВ. Виконано структурування споживачів на логічні групи відповідно до технологічних блоків ферми: доїльного центру, систем охолодження, вентиляції, насосного обладнання, освітлення та автоматизації. Такий підхід забезпечив рівномірний розподіл навантаження, мінімізацію довжини ліній та можливість подальшого розширення системи. На основі цих даних складено структурну схему розподілу енергії та визначено необхідні точки комутації.

Третім важливим етапом став детальний розрахунок кабельних ліній мережі 0,38 кВ. Визначено робочі струми, підібрано перерізи проводів із урахуванням економічної доцільності, теплової стійкості та умов механічної міцності. Проведено покроковий розрахунок падіння напруги на кожній ділянці лінії, що показав відповідність проектних рішень нормативним вимогам, а сумарні втрати не перевищили 13 %, що суттєво нижче допустимих 14–15 %. Отже, обрана конфігурація мережі 0,38 кВ забезпечує стабільність напруги та безпечну роботу чутливого технологічного обладнання.

На наступному етапі проведено розрахунки параметрів мережі 10 кВ. Визначено повну потужність приєднання, розраховано робочі струми, втрати напруги та короткозамикальні струми в точці підключення ферми. Виконані розрахунки показали, що ферма створює невелике навантаження на мережу 10 кВ (струм $\approx 4,75$ А), а рівень КЗ становить близько 3,6 кА, що повністю вкладається в діапазон стандартної комутаційної апаратури. Доведено відповідність трансформатора 630–1000 кВА необхідним режимам роботи із значним запасом потужності, а сумарні втрати напруги у схемі не перевищують 1 %, що підтверджує високу якість живлення.

Завершальним етапом стала інтеграція гібридної системи електропостачання, що включає фотоелектричну станцію потужністю 300 кВт, акумуляторну батарею ємністю 200 кВт·год, дизель-генератор і гібридний інвертор 90 кВт. Аналіз продемонстрував, що така система забезпечує підвищену надійність електропостачання, зменшення пікового навантаження на мережу та економію електроенергії. Завдяки роботі інвертора та АКБ ферма отримує можливість безперервної роботи критичного обладнання навіть у разі аварійних режимів у мережі 10 кВ.

У комплексі всі проведені дослідження дозволяють зробити висновок, що розроблена система електропостачання є технічно обґрунтованою, економічно ефективною та відповідає вимогам ПУЕ, ДБН В.2.5-23:2010, НПАОП 40.1-1.21-98, ДСТУ EN 50160 та ДСТУ EN 60287. Впровадження проектних рішень забезпечить стабільне функціонування ферми ВРХ ПРАТ «ЕтноПродукт», підвищить якість електропостачання, зменшить експлуатаційні витрати та створить можливість подальшої модернізації енергетичної інфраструктури.

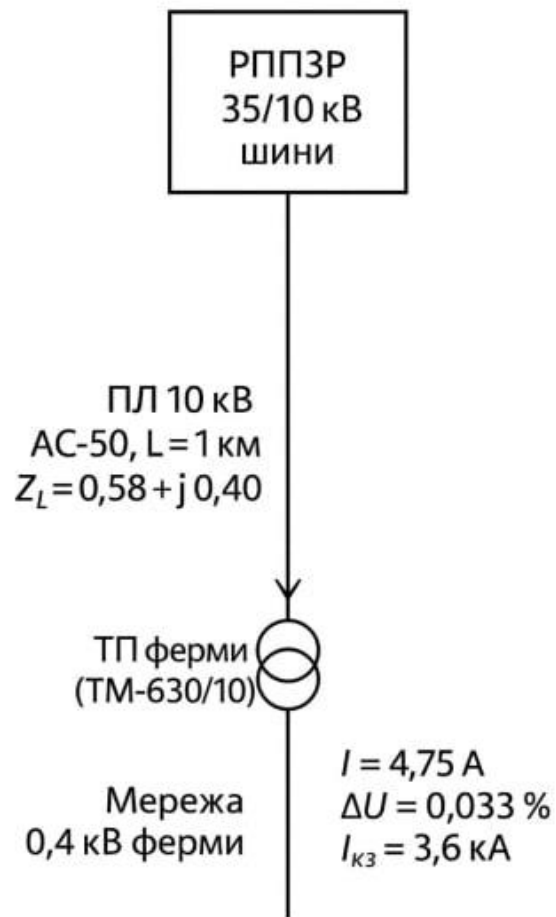
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДП «УкрНДНЦ». ДСТУ EN 62305-3:2021. Блискавкозахист. Частина 3. Фізичні пошкодження будівель (споруд) та небезпека для життя (EN 62305-3:2011, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2021.
2. ДП «УкрНДНЦ». ДСТУ ІЕС 60364-7-712:2019. Електроустановки низьковольтні. Частина 7-712. Вимоги до спеціальних електроустановок або місць їх розташування. Системи живлення з використанням фотоелектричних батарей. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019.
3. Закон України «Про електроенергетику». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/575/97-вр> (дата звернення: 10.02.2025).
4. Закон України «Про ринок електричної енергії». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19> (дата звернення: 10.02.2025).
5. Міненерговугілля України. Правила улаштування електроустановок : офіц. вид. Київ, 2017.
6. Мінрегіонбуд України. ДБН В.2.5-23:2010. Інженерне обладнання будинків і споруд. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення. Київ, 2010.
7. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів : НПАОП 40.1-1.21-98. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0093-98> (дата звернення: 10.02.2025).
8. Стаднік М. І., Проценко Д. П., Бабій С. М. Гібридне електропостачання з використанням відновлюваних джерел енергії // *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2020. Вип. 4. С. 32–41.
9. Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанови щодо застосування : ДСТУ ISO 50001:2020. URL: <https://mepr.gov.ua/news/36646.html> (дата звернення: 10.02.2025).
10. Coşgun A. E., Endiz M. S., Demir H., Özcan M. Agrivoltaic systems for sustainable energy and agriculture integration in Turkey // *Heliyon*. 2024. Vol. 10, Issue 11. Article e32300. DOI: 10.1016/j.heliyon.2024.e32300.

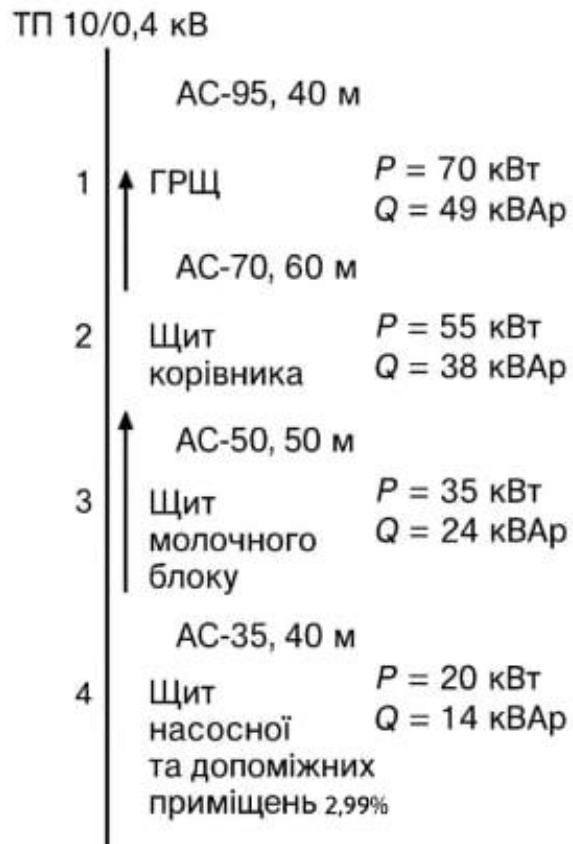
11. Egorchenkov V., Koval L., Radomtsev D., Sergeychuk O. Development of energy efficiency issues in DBN V.2.5-28:2018 "Natural and artificial lighting" // *Energy-Efficiency in Civil Engineering and Architecture*. 2019. № 12. С. 7–19. DOI: 10.32347/2310-0516.2019.12.7-19.
12. Energy Efficiency Directive. European Commission. URL: <https://energy.ec.europa.eu/>... (дата звернення: 10.02.2025).
13. Fonseca Freire P. E., Pane E., Guaraldo N. Techniques for the Study of Large Industrial Grounding Systems // *Rio Oil & Gas Expo and Conference*. Rio de Janeiro, 2012.
14. International Renewable Energy Agency. Off-grid renewable energy solutions to expand electricity access: An opportunity not to be missed. Abu Dhabi, 2019. ISBN 978-92-9260-101-0. URL: <https://www.irena.org/publications> (дата звернення: 11.02.2025).
15. International Renewable Energy Agency; FAO. Renewable energy for agri-food systems: Towards the Sustainable Development Goals and the Paris Agreement. Abu Dhabi; Rome, 2021. DOI: 10.4060/cb7433en.
16. Islam A., Satapathy K. K., Kothari S. K., Ghosh B., Koley S. Agrivoltaics: Dual Use of Land for Energy and Food Sustainability // *Nature Environment and Pollution Technology*. 2025. Vol. 24, No. 2. Article B4223. DOI: 10.46488/NEPT.2025.v24i02.B4223.
17. Kamel R. M., Chaouachi A., Nagasaka K. Comparison the Performances of Three Earthing Systems for Micro-Grid Protection during the Grid Connected Mode // *Smart Grid and Renewable Energy*. 2011. Vol. 2. P. 206–215. DOI: 10.4236/sgre.2011.23024.
18. Lim S. C., Al-Shawesh Y. A Systematic Method for the Design of Earthing System for Low Voltage Installations // *International Journal of Recent Technology and Engineering*. 2019. DOI: 10.35940/IJRTE.C1003.1083S19.
19. Pestisha A., Gabnai Z., Chalgyrbayeva A., Lengyel P., Bai A. On-Farm Renewable Energy Systems: A Systematic Review // *Energies*. 2023. Vol. 16, No. 2. Article 862. DOI: 10.3390/en16020862.

20. Santos A. A., Pereira F., da Silva A. F., Caetano N., Felgueiras C., Machado J. Electrification of a Remote Rural Farm with Solar Energy—Contribution to the Development of Smart Farming // *Energies*. 2023. Vol. 16, No. 23. Article 7706. DOI: 10.3390/en16237706.
21. Sutar C., Singh D., Verma K. S. Feasibility of Photovoltaic Solar System for Rural Electrification // *Innovative Energy Research*. 2018. Vol. 7, Issue 2. Article 204. DOI: 10.4172/2576-1463.1000204.
22. Tompkins D., Mostafavie T. Pipelined Processing Technique in Object Detection and Location: A Simulated Method // *Proc. 24th Southeastern Symposium on System Theory*. Greensboro, 1992. P. 281–284. DOI: 10.1109/SSST.1992.712277.

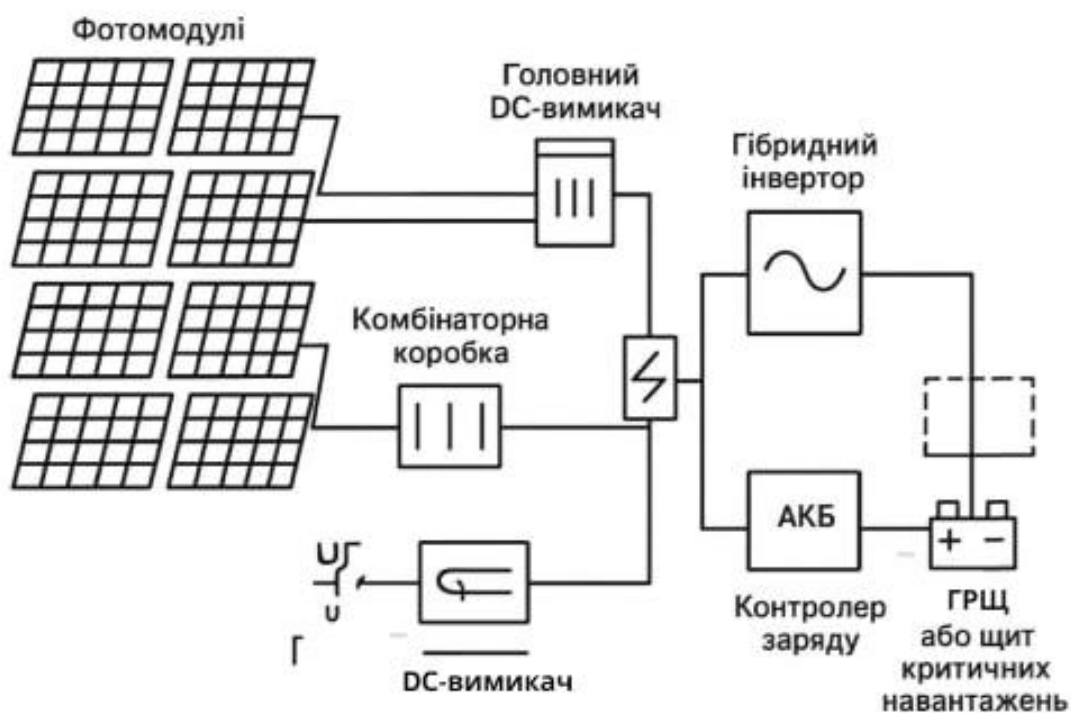
Однолінійна схема електропостачання ферми 10/0,4 кВ



Однолінійна схема внутрішньої мережі 0,4 кВ ферми



Структурна схема фотоелектричної станції (ФЕС) 300 кВт



Інтегрована однолінійна схема гібридної системи електропостачання ферми

