

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)

Центр перепідготовки та післядипломної освіти
(повна назва факультету)

електричної інженерії
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Підвищення надійності системи електропостачання
підприємства АПК

Виконав: студент (ка) 2 курсу, групи ЕТмд-61

спеціальності 141—

електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

Митражик І.І.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Буняк О.А.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Мовчан Л.Т.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Коваль В.П.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
 (повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет _____ центр перепідготовки та післядипломної освіти
 (повна назва факультету)
 Кафедра _____ електричної інженерії
 (повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Завідувач кафедри ЕІ
 _____ Коваль В.П.
 (підпис) (прізвище та ініціали)
 “ 11 ” жовтня 2024 р.

З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня _____ магістр
 (назва освітнього ступеня)
 за спеціальністю 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
 (шифр і назва спеціальності)
 студенту _____ Митражику Ігору Івановичу
 (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Підвищення надійності системи електропостачання підприємства АПК

Керівник роботи _____ Буняк Олег Андронікович, к.т.н., доцент
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від “10” жовтня 2024 р. № 4/7-985

2. Термін подання студентом завершеної роботи _____ 15 грудня 2024 року

3. Вихідні дані до роботи Однолінійна схема електропостачання підприємства агропромислового комплексу; існуючі схеми електропостачання споживачів; забезпечення надійності на основі встановлення відновлювальних джерел енергії

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)
Вступ. 1. Аналітичний розділ. 2. Проектно-конструкторський розділ. 3. Розрахунково-дослідницький розділ. 4. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях. Загальні висновки. Перелік посилань.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
Аналіз системи електропостачання підприємств АПК. Характеристики та аналіз систем із відновлювальними джерелами енергії. Процеси отримання біогазу. Вибір елементів обладнання та оцінка моделей БГУ. Оцінка надійності системи електропостачання підприємства АПК із резервним джерелом живлення та аналіз результатів.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Гурик О.Я., к.т.н., доцент		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	Клепчик В.М., старший викладач		

7. Дата видачі завдання 11 жовтня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз літературних джерел та патентний пошук	15.09.24 - 01.11.24	
2	Аналітичний розділ	15.10.24 - 01.11.24	
3	Розрахунково-дослідницький розділ	15.10.24 - 01.11.24	
4	Проектно-конструкторський розділ	15.10.24 - 01.11.24	
5	Заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях	15.10.24 - 01.11.24	
6	Формування пояснювальної записки та плакатів по кваліфікаційній роботі	01.11.24 - 15.12.24	
7	Попередній захист кваліфікаційної роботи	15.12.24 - 20.12.24	

Студент

(підпис)

Митражик І.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Буняк О. А

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. Центр перепідготовки та післядипломної освіти. Кафедра електричної інженерії, група ЕТмд-61. – Тернопіль.: ТНТУ, 2024.

У кваліфікаційній роботі проведений аналіз особливостей побудови системи електропостачання сільськогосподарських господарств, та засобів забезпечення надійності.

Запропоновано забезпечити підприємство незалежним джерелом живлення для резервування електропостачанням особливо значимих відділень.

На основі досліджень впливу різних типів поновлювальних джерел енергії, ґрунтуючись на роді діяльності підприємства, вибрано тип палива – біогаз.

Визначено оптимальну модель та проведений вибір енергетичної установки за сукупністю експлуатаційно-технологічних параметрів.

Проведена оцінка надійності електропостачання підприємства на основі біогазової установки.

Показано, що інтеграції резервного джерела живлення дозволить підвищити надійність електропостачання та знизити річний час аварійних відключень.

Ключові слова: відновлювальні джерела енергії, енергетична установка, оцінка надійності.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ	8
1.1 Оцінка шляхів забезпечення надійності електропостачання сільськогосподарських підприємств	8
1.2 Характеристика електропостачання сільськогосподарських підприємств.	11
1.3 Аналіз автономних резервних джерел живлення	18
1.4 Аналіз потенціалу виробництва біогазу в Україні	20
1.5 Висновки до першого розділу	21
2 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	23
2.1 Аналіз техніко-економічних показників ВДЕ	23
2.2 Аналіз видів біопалива	28
2.2.1 Отримання біогазу	30
2.3 Вибір елементів резервної системи електропостачання	34
2.3.1 Розрахунок вихідної сировини	35
2.3.2 Розрахунок резервуарів та вихідної потужності	35
2.3.3 Аналіз та вибір БГУ	37
2.4 Висновки до другого розділу.....	43
3 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	44
3.1 Оцінка надійності системи електропостачання підприємства АПК	44
3.1.1 Розрахунок показників надійності без резервного джерела	46
3.1.2 Розрахунок показників надійності з резервним джерелом (БГУ)	48
3.1.3 Аналіз результатів дослідження	51
3.4 Висновки до третього розділу	52
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	53
4.1 Організація безпечної експлуатації електроустановок сільськогосподарського підприємства	53

4.2 Стійкість роботи промислових підприємств (об'єктів) в умовах надзвичайних ситуацій	56
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	60
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	61

ВСТУП

Актуальність теми.

Протягом останніх двох десятиліть істотно змінилися особливості сільськогосподарського виробництва на підприємствах агропромислового комплексу, особливо на сучасних тваринницьких фермах. З точки зору електропостачання, великі тваринницькі комплекси та птахоферми схожі на промислові підприємства [1], що означає підвищення значення надійності електропостачання зі зростанням потужностей у сільському господарстві як здатності електромережі будь-коли забезпечити споживачів електроенергією.

Навіть короточасні відключення електрики на агропромислових підприємствах є головною причиною порушень стабільної роботи цехів з переробки сільськогосподарської продукції та викликають проблеми з освітленням і вентиляцією [2]. Аналіз конструкції сільських розподільчих електромереж показав, що більшість сільськогосподарських підприємств має одне джерело електропостачання, а фізичне зношення та недостатня пропускна спроможність призводять до аварійних відключень і зупинок технологічних процесів [1,2]. Отже, потрібно застосовувати ефективні та економічно обґрунтовані заходи для забезпечення оптимальної надійності електропостачання сільськогосподарських споживачів.

Щоб гарантувати надійність вищезазначених підприємств *АПК*, де будь-яке відключення – планове (ремонтне) або несподіване (аварійне) – завдає шкоди споживачам і енергосистемі, найдоцільніше використовувати варіанти комбінованого або автономного електропостачання.

Мета і завдання дослідження. Метою кваліфікаційної роботи є підвищення надійності системи електропостачання підприємства аграрно-промислового комплексу за рахунок інтеграції додаткового джерела на основі *ВДЕ*.

Відповідно до вказаної мети поставлені наступні завдання:

- провести аналіз засобів забезпечення надійності системи електропостачання підприємств *АПК*;
- провести аналіз особливостей побудови системи електропостачання сільськогосподарських господарств;
- провести аналіз автономних резервних джерел живлення;
- здійснити порівняльний аналіз та вибір відновлювального джерела енергії для забезпечення автономного електропостачання;
- обґрунтувати модель біогазової установки та провести розрахунок та вибір елементів резервної системи електропостачання;
- провести оцінку надійності при встановленні резервної системи електропостачання.

Об’єкт дослідження – системи електропостачання підприємств агропромислового комплексу.

Предмет дослідження – методи та засоби забезпечення надійності електропостачання підприємств агропромислового комплексу.

Наукова новизна отриманих результатів.

- отримало подальший розвиток використання поновлювальних джерел енергії для підвищення надійності системи електропостачання підприємства.

Практичне значення отриманих результатів. Інтеграція додаткового джерела живлення в діючу систему електропостачання *АПК* дозволить суттєво підвищити надійність та знизити річний час аварійних відключень.

Апробація.

Результати досліджень за темою кваліфікаційної роботи були представлені на VII Міжнародній науково-технічній конференції „Світлотехніка й електроенергетика: історія, проблеми, перспективи“ (29-31 травня 2024 року), Тернопіль, Тернопільський національний університет імені Івана Пулюя.

Структура роботи. Робота складається зі вступу, 4 розділів, висновків, переліку посилань (32 найменування).

Загальний обсяг текстової частини – 65 сторінок, 20 таблиць, 21 рисунок.

1 АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Оцінка шляхів забезпечення надійності електропостачання сільськогосподарських підприємств

Сьогодні сільське господарство є однією з пріоритетних галузей економічного розвитку України. Впровадження сучасних з'єднань із технологією безперервної дії на фермах вимагає надійного електропостачання на всіх рівнях напруги. Особливість підприємств (*АПК*) полягає у використанні технологічних процесів з додатковим перетворенням електричної енергії. Тобто зі зростанням ролі електроенергії в сільськогосподарському виробництві, зростає важливість надійності електропостачання, оскільки зростає здатність електромережі щомиті забезпечувати електроенергією підключених до неї споживачів.[1, 2].

Короточасні перебої з електропостачанням підприємств *АПК* є основною причиною порушень стабільності режимів роботи обладнання агрегатів переробки сільськогосподарської продукції та харчових виробництв. Як наслідок – аварійні зупинки технологічних процесів, погіршення життєдіяльності тварин і птиці.

Слід зазначити, що для ефективного розв'язку питання підвищення надійності електропостачання безперервного виробництва необхідно реалізувати комплекс організаційно-технічних заходів, як з боку компанії енергопостачання, так і з боку підприємства *АПК*. Враховуючи очевидні обмеження, реалізувати заходи на рівні енергосистеми досить складно. Загалом, сьогодні вирішення проблеми забезпечення надійного та безперебійного електропостачання залежить фактично від самого підприємства.[3, 4].

Перспективний напрям підвищення стійкості електротехнічних систем – уніфікація зовнішньої електромережі з роботою компаній *АПК*.

Пошук методів коригування функціонування професійних споживачів *АПК*, які за надійністю енергопостачання відносяться до I та II категорій,

продемонстрували, що використання автономних відновлюваних джерел енергії (*ВДЕ*)(*ФЕП*, *ВЕУ*, міні *ГЕС*, біогазові установки, тощо) підвищить стабільність та надійність електропостачання без лишнього завантаження централізованої мережі. При цьому, його ефективність залежать від техніко-економічних та екологічних показників використовуваних *ВДЕ*, з врахуванням режимів роботи [4, 5].

Аналіз потоків активної та реактивної складових електроенергії у виробничих процесах *АПК*, методів оптимізації втрат, методів керування в системах енергоспоживання з забезпеченням показників якості електроенергії (*ПЯЕЕ*), показали необхідність [9, 10] використовувати *ВДЕ*, яка з урахуванням особливостей функціонування сільськогосподарських споживачів могла б враховувати:

- зростання необхідної потужності з урахуванням появи нових споживачів електроенергії з більшою ефективністю виробництва та кращою продуктивністю технологічних процесів;
- використання більш сучасних систем управління надійністю електропостачання та електропостачання *ПЯЕЕ* в технологічних процесах *АПК*;
- використання виключно автоматизованих систем у технологічних приєднаннях споживачів *АПК*, припинення електропостачання, що може призвести до катастрофічних наслідків.

Отже, для забезпечення надійності електропостачання відповідальних споживачів сільськогосподарських підприємств необхідно провести аналіз використання автономних систем різної структури генерування як підсистем в єдиній енергомережі [4, 5, 11]. Як описано в джерелах [1-9], сучасні напрями застосування гетерогенних автономних засобів малої енергетики в сільськогосподарських підприємствах залежать від вартості перетворення первинної енергії в електроенергію.

Як показав аналіз [10], на даний момент відсутні нормативні документи, що регламентують комплекс правил використання *ВДЕ* в єдину енергетичну

систему, включаючи використання автоматизованих систем управління, що веде до рішення для кожного бізнесу *АПК* в окремому порядку. Врахування певної сезонності споживання електроенергії сільськогосподарськими підприємствами та птахофабриками *АПК*, оцінка середнього рівня надійності елементів їх енергосистем може бути здійснена на основі статистичних даних про надійність окремих вузлів.

Щодо надійності роботи електрообладнання слід зазначити, що багато авторів [16-18] відзначають недоліки інтеграції джерел розподіленої генерації (*РГ*) в енергосистему, які пов'язані з погіршенням *ПЯЕЕ* та ускладнення процесів управління режимами роботи енергосистеми, що потребує впровадження інших стандартів роботи. Розподільча мережа напруги приєднання сільськогосподарських споживачів 10 кВ та 0,4 кВ побудований переважно відповідно до радіальної структури з вертикальною організацією, отже, у зв'язку зі споживачами *РГ*, потоки потужності також можуть змінювати напрямок у протилежному напрямку (до понижуючого трансформатора) [15, 16]. Крім того, більшість сільськогосподарських мереж мають єдине джерело електропостачання та при з'єднанні з джерелами *РГ*, вони перетворюються на лінію з процесами випадкової генерації.

Наприклад, для *ВЕУ* – нерегулярний (імпульсний) режим за рахунок використання асинхронних генераторів (реактивна складова потужності) [18], що потребує накопичення додаткової потужності не менше 50 % потужності *ВЕУ*. З іншого боку, встановлення ємнісних засобів компенсації змінює частотні характеристики електричної системи (поява вищих гармонік (*ВГ*)) і поява ефекту «флікера» в системі зовнішнього живлення (коливання вихідної потужності *ВЕУ*).

Те ж саме відбувається з елементами геліосистем, де виробництво спрямовується до зовнішньої мережі *ВГ* [18].

У свою чергу, ці проблеми порушують надійність енергосистеми, що вимагає встановлення додаткового обладнання автоматизації, а також

призводять до коливань потужності у співвідношенні «енергоспоживання – генерування енергії в мережу».

Що стосується споживачів, то описані порушення стабільності призводять до зниження показників якості напруги, зокрема підвищення значення напруги в точці приєднання джерела PG , яка є позитивною, але породжує інші BG – негативний вплив на зовнішню енергосистему.

Отже, інтеграція PG воно має як позитивний, так і негативний вплив на зовнішню енергетичну систему $ПЯЕЕ$. Проте деякі автори [19, 20] стверджують, що поділ системи при об'єднанні кількох джерел PG підвищить надійність системи в цілому при аварійних ситуаціях на мережі, а також зменшить втрати в мережах середньої та низької напруги і, як наслідок, підвищить надійність електропостачання споживачів [21, 22].

1.2 Характеристика електропостачання сільськогосподарських підприємств

Підвищення тарифів, збільшення технологічних можливостей компаній $АПК$ при постійному збільшенні частки обладнання, що не допускає переривання електропостачання, віддаленість електромереж потребує забезпечення надійності об'єктів принципового значення додатковими засобами $ВДЕ$.

Відповідно до загальних припущень, усі сільськогосподарські підприємства класифікуються в відповідності до рис.1.1 [2].

Для аналізу та виконання завдань підвищення надійності було взято підприємство агропромислове і тваринницьке підприємство Тернопільської області великої потужності.

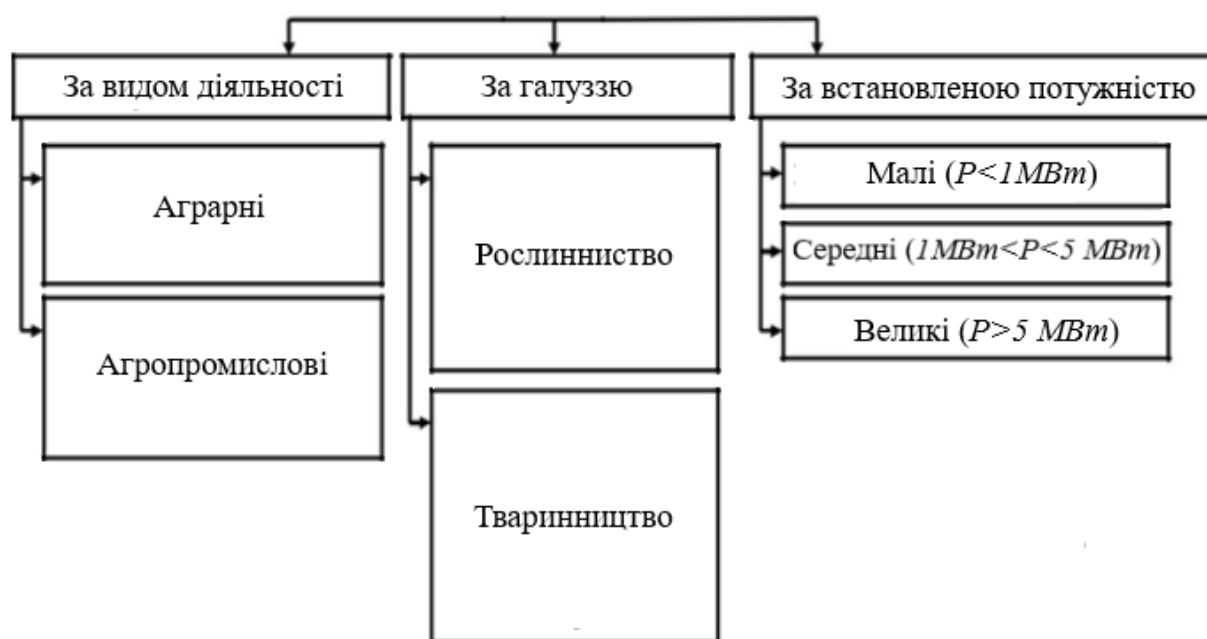


Рисунок 1.1 – Класифікація підприємств АПК.

Енергоємність підприємства АПК визначається об'ємом і вартістю спожитої електроенергії з різних джерел. Зниження енергоємності призводить до зниження собівартості продукції. Тому джерела, які не залежать від змін цін на енергію, відіграють важливу роль.[15].

Втрати електроенергії зумовлені процесами транспортування енергії елементами електроенергетичної системи (знижувальні підстанції, лінії електропередачі), зменшення якого призводить до зменшення споживання електроенергії, а отже, і енергоємності продукції.

Ефективність роботи електрообладнання визначається не тільки кількістю, але і якістю електроенергії, що подається. Підтримання якості електроенергії в межах законодавчо допустимих значень дає можливість збільшити термін служби обладнання, скоротити експлуатаційні витрати на ремонт і обслуговування та зменшити втрати електроенергії.

Тваринницькі ферми з промисловими технологічними установками по переробці м'яса є найбільш енергоємними та найбільш чутливими до перебоїв в електропостачанні, викликаних передачею електроенергії сільськогосподарським споживачам, розташованим на великій території.

Проведені дослідження показали, що електросистеми невеликої частини ферм мають два автономні джерела енергії (рис. 1.2). У більшості випадків досліджувані підприємства мають лише одне джерело енергії, що знижує надійність електропостачання. За отриманою інформацією, досліджуване нами підприємство відноситься до II категорії надійності електропостачання та має лише одне автономне джерело.

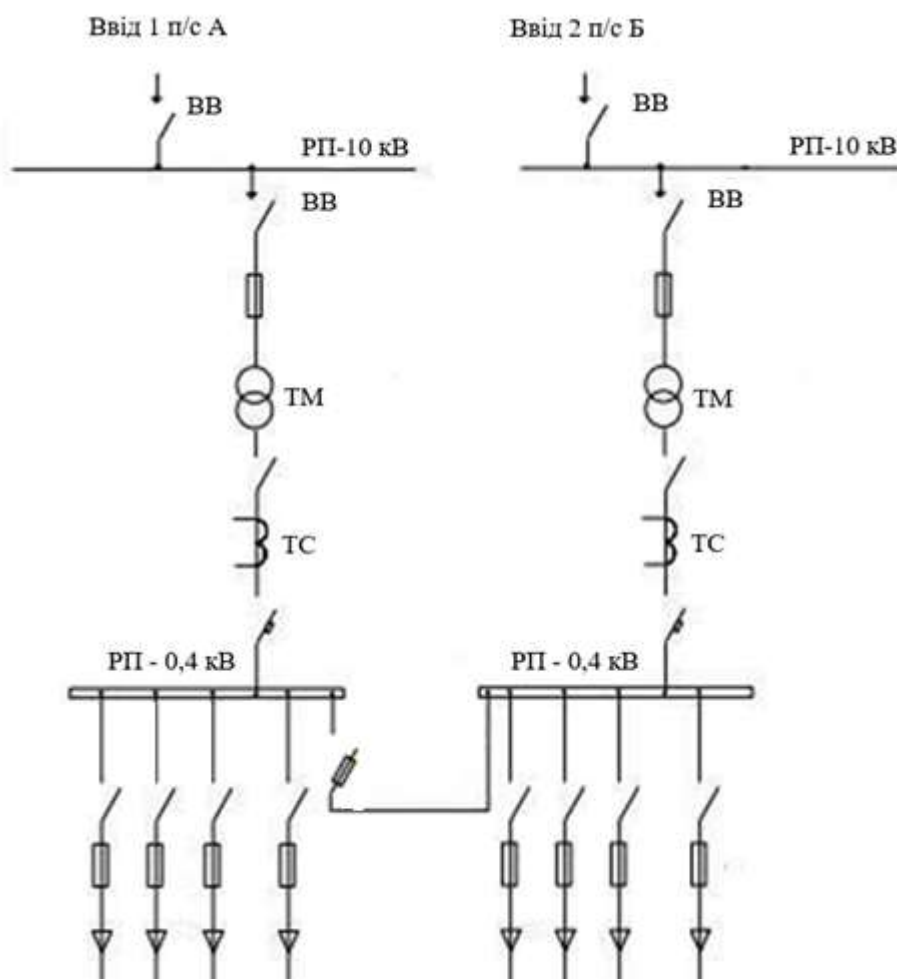


Рисунок 1.2 – Однолінійна схема електропостачання із двома незалежними джерелами живлення.

Передача (розподіл) електроенергії здійснюється повітряними лініями (ПЛ) передача потужності 10(6) кВ, які володіють зниженою надійністю, ніж кабельні лінії, і більш сприйнятливі до пошкоджень.

Основною причиною перебоїв з електропостачанням є недостатня продуктивність та високий фізичний знос сільських електромереж. За різними даними [3, 6] залежно від напруги мережі фізичний і моральний знос

електрообладнання становить 40...70 %. Середня кількість пошкоджень, що викликають відключення ліній напруги 10 кВ – 180–320 на 50 км ланки мережі на рік. Аналіз пошкоджень ПЛ за період 2018–2021 р.р. довели, що 55 % виходу з ладу відбуваються на обладнанні, яке пропрацювало 30 років та 30 % –обладнання, яке працювало довше 30 років [3].

Середня кількість годин без електропостачання однієї ферми в середньому 58 год/рік [3]. Найбільше аварійних відключень припадає на осінь (рис. 1.3).

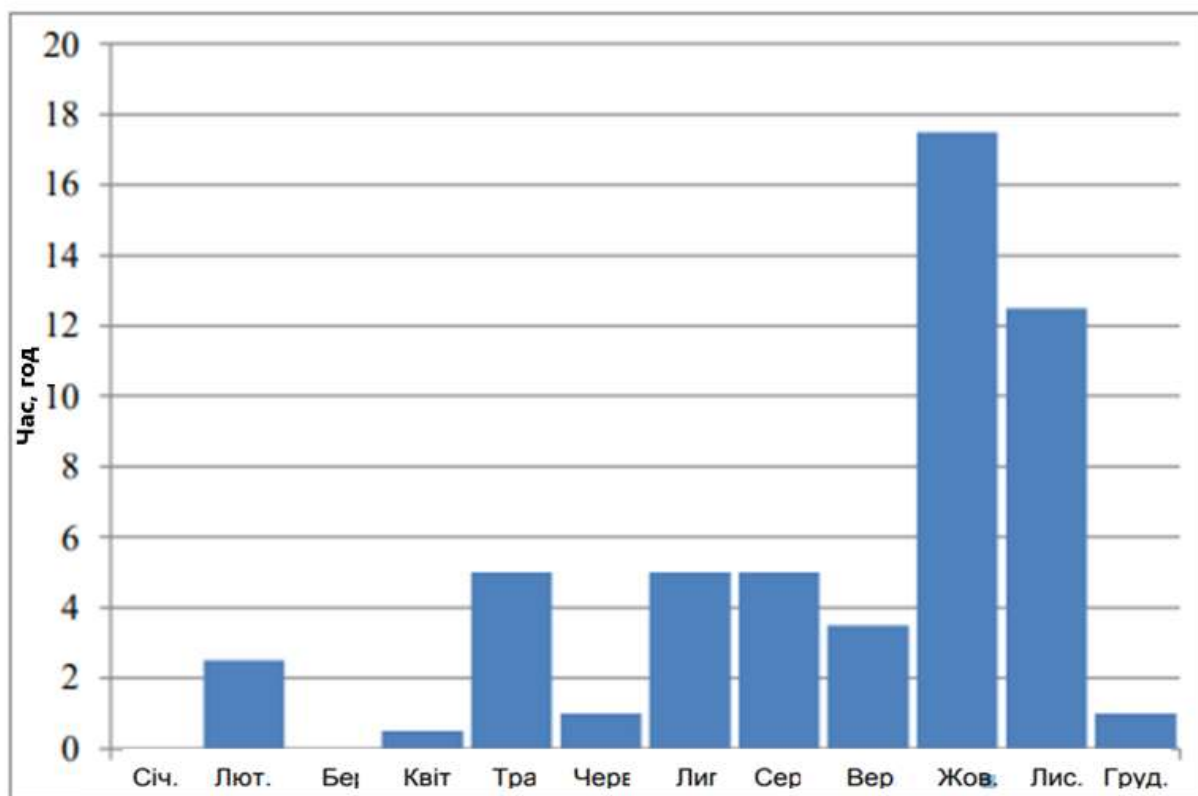


Рисунок 1.3 – Діаграма перерв в електропостачанні.

Порушення електропостачання при аварійних відключеннях призводить до порушення технологічних процесів відділень підприємства: мікроклімату в приміщеннях з тваринами, інкубаторах, відділень доїння та годування, тощо. Як ми знаємо [2, 3], затримка при годуванні та доїнні призводить до зниження продуктивності на 4...12 %. Погіршення мікроклімату призводить до надмірних

витрат кормів (12...15 %), зниження надою молока (10...15 %) та приросту маси (15...20 %), що знижує ефективність виробництва на підприємстві.

Тому актуальним завданням є визначення ефективних технологій і технічних рішень, які дозволяють підвищити стабільність електропостачання, знизити енергоємність виробництва без залучення залишкового навантаження на зовнішню мережу.

Функціонування та сталий розвиток підприємств *АПК* значною мірою визначається ефективністю їх електричних систем, оскільки електроенергія є технологічним вектором енергії [2].

Ефективність електропостачання має особливе значення для тваринництва, тобто, для означених підприємств необхідним є створення мікроклімату в приміщеннях утримання тварин: підтримання необхідного температурного режиму, штучне освітлення, опромінення тварин, тощо [2]. Це супроводжується значними витратами енергії на вентиляцію, кондиціонування повітря, опалювальні прилади (калорифери) та інше електрообладнання. Створення означених умов для забезпечення мікроклімату є необхідністю для самих ранніх періодів життя тварини.[2].

Електромеханізація приготування кормів дає змогу скоротити трудові та матеріальні витрати на одиницю продукції тваринництва. Тому використання електричних машин для приготування їжі дозволяє скоротити витрати [23]. Електроустановки відіграють важливу роль при доїнні, охолодженні та переробці молока, видаленні та транспортуванні гною, водопостачанні та інших технологічних процесах.[2, 23].

Проведений аналіз дозволяє акцентувати наступне:

- електрифікація технологічних процесів у сільськогосподарських підприємствах має значний економічний ефект;
- процес виробництва сільськогосподарської продукції значною мірою залежить від ефективності електропостачання.

Таблиця 1.1 – Електричні навантаження за відділеннями (цехами)

НІ з/п	Назва відділу	Силова зарядка		
		$P_{ном}, кВт$	$K_з$	$\cos \varphi / \operatorname{tg} \varphi$
Приймачі електроенергії 0,4кВ				
1.	Адміністративне приміщення	90	0.5	0.8/0.75
2.	Консервний цех	270	0.5	0.8/0.75
3.	Холодильне відділення	250	0.75	0.8/0.75
4.	Електролітний цех	250	0.5	0.8/0.75
5.	Компресорна	120		
6.	Насосна	200	0.75	0.8/0.75
7.	Відділення загону худоби	30	0.2	0.7/1.02
8.	Відділення утримання худоби перед забоєм	50	0.3	0.75/1.02
9.	Ковбасний цех	1470	0.5	0.8/0.75
10.	Склад із прибудовою магазину	110	0.4	0.8/0.75
11.	Відділення переробки зерна	200	0.4	0.8/0.75
12.	Овочесховище	180	0.4	0.8/0.75
13.	Столярний цех	120	0.45	0.85/0.6
14.	Склад	250	0.4	0.8/0.75
15.	Механічні майстерні	150	0.35	0.7/1.02
16.	Гараж	80	0.3	0.7/1.02
17.	Котельня	400	0.6	0.8/0.75
18.	Будинок санбойні	180	0.25	0.6/1.33
19.	Зоопарк	500	0.4	0.8/0.75
приймачі електроенергії 10кВ				
1.	Компресорна (СД)	600	0.75	0.8/0.75
2.	Насосна	1200	0.75	0.8/0.75
	Всього по підприємству	6700		

– відділення (цехи) підприємства, необхідні для забезпечення безперебійного електропостачання, повинні бути забезпечені електроенергією від двох незалежних джерел або від резервного джерела енергії. Якісна сировина – основа якісного продукту. Тому необхідно не лише контролювати якість м'яса

та круп у лабораторіях. а й забезпечити комфортні умови проживання тварин та птиці. Адже сировина підприємства – свині та корови. для яких надмірний стрес згубно впливає як на миттєвий дефіцит продукції. так і на подальше поповнення сировини. Посилення контролю за мікрокліматом, штучним опроміненням, забезпечення тепла, тощо, призводить до збільшення електрифікації підприємства. Необхідно виділити тільки особливо важливі об'єкти, для щоб забезпечити їх додатковим автономним джерелом живлення.

Слід зазначити. що худоба майже завжди міститься в відділенні загону худоби та зоопарку, а зерно – в овочесховищі. Тому ці сховища є особливо важливими (рис. 1.2).

Таблиця 1.2 – Особливо важливі відділення (цехи)

НІ з/п	Назва відділу	Силова зарядка		
		$P_{ном}, кВт$	K_3	$\cos \varphi / tg \varphi$
Приймачі електроенергії 0,4 кВ				
1.	Холодильне відділення	240	0.75	0.8/0.75
2.	Відділення загону худоби	30	0.2	0.7/1.02
3.	Насосна	200	0.75	0.8/0.75
4.	Відділення утримання худоби перед забоєм	50	0.3	0.75/1.02
5.	Відділення переробки зерна	200	0.4	0.8/0.75
6.	Овочесховище	180	0.4	0.8/0.75
7.	Котельня	400	0.6	0.8/0.75
8.	Зоопарк	500	0.4	0.8/0.75
	Всього	1800		

Необхідно також віднести супутні цехи, тобто такі, що забезпечують необхідні умови для нормальної життєдіяльності: котельня, зоопарк, холодильники (для зберігання продукції) та інші цехи.

1.3 Аналіз автономних резервних джерел живлення

В даний час дизельні електростанції (*ДЕУ*) набули широкого поширення як основне так і резервне джерело електроенергії [3], які мають ряд наступних переваг: низькі інвестиційні витрати на електростанцію; низька питома витрата на систему охолодження; простота при налагодженні та монтажі обладнання (конструкції) станції. Але слід зазначити: високу вартість палива, та, відповідно, частку вартості компонентів у виробленій електроенергії. 60–65 %; висока шумність, отже, зниження екологічних показників, забруднюючих викидів у навколишнє середовище [3, 4]. *ДЕУ* мають широкий діапазон застосування в віддалених від основного електропостачання енергетичних зонах як основне джерело та в централізованих енергетичних зонах як резервне джерело. Погіршення екологічних факторів знижують рентабельність виробництва та рівень життя та здоров'я населення.

В останні роки все більше уваги привертають газопоршнєві установки. (*ГПУ*). Це пояснюється такими перевагами (в порівнянні з *ДЕУ*): низькі витрати на експлуатацію обладнання; задовільні екологічні показники. Сьогодні використання традиційних вуглеводневих електростанцій у сільському господарстві ще більше посилює негативні складові:

- по-перше, площини розвитку сільського господарства та промисловості практично не збігаються. Застосування *ДЕУ* та *ГПУ* призводить до зниження енергетичної безпеки та, відповідно, продовольчої безпеки в регіонах. Перебої в постачанні енергоносіїв можуть завдати значних економічних збитків;
- по-друге, використання *ДЕУ* та *ГПУ* в нинішній економічній ситуації дефіциту палива є недоцільним. Окрім цього, використання дизель-генераторів містять високі транспортні витрати;
- по-третє, класичні електростанції, які що працюють на вуглеводнях – джерела екологічного забруднення, що обмежує їх використання.

Проведені дослідження [9] продемонстрували, що експлуатація міні-ТЕС призводить до забруднення навколишнього середовища продуктами згоряння, що призводить до негативного впливу;

Загострення суперечностей між можливістю використання електростанцій на вуглеводнях та перспективним майбутнім розвитком сільськогосподарських підприємств з позиції забезпечення ефективності, вимагає вирішувати питання та ліквідовувати означені проблеми сільськогосподарських підприємств за рахунок застосування в системах електропостачання *ВДЕ*, які в основному мають використання в районах централізованого електропостачання [4].

Використання електростанцій на основі *ВДЕ* в аграрній сфері може сприяти вирішенню не тільки енергетичних проблем, але й екологічних та соціально-економічних проблем.

При використанні *ВДЕ* підвищується ефективність електропостачання сільськогосподарських споживачів за рахунок:

- послаблення залежності споживача від зовнішньої енергетичної системи;
- зниження затрат на під'єднання, витрати на підключення до зовнішньої енергетичної системи;
- зниження обсягів реконструкції старих електричних мереж;
- суттєве зниження використання вуглеводневих ресурсів.

Розміщення генерацій на базі *ВДЕ* саме в кінці тупикових *ЛЕП* є найцікавішим, так як гарантується надійність енергопостачання тупикових споживачів та значно підвищуються *ПЯЕЕ* (забезпечується стабільність напруги та частоти).

Використання *ВДЕ* дозволяє суттєво покращити екологічну ефективність за рахунок зниження використання вуглеводневих станцій і переробки відходів тварин і птиці при використанні *БГУ* [4].

Підвищення соціально-економічної ефективності під час використання *ВДЕ* досягається зниженням витрат на закупівлю вуглеводневих енергоносіїв та електроенергії з централізованої електромережі; зменшення втрат

сільськогосподарської продукції; розвиток ізольованих сільських поселень; покращення рівня життя та здоров'я населення.

1.4 Аналіз потенціалу виробництва біогазу в Україні

Сільськогосподарський сектор України, який виробляє значну кількість органічних відходів, має ресурси виробництва біогазу, які теоретично можуть замінити 1.5 млрд. м^3 річних парникових газів. З подальшим розвитком рослинного господарства та, відповідно, отримання рослинної сировини (зелена маса, силос), дозволить (в перерахунку на парникові гази) отримати за різними підходами [23] від 6,5 до $12,8 \text{ млрд м}^3/\text{рік}$. Враховуючи, що 45 % посівних земель в країні – вільні, то з перерахунку на зелену масу кукурудзи при врожайності 30 тонн з 1 га можна отримати вказані вище значення.

На сьогодні, на основі отримання біогазу, які стали складовою програми енергозбереження в країні на основі включення в паливно-енергетичний баланс країни, працюють або будуються понад 30 біогазових установок (БГУ). У відповідності до концепції будівництва потужних БГУ (об'єм метану від 800 м^3 та більше) значну частку потенційного ринку БГУ в країні можна освоїти до 2030 року. Основними умовами успішної реалізації програм і проектів є: по перше, економічно обґрунтовані технологічні ланки виробництва біогазу, а по друге, використовувати в виробництві не тільки відходи з біомаси, а й із вирощеної рослинної сировини [24].

Враховуючи розгалуженість підприємств аграрної галузі країни, які включають крім свиноферм, птахофабрик та ферм ВРХ підприємства цукрової, спиртової та пивоварної виробництв, загальна потужність установок на біогазі в перспективі може становити до 800 MBt електричної та до 1000 MBt теплової.

Тобто, економічна можливість освоєння ринку сировини, та, відповідно, біогазу може становити за довгостроковими мірками (до 2030 року) – 51 %, а в переводі на електроенергію – 0,42 млрд. кВт·год у 2030 році, причому, при об'ємі встановлення до 1000 БГУ різної потужності за інвестиційними програмами, об'єм біогазу буде становити 12 млрд м³ до 2030 року.

Впровадження біогазових технологій в країні дозволить у перспективі щорічно виробляти до 7 млрд м³ як еквівалента природного газу, що зробить вагомий внесок у забезпечення енергетичної незалежності, створить альтернативне джерело енергії та палива, можливість отримувати додаткові потужності в години пікових навантажень в енергетичній мережі, покращенню екологічного середовища регіонів, підвищенню родючості земель [23].

Натомість, необхідно означити й стримуючі фактори щодо розвитку біоенергетики в країні, по при означений вище потенціал:

- по перше, це відсутність чіткої нормативно-правової бази (стандартів) для швидкого розвитку програм націлених на розвиток біопаливного виробництва, по при існуючі, що характеризуються відсутністю механізмів практичного впровадження;

- по-друге, відсутність енергетичної безпеки при нарощуванні біопаливної індустрії;

- по третє, не готовність споживачів до використання біопаливних ресурсів та відсутність повноцінної структури ринку біопалива.

1.5 Висновки до першого розділу

Проведений аналіз та класифікація систем електропостачання сільськогосподарських підприємств.

Встановлено, що рівень електроспоживання вітчизняних сільськогосподарських підприємств є досить високим.

Встановлено, що система електропостачання більшості сільськогосподарських підприємств має одне джерело живлення. Фізичний знос та недостатня потужність сільських електромереж є причиною аварійних відключень та перерв технологічних процесів сільськогосподарського виробництва (в середньому 100 год/рік), що завдає економічного збитку підприємству.

Запропоновано забезпечити підприємство незалежним джерелом живлення для резервування електропостачанням особливо значимих відділень потужністю 1800 кВт (таблиця 1.2) при загальній потужності 6700 кВт (таблиця 1.1).

2 ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

Характерними особливостями розташування сільських господарств є їх близькість до невеликих водоймищ, відкритої місцевості та потребу в утилізації відходів при здійсненні виробництва, що є доказом широкого застосування відновлюваних джерел енергії (*ВДЕ*) (енергії води, сонця, вітру та біопалива).

Розвиток *ВДЕ* є одним із пріоритетних напрямів регіональної енергетичної стратегії, і на законодавчому та технічному рівнях були зроблені зміни для підтримки розвитку протягом наступного десятиліття [6]. У контексті сучасної стратегії енергетичного та соціально-економічного реформування сільського господарства впровадження ефективних науково-технічних рішень в діючі системи електропостачання сільських електричних мереж системи на базі *ВДЕ* є актуально.

Використання різних варіантів технічних засобів *ВДЕ* залежить від природного середовища регіонів країни. Потенціал поновлюваних джерел електричної енергії подана на рис.2.1, а ареали розвинених потужних тваринницьких господарств на рис. 2.2, дані яких використані при виборі джерела поновлювальної енергії при дослідженнях [5].

2.1 Аналіз техніко-економічних показників *ВДЕ*

Аналіз встановлення певних типів *ВДЕ* залежить від доцільності встановлення спираючись на природні умови, наприклад, Німеччина велику частку електроенергії отримує від *ФЕП*, Данія четверть потужностей – від *ВЕУ*.

Не дивлячись на недостатню кількість сонячних днів та низькими середньорічними температурами на території України використання поновлювальних джерел енергії зростає. В таблиці 2.1 приведено показники різних типів *ВДЕ* з аналізом усереднених технічних характеристик [5].

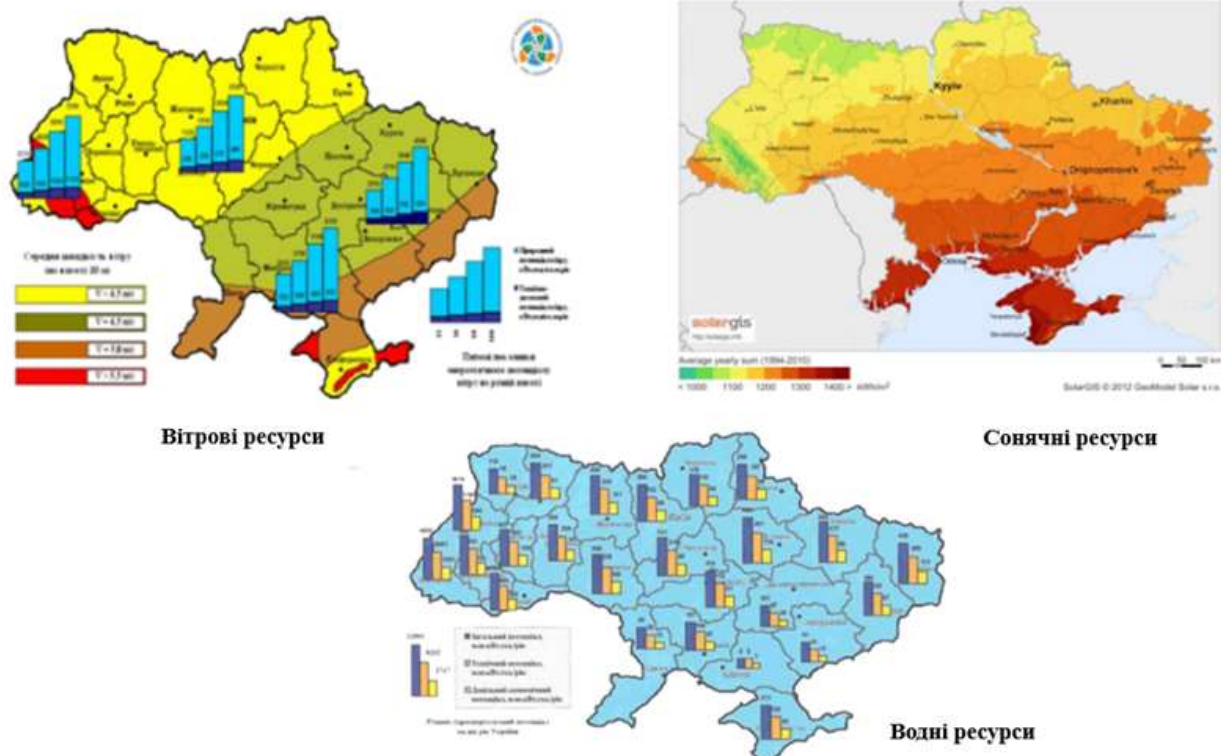


Рисунок 2.1 – Відновлювальні ресурси України [26]



Рисунок 2.2 – Території розвитку тваринницьких господарств в Україні.

Таблиця 2.1 – Усереднені техніко-економічні показники різних типів ВДЕ.

Вид	Витрати, <i>грн/кВт·год</i>	Термін служби	Потужність, <i>МВт</i>
Біогазові установки (органічні відходи, біологічний газ)	1400 – 4500	25 років	0.75 – 8.0
Великі ГЕС	900 – 950	50 років	20 – 250
Малі ГЕС	1000 – 1100	50 років	0.3 – 9.5
Фотоелектричні пристрої	800 – 1200	25 років	0.005 – 0.05
Вітроенергетична установка	900 – 1200	25 років	0.3 – 9.5
Припливна електростанція	3900 – 4300	25 років	2 – 8
Сонячна електростанція	4500 – 5200	30 років	2 – 30

Як показано в таблиці 2.1, що стосовно БГУ – великі коливання витрати на електроенергію та інвестиції на спалювання відходів $\approx 160 \text{ тис.грн/кВт}$. Інвестиційні затрати для ГЕС також мають великий діапазон коливань – $150 \text{ тис.грн} - 160 \text{ тис.грн}$.

В загальному, для кожного виду ВДЕ використання новітніх технологій дозволяє знизити собівартість $\text{кВт} \cdot \text{год}$, однак, їхні техніко-експлуатаційні характеристики не дозволяють знизити собівартість на встановлення та обслуговування. Крім цього, аналіз вартості $\text{кВт} \cdot \text{год}$ при врахуванні інвестицій показує, що тільки використання ВЕУ, СП, малих-ГЕС та БГУ в майбутньому будуть мати вагому частку в загальній потужності ВДЕ України [25].

Проведемо аналіз технічних характеристик описаних вище видів ВДЕ для здійснення вибору для нашого досліджень забезпечення надійності сільськогосподарського підприємства.

Для СП, де одинична потужність становить від 1.5 до 300 Вт, основні параметри: ККД, (%); потужність (Вт); номінальний струм та струм КЗ (А); номінальна напруга та напруга неробочого ходу, (В) (Таблиця 2.2) [21].

Таблиця 2.2 – Дані за деякими моделями СП.

Модель	$P_{ном}, Вт$	$I_{ном}, А$	$I_{КЗ}, А$	$U_{ном}, В$	$U_{н.х}, В$	Вартість, грн	$\eta, \%$
<i>RZMP – 205 – T</i>	199.0	6.75	6.97	31.2	35.3	4000	14.5
<i>RZMP – 220 – T</i>	213.2	7.25	7.45	31.5	35.6	10200	15.6
<i>RZMP – 240 – T</i>	232.0	7.83	8.05	32.0	36.2	11340	17.2

Для *BEU*, з горизонтальним або вертикальним обертанням, де одинична потужність становить від 0.15 до 50 *Вт*, основні параметри: потужність (*кВт*) ; робоча та номінальна швидкості вітру (*м/с*); вихідна напруга, (*В*), частота обертання ротора, (*об/хв*); діаметр колеса, *м* (Таблиця 2.3) [25].

Таблиця 2.3 – Дані за деякими моделями *BEU*.

Модель	$P_{ном}, Вт$	$g_{ном}, м/с$	$g_{мах}, м/с$	$U_{ном}, В$	$\omega_{ротора}, об/хв$	$D_{ротора}, м$	Вартість, тис./грн
<i>Sokol Air Vertical – 7</i>	7.0	8.1	20.0	96	100	4.0	250
<i>Sokol Air Vertical – 15</i>	15.0	8,6	20.0	240	90	5.0	530
<i>Falcon Euro – 15</i>	15.0	11.2	20.0	240	90	5.0	820
<i>Falcon Euro – 20</i>	20.0	11.2	20.0	240	90	5.0	1180

Для *ГЕС*, з турбіною: пропелерною (*П*), ковшевою (*К*), де одинична потужність становить від 0.5 до 5600 *кВт*, основні параметри: потужність (*кВт*); номінальна напруга, (*В*); витрата (*м³/с*); натиск, (*м*), частота обертання ротора, (*хв⁻¹*); діаметр колеса, *м* (Таблиця 2.4) [12].

Таблиця 2.4 – Дані за деякими моделями *ГЕС*.

Модель	$P_{ном}, кВт$	$U_{ном}, В$	Витрата, $м^3/с$	$\omega_{ротора}, хв^{-1}$	Натиск, <i>м</i>
<i>15 П</i>	5.0	230	0.2	1000	3.5
<i>50 П</i>	7.0	230 380	0.36	600	2.0
<i>20 К</i>	10.0	230	0.08	1500	8.0
<i>20 К</i>	20.0	230	0.17	1500	18.0

Для БГУ, які працюють на біогазі (газопоршневі, газотурбінні), де одинична потужність становить від 15 до 3500 κBm , основні параметри: електрична, теплова потужність (κBm); електричний, тепловий, сумарний ККД, (%); частота обертання ротора, 1500 (об/хв) (Таблиця 2.5)) [24].

Таблиця 2.5 – Дані за деякими моделями БГУ.

Модель	$P_{ел.}, \kappa Bm$	$P_{тепл.}, \kappa Bm$	$\eta_{\Sigma}, \%$	$\eta_{ел.}, \%$	$\eta_{тепл.}, \%$
Cento T120 KON	126	164	86.1	36.9	49.2
Cento T160	165	216	87.3	37.8	49.5
Cento T180 KON	180	210	71.5	39.1	45.3
Cento T200	200	240	87.3	39.2	48.1
Cento T200 KON	200	235	84.4	39.2	45.2

Для УТЕ (установки з твердо-оксидних паливних елементів), де одинична потужність становить від 0.3 до 3000 κBm , основні параметри: електрична, теплова потужність (κBm); вихідна напруга, (480 В); витрата палива (m^3/c); електричний, тепловий ККД, (%); викиди екологічно небезпечних речовин в атмосферу, ($г/MBm$); маса, ($\kappa г$) (Таблиця 2.6)) [41].

Таблиця 2.6 – Дані за деякими моделями УТЕ

Модель	$P_{ел.}, Bm$	Викиди в атмосферу, $г/MBm \cdot год$			$m, \kappa г$	$\eta, \%$
		NO_x	SO_x	$CO_2 \cdot 10^3$		
Siemens CHP-100	110	0.05	—	340	32600	46
ES-5700	200	0.03	—	350	10000	56
C-15	1400	4.5	0.05	445	48500	47
C-30	2800	4.5	0.05	445	—	47

Приймаємо для встановлення в якості альтернативного джерела живлення критично важливих відділень (цехів) агропромислового комплексу БГУ, тому що, установки цього виду здатні забезпечити резервовану потужність. Проведемо аналіз видів біопалива та установки.

2.2 Аналіз видів біопалива

Необхідність нових джерел сировини для створення *ВДЕ*, що визвано вичерпування вуглеводнів при забрудненні навколишнього середовища, призвело для використання біологічних поновлюваних ресурсів та появи нової галузі – біоенергетики. Слід відмітити, що використання вуглеводнів призводить до зростання техногенного вуглекислого газу в повітрі та, відповідно, парникового ефекту.

Тому, створення видів біопалива в якості відновлювальних і екологічно безпечних носіїв енергії на заміну традиційним джерелам енергії – основний напрямок розв'язку вищезначених проблем, що дозволить знизити викиди в атмосферу (85–90 % шкідливих хімічних сполук; до 70 % емісії вуглекислого газу) [24].

Біомаса, як джерело *БГУ* хоч і використовує різного виду біологічні відходи, забезпечує не більше 10 % отриманої енергії від загального необхідного об'єму, що пояснюється малою ефективністю біомаси в традиційному вигляді та, відповідно, зростанням значення відновлювальних джерел, які забезпечують до 9 % генерованої потужності від світового енергоспоживання. Одним із видів такої енергії є біопаливо отримане переробкою тваринної, рослинної, мікробної біомаси та біологічних відходів з використанням високих технологій, що базуються на біологічних та хімічних методах. Хоча, описане біопаливо забезпечує на сьогодні не більше 1 % необхідної потреби, ряд експертів стверджують про зростання частки в найближчі роки.

Натомість, на сьогодні, в якості біопалива використовуються газоподібні та тверді види біопалива. В якості твердого біопалива часто виступають відходи деревопереробних підприємств із створення пелетів (гранул), що являють собою спресовані елементи деревини, рослинних відходів, торфу або відходи

сільськогосподарських підприємств рослинного походження (злакові культури). Основа виготовлення: сушіння, перемелювання, пресування вихідної сировини з наступним повторним осушенням після охолодження. В порівнянні з іншими видами твердопаливних структур, пелети володіють високою віддачою тепла, малому відсотку самозаймання та компактністю. Крім означених позитивних моментів, пелети є екологічно чистим паливом, кількість вуглекислоти виділеної в атмосферу при спалюванні рівна кількості поглинутої вуглекислоти поглиненої рослинами в період росту, що не порушує цикл вуглекислого газу в природі, при цьому, утворюється не більше 1–3 % золи (від загальної маси). Описаний підхід дозволяє вирішити проблему утилізації відходів означених підприємств. Пелети застосовуються в країнах ЄС в енергетичному обладнанні виробничого та побутового характеру та теплових і електричних станціях [23].

Зростання транспортного сектору в останні десятиліття призвело до використання рідких видів біопалива, як альтернативу вуглеводневим паливам, в якості яких виступають паливні спирти (етанол та його похідні) та біодизель. Слід зазначити, що використання етанолу має ряд недоліків: невисока тепловіддача, 30 % в порівнянні з бензином, розкладанні суміші палива із-за високої здатності поглинання води, та, відповідно, обмеження транспортування та зберігання. Ці недоліки призвели до частішого використання в якості біопалива бутанол, який менше гігроскопічний, має нижчий коефіцієнт випаровування та виділяє до 25 % енергії більше при спалюванні ніж етанол і тому транспортується по трубопроводу й є альтернатива бензину [23].

Переробка біомаси або органічних відходів з використанням мікроорганізмів у анаеробних умовах призвело до отримання газоподібного палива, біогазу, що по суті являється сумішшю метану (40–70 %), домішок сірководню та діоксиду вуглецю. Синтез біогазу мікроорганізмами може відбуватися майже з усіма видами органічних сполук, які містяться промислових, сільськогосподарських або побутових відходів, що показує невичерпний ресурс біопаливного елементу.

Органічні відходи при розкладанні виділяють велику кількість метану, підсилюючи парниковий ефект і поглинаючи інфрачервоне випромінювання в великій кількості суттєво негативно впливає на підвищення температури в атмосфері. Тому використання технологій отримання газоподібного біопалива та контроль за мікроорганізмами вирішує більшість екологічних проблем (антропогенна емісія метану), які визвано природнім розкладанням біологічних відходів [27].

Також значного поширення набуло використання водню в питанні отримання енергії враховуючи екологічну частоту продукту, де при згоранні отримується тільки вода. Але використання традиційного методу термохімічної переробки «викопного палива» не відповідає прийнятим нормативам екологічної безпеки, тому на практиці використовують технології отримання біологічного водню. Слід відмітити, що значного поширення означені технології не мають по причині високої вартості, небезпеці при транспортуванні та зберіганні.

На досліджуваному підприємстві є найбільш прийнятним варіантом отримання біогазу в зв'язку із великими сировинними ресурсами, які можна отримати практично зі всіх відходів і отримати вихідний продукт на будь-якому генеруючому обладнанні, що працює на газі.

2.2.1 Отримання біогазу

Аналіз показує [26, 27], що мезофільний режим зброджування є найкращим варіантом за температурними режимами $30 - 35^{\circ}\text{C}$, так як вимагається менші витрати тепла в порівнянні з термофільним режимом, який, в свою чергу, має перевагу – вимагає в два рази менший об'єм анаеробних біореакторів. Хоча, слід врахувати, що сучасний розвиток біогазової галузі дозволяє використання бактерій, які прискорюють процеси зброджування, що дозволяє проектувати біореактори з меншим об'ємом. Аналіз проходження процесів при різних режимах зброджування та об'єм виходу біогазу для органічних відходів *ВРХ*

як основного переробного продукту тваринницького комплексу представлено в таблиці 2.7 й графічно на рисунку 2.3.

Таблиця 2.7 – Вихід біогазу органічних відходів *ВРХ*

Доба	Вихід газу, м³/т				
	Мезофільний режим	Термотолерантний режим		Термофільний режим	
1	10	14.0	13.0	17.5	16
2	15	20.0	19.0	26.0	24.0
3	20	28.0	26.0	35.5	32.5
4	25	34.0	32.5	44.0	40.0
5	30	42.0	39.5	54.0	48.0
6	35	49.0	45.5	64.0	57.0
7	40	56.0	52.5	72.0	64.0
8	45	63.0	59.5	81.0	72.0
9	50	70.0	65.0		
10	55	77.0	71.5		
11	60	84.0	78.0		
12	65				
13	70				
14	80				
15	90				

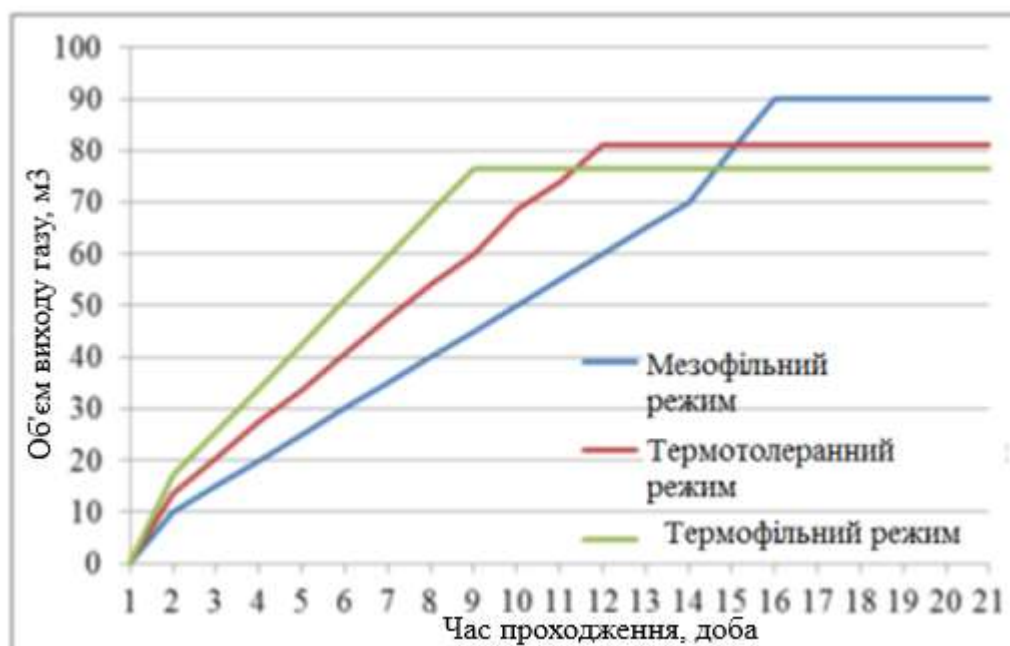


Рисунок 2.3 – Залежність об'єму виходу біогазу від часу проходження за трьома режимами збродження.

Головною умовою при проходженні реакції є забезпечення оптимальних умов середовища, оскільки анаеробні мікроорганізми мають низьку швидкість росту та швидкість проходження реакції, хоча, не дивлячись на умови, час повного проходження описаного біологічного процесу є довгим в порівнянні з іншими процесами. Натомість необхідно відмітити позитивний момент – на кінцевому етапі ми отримуємо відновлювальне джерело енергії (метан, вуглекислий газ) з високим коефіцієнтом тепловіддачі при горінні.

Схему анаеробного оброблення органічних відходів тварин з отриманням біогазу та подальшому перетворенню енергетичні складові (електрична та тепла енергія) показано на рисунку 2.4.

Органічні відходи *ВРХ* і додаткові компоненти після згущення до 95 % попадають в метановий реактор після теплообмінника, де, без доступу кисню, частина органічних відходів розкладається під дією бактерій з утворенням біогазу, який нагромаджується в метантенку. Осад, що утворюється в результаті процесу бродиння, піддається механічному обезводненню та наступній переробці для отримання біологічних добрив.

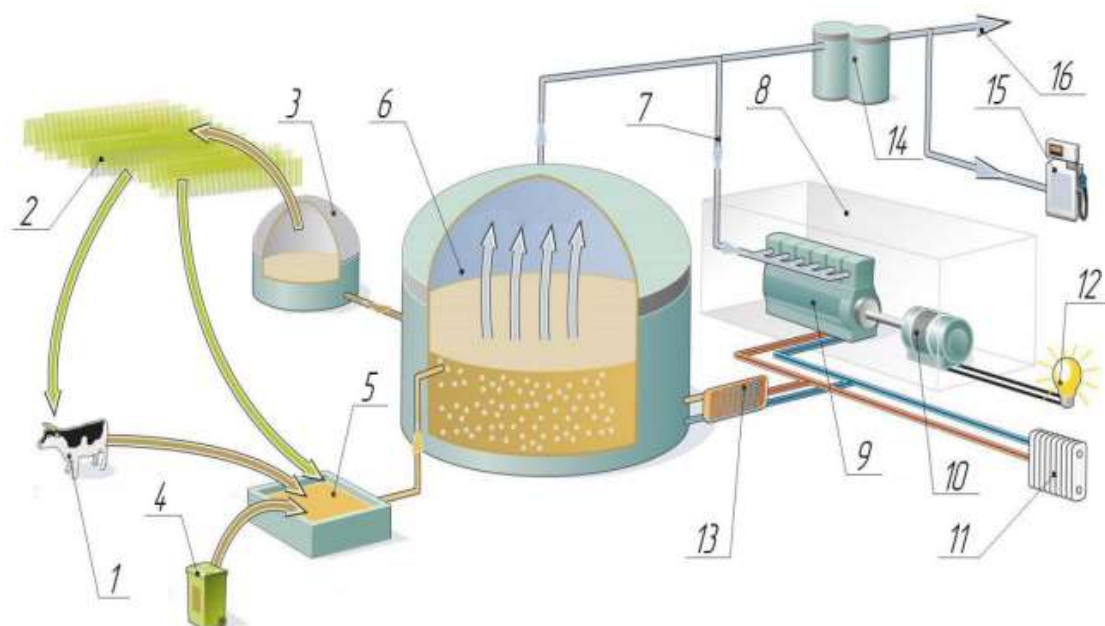


Рисунок 2.4 Схема отримання й утилізації біогазу [28]:

1 – тваринницька галузь, 2 – рослинницька галузь, 3 – дигестат, 4 – харчові відходи, 5 – змішування субстрату, 6 – біогазова установка оснащена газовим резервуаром, 7 – біогазова мережа, 8 – когенераційна установка, 9 – ДВЗ, 10 – електричний генератор, 11 – виробництво теплової енергії, 12 – виробництво електричної енергії, 13 – тепла енергія для внутрішніх потреб установки, 14 – очистка та збагачення біогазу, 15 – заправочна станція, 16 – газова мережа.

За оптимальним конструктивним варіантом біореактори виконуються у вигляді циліндричного резервуара з верхньою частиною у формі купола, містять сталеві панелі з стійким до хімічних впливів і корозії покриттям та можливістю виконувати швидкий монтаж та демонтаж. Пріоритетними особливостями такої конструкції біореактора є використання двох видів купола, де зовнішній купол забезпечує довговічність за рахунок виконання з полімерних матеріалів, які мають стійкість до ультрафіолету та атмосферних опадів, а внутрішній (мембрана), який має безпосередній контакт з біогазом, виконаний з поліетилену низького тиску [28].

Для виконання технологічного процесу при зброджуванні використано низько обертові мішалки з легким перемішуванням осаду та невеликою затратою енергії.

Отриманий біогаз після осушення очищається від домішок сірки, діоксиду вуглецю, води та сірководню для забезпечення надійної роботи електрогенератора при згоранні біогазу.

В якості ємностей для збору, зберігання та транспортування біогазу споживачам на сьогоднішній день все частіше використовуються м'які газгольдини, враховуючи їхню високу стійкість до корозії, які являють собою мішок із стійкими до загорання полімерними матеріалами. На наступному етапі біогаз напряму зі газгольдини подається на когенераційну установку (рис. 2.5), де відбувається спалювання та трансформації в тепло та електрику.

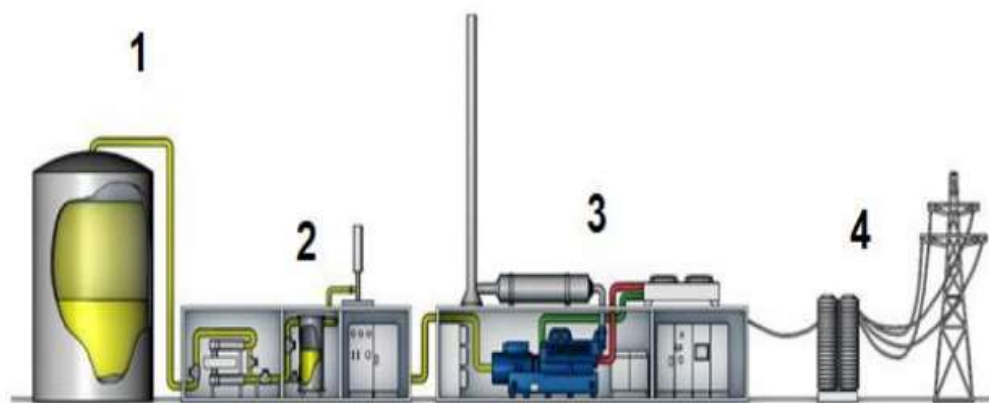


Рисунок 2.5 – Схема когенераційної установки [28]:

1 – біогаз, 2 – очищення біогазу, 3 – когенератор, 4 – електрична мережа.

2.3 Вибір елементів резервної системи електропостачання

На підприємстві *АПК* для вибору резервного джерела живлення електропостачання критично важливих ділянок виходимо з наступного: 7000 голів *ВРХ* ($N_{ВРХ}$) та 4000 голів свиней ($N_{СВН}$).

2.3.1 Розрахунок вихідної сировини

Розрахуємо об'єм щомісячних органічних відходів (о.в.) АПК за місяць:

а) Загальна маса о.в. на АПК становить:

$$M_{\text{АПК}} = N_{\text{ВРХ}} \cdot n_{\text{ВРХ}} + N_{\text{СВН}} \cdot n_{\text{СВН}} = 7000 \cdot 35 + 4000 \cdot 3 = 245000 + 12000 = 257 \text{ т/добу},$$

де $n_{\text{ВРХ}}$ – середня кількість о.в. ВРХ на добу;

$n_{\text{СВН}}$ – середня кількість о.в. свиней на добу.

б) кількість біомаси для роботи БГУ становить: (50 % води від питомої маси о.в.):

$$M_{\text{БГУ}} = M_{\text{АПК}} \cdot 1.5 = 257 \cdot 1.5 = 385,5 \text{ т/добу}.$$

в) визначаємо вихідний об'єм біогазу за добу (вміст метану 60 – 70 % [28]):

$$V_{\text{біомаси}} = M_{\text{АПК}} \cdot 60 = 385,5 \cdot 60 = 23130 \text{ м}^3.$$

Враховуючи властивості о.в. приймаємо $M_{\text{БГУ}} = V_{\text{БГУ}} = 385,5 \text{ м}^3$, а зважаючи на знаходження суспензії 1–2 дня в установці: $V_0 = V_{\text{БГУ}} \cdot 1.5 = 385,5 \cdot 1.5 = 578,25 \text{ м}^3$; плануючи розширення виробництва приймаємо 2 резервуара бродіння з об'ємом $V_{\text{РЗ}} = 500 \text{ м}^3$ кожен.

2.3.2 Розрахунок резервуарів та вихідної потужності

Приймаємо співвідношення висоти резервуару до діаметру: $H_{\text{РЗ}}/d_{\text{РЗ}} = 0,6$.

Обчислюємо діаметр резервуара [28]:

$$d_{\text{РЗ}} = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{\text{РЗ}}}{0,6 \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 500}{0,6 \cdot 3,14}} \approx 10 \text{ м},$$

відповідно, $H_{\text{РЗ}} = 6 \text{ м}$.

У ферментері суспензія перебуває 40 днів, отже об'єм рівний: $V = 40 \cdot 385,5 = 15420 \text{ м}^3$. Отриману суспензію будемо зберігати в двох ферментерах, отже $V_{\text{ФР}} = 7710 \text{ м}^3$.

Приймаємо співвідношення висоти ферментера до діаметру: $H_{P3}/d_{P3} = 0,6$.

Визначаємо діаметр ферментера:

$$d_{\Phi P} = \sqrt{\frac{4 \cdot V_{\Phi P}}{0,3 \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 7710}{0,3 \cdot 3,14}} \approx 28 \text{ м},$$

відповідно, $H_{\Phi P} = 8 \text{ м}$.

Резервуар “наступного бродіння” розраховуємо аналогічно, але кількість зменшиться до одного, так як термін перебування суспензії в резервуарі зменшується наполовину – 26 днів (рис. 2.6).

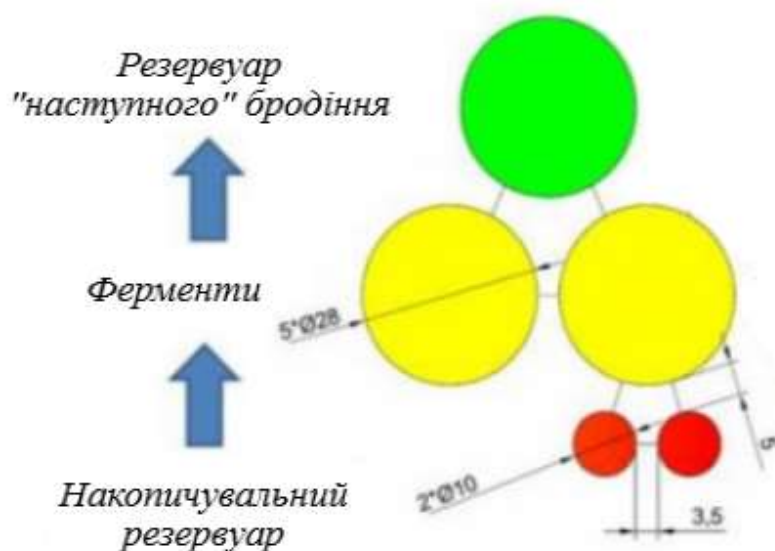


Рисунок 2.6 – Розміщення резервуарів БГУ.

При врахуванні, що з 1 м^3 біогазу ми отримуємо 5 кВт потужності [28], визначаємо добову генерацію: $P_{ГЕН} = 23130 \cdot 5 = 115,65 \text{ МВт}$, тобто система може забезпечити потужність: $P_{БГУ} = 2,4 \text{ МВт}$, так як, потужність критично важливих ділянок становить $1,8 \text{ МВт}$, з врахування власних потреб БГУ: 5 % – модуль бродіння; 2 % – когенераційна установка від вихідної потужності, тобто 168 кВт .

2.3.3 Аналіз та вибір БГУ

Базовим параметром при виборі енергетичної установки є вартість обладнання. Але, основою технологічних процесів на підприємстві АПК є

вимоги до експлуатаційної ефективності. Тому, необхідно проводити пошук оптимального варіанта за комплексним аналізом взаємопов'язаних параметрів [28].

Проводимо пошук оптимального варіанту *БГУ* на основі аналізу двох типів: газоршнева установка (*ГПУ*) та газотурбінна установка (*ГТУ*) за параметром окупності обладнання (рис. 2.7).

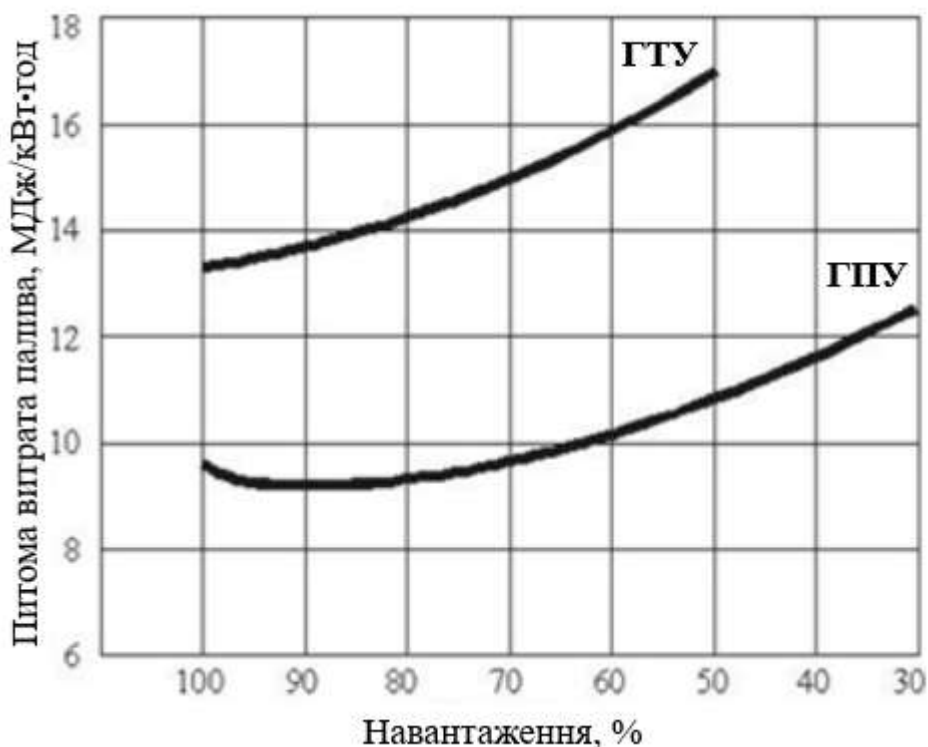


Рисунок 2.7 – Питома витрата палива *ГПУ* та *ГТУ*.

Як видно з графічної залежності (рис. 2.7), питома витрата палива на $1 \text{ кВт} \cdot \text{год}$ для *ГПУ* менша, не залежно від режиму навантаження, по причині вищого *ККД*: *ГПУ* – 36...45 %, а *ГТУ* – 25...34 %.

Щодо експлуатаційних затрат на зведення електростанції, то для *ГПУ* вони є нижчими чим для *ГТУ*, що пояснюється більшими затратами на фінансові та людські ресурси при проведенні ремонтних робіт на електростанціях з газовими турбінами (рис. 2.8). Проведений аналіз порівняння інших характеристики *ГПУ* та *ГТУ* щодо встановлення та експлуатації представлено в табл. 2.8 [29].

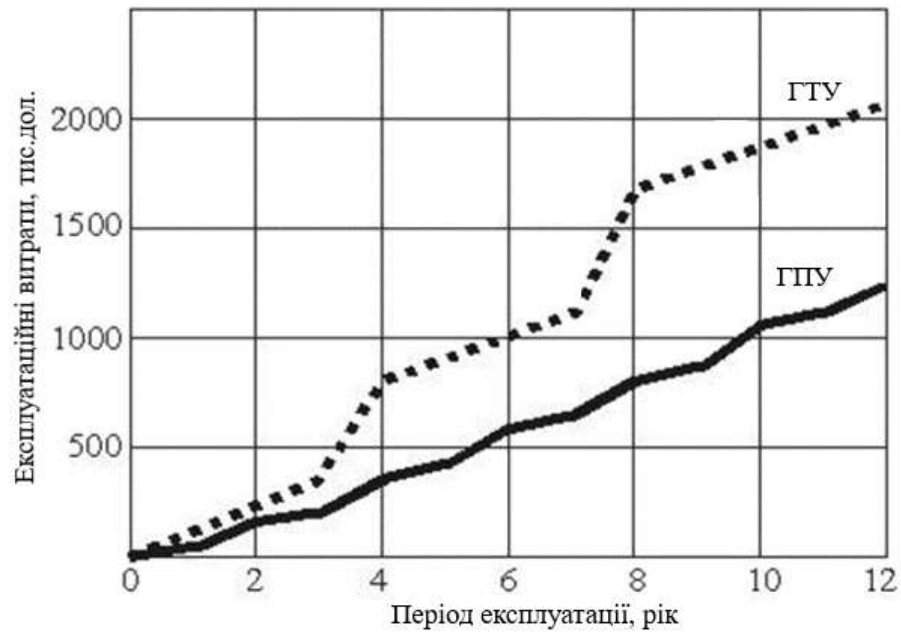


Рисунок 2.8 – Експлуатаційні затрати на електростанцію.

Порівняння показників газопоршневих та газотурбінних установок (табл. 2.8) показує, що для досліджуваного підприємства *АПК* оптимальним варіантом є встановлення *ГПУ*.

Для вибору оптимального варіанта *БГУ* та проведення розрахунку за відомою методикою [25, 26] розглянемо п'ять альтернативних моделей за спільними шістьма параметрами, вихідні дані яких показані в табл. 2.9 [24].

1. Проводимо оцінку параметрів ранжування.

а) Максимальне значення електричного *ККД* :

$$P_{11} = 36.4/38.2 = 0.95; \quad P_{12} = 35.3/38.2 = 0.93; \quad P_{13} = 28.7/38.2 = 0.75;$$

$$P_{14} = 38.2/38.2 = 1.00; \quad P_{15} = 36.0/38.2 = 0.94.$$

б) Максимальне значення сумарного *ККД* :

$$P_{21} = 85.5/93.0 = 0.92; \quad P_{22} = 93.0/93.0 = 1.00; \quad P_{23} = 89.5/93.0 = 0.96;$$

$$P_{24} = 88.2/93.0 = 0.95; \quad P_{25} = 80.0/93.0 = 0.86.$$

в) Максимальне значення коефіцієнта потужності:

$$P_{31} = 1.0/1.0 = 1.0; \quad P_{32} = 0.8/1.0 = 0.8; \quad P_{33} = 1.0/1.0 = 1.0;$$

$$P_{34} = 1.0/1.0 = 1.0; \quad P_{35} = 1.0/1.0 = 1.0.$$

Таблиця 2.8 – Порівняння показників ГТУ та ГПУ

Параметри	ГПУ	ГТУ
Довговічність	без обмеження	
Ремонтпридатність	проводиться на місці, вимагає мало часу	проводиться на спеціалізованих заводах
Збереженість	не втрачає властивостей, дозволено транспортування	не втрачає властивостей, транспортування не бажане
Економічність	ККД практично не змінюється при падінні навантаження на 50 % потужності	ККД знижується при невеликих змінах навантаження
Питома витрата палива : – навантаження 100 % – навантаження 50 %	9,3...11,6 МДж/кВт·год 0,264...0,329 м ³ /кВт·год	13,2...17,6 МДж/кВт·год 0,375...0,503 м ³ /кВт·год
При накиді навантаження 50%: – спад напруги – час відновлення	22 % 8 с	40 % 38 с

Таблиця 2.9 – Параметри БГУ поршневого типу за моделями

Параметри	Модель				
	TEDOM "QUANTO"	ETW "EG"	2000GF – T	MWM "TCG"	АГП
Електричний ККД %	36.3	35.3	28.7	38.2	36.0
Сумарний ККД %	85.5	93.0	89.4	88.2	80.0
Коефіцієнт потужності, у.о.	1	0.8	1.0	1.0	1.0
$P_{\text{теп}}/P_{\text{ел}}$, у.о.	1.34	1.39	1.49	1.3	0.8
Ресурс до капремонту, тис.год	54	39	60	60	16
Емісія парникових газів CO ₂ , т/год	7710	4850	9170	7160	5650

г) Мінімальне значення $P_{\text{теп}}/P_{\text{ел}}$:

$$P_{41} = 0.8/1.34 = 0.59; \quad P_{42} = 0.8/1.39 = 0.57; \quad P_{43} = 0.8/1.49 = 0.53;$$

$$P_{44} = 0.8/1.3 = 0.61; \quad P_{45} = 0.8/0.8 = 1.0.$$

д) Максимальне значення ресурсу до капітального ремонту:

$$P_{51} = 54/60 = 0.92; \quad P_{52} = 39/60 = 0.67; \quad P_{53} = 60/60 = 1.0;$$

$$P_{54} = 60/60 = 1.0; \quad P_{55} = 16/60 = 0.25.$$

е) Мінімальне значення емісії парникових газів:

$$P_{61} = 4850/7710 = 0.63; \quad P_{62} = 4850/4850 = 1.0; \quad P_{63} = 4850/9170 = 0.53;$$

$$P_{64} = 4850/7160 = 0.68; \quad P_{65} = 4850/5660 = 0.86.$$

Розрахункові значення оцінок за параметрами зводимо в табл. 2.10 та на рис. 2.9.

Таблиця 2.10 – Оцінки БГУ

Параметри	Модель				
	TEDOM "QUANTO"	ETW "EG"	2000GF – T	MWM "TCG"	АГП
Електричний ККД %	0.95	0.93	0.75	1.0	0.94
Сумарний ККД %	0.92	1.0	0.96	0.95	0.86
Коефіцієнт потужності, у.о.	1.0	0.8	1.0	1.0	1.0
$P_{\text{теп}}/P_{\text{ел}}$, у.о.	0.59	0.57	0.53	0.61	1.00
Ресурс до капремонту, тис.год	0.92	0.67	1.0	1.0	0.25
Емісія парникових газів CO_2 , т/год	0.63	1.0	0.53	0.68	0.86

2. Визначаємо середні приведені оцінки:

$$P_1 = (0.95 + 0.93 + 0.75 + 1.0 + 0.94) / 5 = 0.92;$$

$$P_2 = (0.92 + 1.0 + 0.96 + 0.95 + 0.86) / 5 = 0.94;$$

$$P_3 = (1.0 + 0.8 + 1.0 + 1.0 + 1.0) / 5 = 0.96;$$

$$P_4 = (0.59 + 0.57 + 0.53 + 0.61 + 1.0) / 5 = 0.66;$$

$$P_5 = (0.92 + 0.67 + 1.0 + 1.0 + 0.25) / 5 = 0.77;$$

$$P_6 = (0.63 + 1.0 + 0.53 + 0.68 + 0.86) / 5 = 0.74.$$

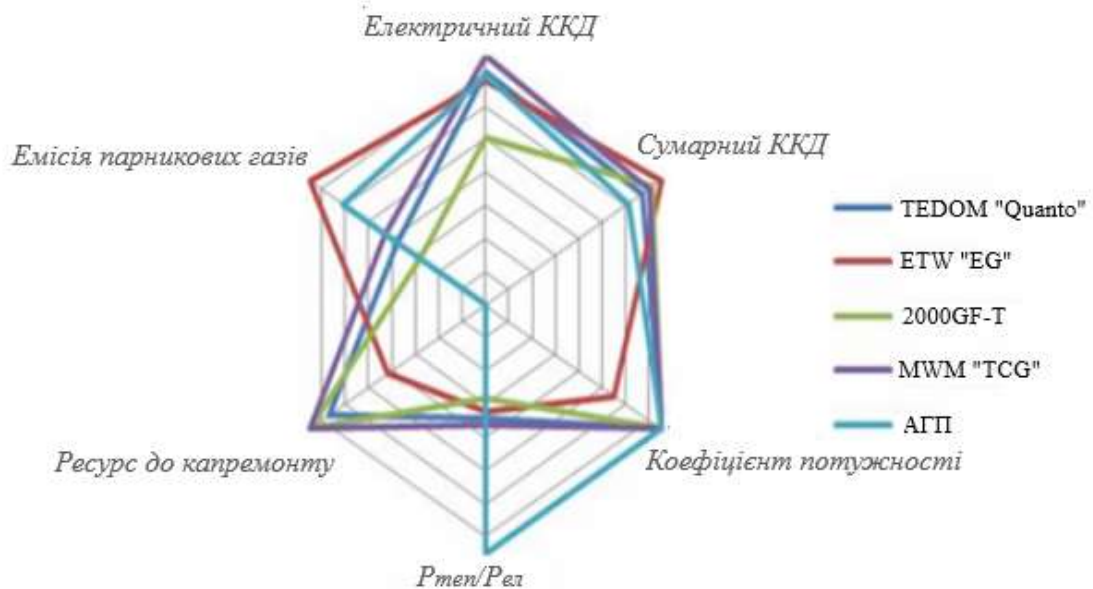


Рисунок 2.9 – Оцінка параметрів моделей БГУ.

3. Визначаємо розкид приведених оцінок.

$$r_1 = (|0.95 - 0.92| + |0.93 - 0.92| + |0.75 - 0.92| + |1.0 - 0.92| + |0.94 - 0.92|) / (5 \cdot 0.92) = 0.07;$$

$$r_2 = (|0.92 - 0.94| + |1.0 - 0.94| + |0.96 - 0.94| + |0.95 - 0.94| + |0.86 - 0.94|) / (5 \cdot 0.94) = 0.04;$$

$$r_3 = (|1.0 - 0.96| + |0.8 - 0.96| + |1.0 - 0.96| + |1.00 - 0.96| + |1.0 - 0.96|) / (5 \cdot 0.96) = 0.07;$$

$$r_4 = (|0.59 - 0.66| + |0.57 - 0.66| + |0.53 - 0.66| + |0.61 - 0.66| + |1.0 - 0.66|) / (5 \cdot 0.66) = 0.2;$$

$$r_5 = (|0.92 - 0.77| + |0.67 - 0.77| + |1.0 - 0.77| + |1.0 - 0.77| + |0.25 - 0.77|) / (5 \cdot 0.77) = 0.32;$$

$$r_6 = (|0.63 - 0.74| + |1.0 - 0.74| + |0.53 - 0.74| + |0.68 - 0.74| + |0.86 - 0.74|) / (5 \cdot 0.74) = 0.21.$$

Сума значень розкиду становить:

$$r = 0.07 + 0.04 + 0.07 + 0.2 + 0.32 + 0.21 = 0.91.$$

4. Коефіцієнти цінності параметрів за порівнюваними моделями будуть:

$$k_{11} = 0.07/0.91 = 0.08; \quad k_{21} = 0.04/0.91 = 0.05; \quad k_{31} = 0.07/0.91 = 0.07;$$

$$k_{41} = 0.2/0.91 = 0.22; \quad k_{51} = 0.32/0.91 = 0.35\%; \quad k_{61} = 0.21/0.91 = 0.23.$$

5. Оцінка енергетичної установки становить:

$$K_1 = 0.08 \cdot 0.95 + 0.04 \cdot 0.92 + 0.07 \cdot 1.00 + 0.22 \cdot 0.59 + 0.35 \cdot 0.92 + 0.23 \cdot 0.63 = 0.79;$$

$$K_2 = 0.08 \cdot 0.93 + 0.04 \cdot 1.00 + 0.07 \cdot 0.80 + 0.22 \cdot 0.57 + 0.35 \cdot 0.67 + 0.23 \cdot 1.0 = 0.77;$$

$$K_3 = 0.08 \cdot 0.75 + 0.04 \cdot 0.96 + 0.07 \cdot 1.0 + 0.22 \cdot 0.53 + 0.35 \cdot 1.0 + 0.23 \cdot 0.53 = 0.77;$$

$$K_4 = 0.08 \cdot 1.00 + 0.04 \cdot 0.95 + 0.07 \cdot 1.00 + 0.22 \cdot 0.61 + 0.35 \cdot 1.00 + 0.23 \cdot 0.68 = 0.84;$$

$$K_5 = 0.08 \cdot 0.94 + 0.04 \cdot 0.86 + 0.07 \cdot 1.00 + 0.22 \cdot 1.00 + 0.35 \cdot 0.25 + 0.23 \cdot 0.86 = 0.69.$$

Результати розрахунку вибору *БГУ* представлено на рис. 2.10.

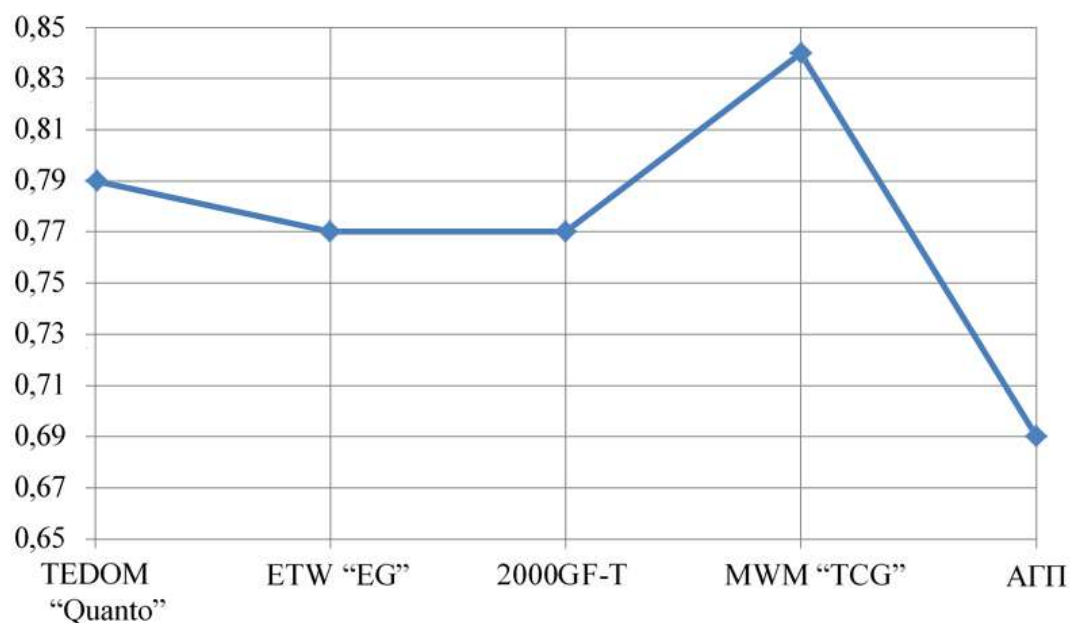


Рисунок 2.10 – Результати оцінки вибору *БГУ*.

Як видно з графіку оцінки моделей *БГУ* поршневого типу за параметрами порівняння в комплексі показує, що оптимальним варіантом для досліджуваного підприємства *АПК* є енергоустановка *MWM "TCG"* [29].

Потужність газо поршневої *БГУ* з врахуванням значення електричного *ККД* (38.2 %, таблиця 2.9) становить:

$$P_{БГУ} = \frac{P_{нав.}}{ККД_{ел.}} = \frac{1.8}{0.382} = 4.712 \text{ МВт}.$$

Вибираємо *БГУ* з двигуном V16 з модельного ряду компанії *TCG* на потужність 5 МВт. Вибрана в якості резервного джерела для електропостачання критично важливих відділень підприємства *АПК* енергетична установка – двигун внутрішнього згорання поршневого типу, використовує в якості палива, по при біогаз, природний газ, перетворює енергію згорання палива на механічну роботу, працює за “циклом Отто” з утворення теплової та електричної енергії.

2.4 Висновки до другого розділу

На основі досліджень впливу різних типів *ВДЕ*, ґрунтуючись на роді діяльності підприємства, вибрано тип палива – біогаз.

На основі аналізу різних варіантів *БГУ* визначено оптимальну модель енергетичної установки за сукупністю експлуатаційно-технологічних параметрів.

Задаючи п'ять альтернативних моделей установок за спільними шістьма параметрами проведені оцінки моделей *БГУ* поршневого типу показали, що оптимальним варіантом для досліджуваного підприємства *АПК* є енергоустановка з модельного ряду компанії *TCG* з двигуном *V16* на потужність *5 MBm*.

3 РОЗРАХУНКОВО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

3.1 Оцінка надійності системи електропостачання підприємства АПК

Надійність системи електропостачання в першу чергу характеризується можливістю безперебійно отримувати електричну енергію. Серед підприємств *АПК* особливе значення стосовно припинення електропостачання (планові, аварійні) мають тваринницькі ферми та птахофабрики, де, будь-які відімкнення, призводять до великих втрат господарства й енергосистемі загалом. Тому, при забезпеченні надійності електропостачання сільськогосподарських об'єктів необхідно застосовувати ефективні комплексні міри.

Для оцінки надійності проведемо опис системи електропостачання підприємства при під'єднанні резервного джерела *БГУ* забезпечення потужності $P_{нав.} = 1800 \text{ кВт}$ для критичних споживачів.

Основні споживачі підприємства *АПК* відносяться до II та III категорій за надійністю [3]. Тому, на *ГПП* для забезпечення необхідної надійності встановлена двох трансформаторна підстанція розподілення напруги 110/10 кВ із двосторонніми потоками енергії та застосуванням схеми шинного моста з вимикачами в колах трансформаторів та ремонтною перемичкою з їхнього боку (рис.3.1), яка дозволяє у випадку виходу з ладу *РП* на стороні *ВН* забезпечувати транзит енергії.

На стороні 110 кВ електропостачання здійснюється проводом *АС*. Розподільна мережа понад 1000 В на підприємстві виконана кабельними високовольтними лініями із зшитого поліетилену та прокладеними в траншеях.

При інтегруванні *БГУ* для електропостачання розподільних трансформаторів 10/0.4 кВ, які будуть живитися від установки (інші споживачі від зовнішньої мережі) необхідно встановити додатковий *РП*, із робочим струмом [3]:

$$I_p = \frac{S_{наб}}{n \cdot \sqrt{3} \cdot U_{ном}} = \frac{1800 \cdot 10^3}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 10 \cdot 10^3} = 51,9 \text{ А}, \quad I_{ав} = 103,8 \text{ А}.$$

Вибираємо однополосну прямокутну мідну шину розміром $10 \times 3 \text{ см}$.

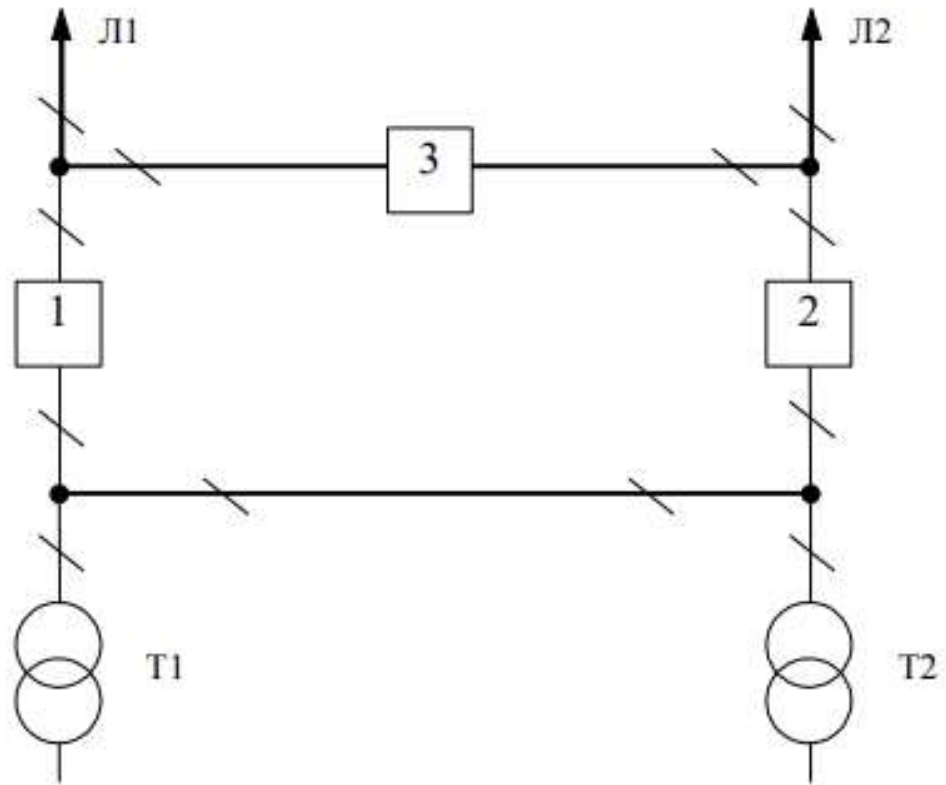


Рисунок 3.1 – Структурна схема ГПП підприємства АПК.

В якості цехових трансформаторів необхідно використовувати трансформатори потужністю 630 кВА за питомою густиною навантаження [3]:

$$\sigma = \frac{S_p}{F_u} = \frac{1800}{16363} = 0,11 \text{ кВА/м}^2,$$

е S_p – потужність цехів (відділень) під'єднаних до БГУ;

F_u – сумарна площа цехів (відділень) під'єднаних до БГУ.

3.1.1 Розрахунок показників надійності без резервного джерела

Для оцінки надійності представимо існуючу схему електропостачання сільськогосподарського підприємства за заступною схемою на ланці 10 / 0.4 кВ (рис.3.2) а вихідні дані для аналізу в табл.3.1.

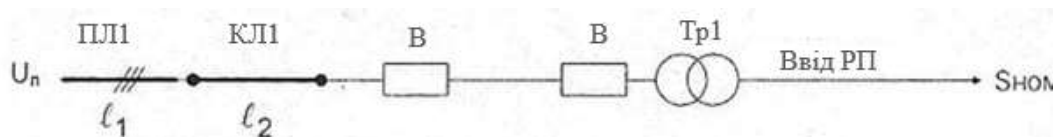


Рисунок 3.2 – Схема електропостачання підприємства АПК.

Таблиця 3.1 – Вихідні параметри за схемою (рис.3.1)

№ з/п	Параметр	Значення
1.	Напруга мережі електропостачання, кВ	10
2.	Напруга НН трансформатора, кВ	0.4
3.	Довжина повітряної лінії (ПЛ1), км	25
4.	Довжина кабельної лінії (КЛ1), км	3

У відповідності до елемента електричної мережі за довідковими даними [30], задаємо значення частоти відмов λ_n . Розрахункову частоту відмов отримаємо за формулою:

$$\lambda_{роз} = \lambda_n \cdot \ell, \quad (3.1)$$

де ℓ – довжина ПЛ та КЛ, км.

Усереднений час роботи без відмови, (рік):

$$T = 1/\lambda_{роз} \quad (3.2)$$

Отримані показники надійності зводимо в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Показники надійності відокремлених елементів схеми

Елемент	Позначення	Частота відмов, λ_n	Частота відмов, $\lambda_{роз}$	Усереднений час роботи без відмови, T
ПЛ 10кВ дволанцюгова	2Л	0.008	0.20	5.0
КЛ 10кВ	Л	0.05	0.12	8.33
Трансформатор	Т	0.03	0.03	33.3
Вимикач 10 кВ	Q1, Q2	0.02	0.02	100
Вимикач 0.4 кВ	QS	0,01	0.01	100

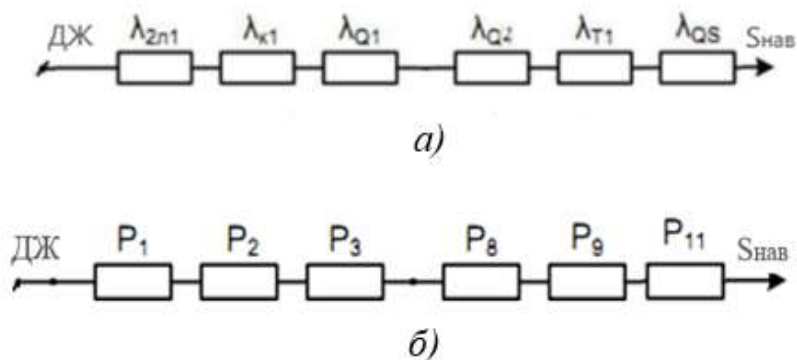


Рисунок 3.3 – Схема заміщення:

а) за надійністю; б) за ймовірністю на відмову.

Розрахунок ймовірності надійної роботи системи без відмов здійснюємо на основі розробленої схеми заміщення (рис. 3.3, б), для кожного елемента P_i системи за формулою [31]:

$$P_i = e^{-\lambda_i \cdot t}. \quad (3.3)$$

У відповідності з даними таблиці 3.2 отримаємо:

$$P_1 = e^{-\lambda_1 \cdot t} = e^{-2,0 \cdot 4,56} = 0.44; \quad P_2 = e^{-\lambda_2 \cdot t} = e^{-0,12 \cdot 4,56} = 0.62;$$

$$P_3 = P_8 = e^{-\lambda_3 \cdot t} = e^{-0,02 \cdot 4,56} = 0.91; \quad P_9 = e^{-\lambda_8 \cdot t} = e^{-0,03 \cdot 4,56} = 0.87;$$

$$P_{11} = e^{-\lambda_{11} \cdot t} = e^{-0,05 \cdot 4,56} = 0.74.$$

Ймовірність надійної роботи системи без відмов системи в цілому, визначаємо як добуток ймовірностей усіх елементів:

$$P_{сист} = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot P_8 \cdot P_9 \cdot P_{11} = 0.44 \cdot 0.62 \cdot 0.91 \cdot 0.91 \cdot 0.87 \cdot 0.74 = 0.145.$$

3.1.2 Розрахунок показників надійності з резервним джерелом (БГУ)

Здійснено оцінку надійності за запропонованою схемою електропостачання з резервним джерелом за заступною схемою на ланці 10 / 0.4 кВ (рис.3.4) а вихідні дані для аналізу в табл.3.3 [31].

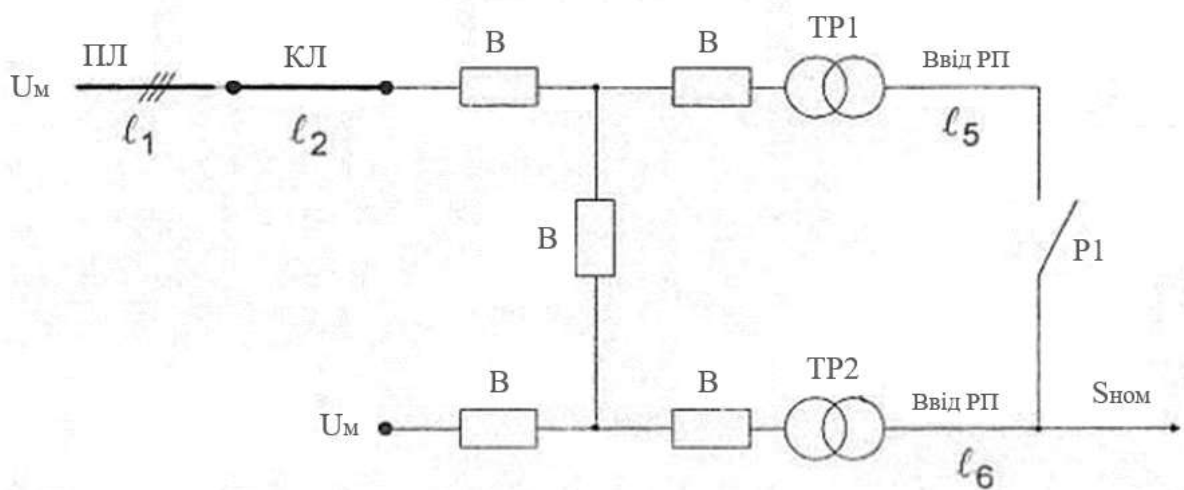


Рисунок 3.4 – Пропонована схема електропостачання підприємства з резервним джерелом.

Таблиця 3.3 – Вихідні параметри за схемою (рис.3.4)

№ з/п	Параметр	Значення
1.	Напруга мережі електропостачання, кВ	10
2.	Напруга НН трансформатора, кВ	0.4
3.	Довжина повітряної лінії (ПЛ1), км	25
4.	Довжина кабельної лінії (КЛ1), км	3

Розрахункові схему за параметрами надійності представлено на рис. 3.5.

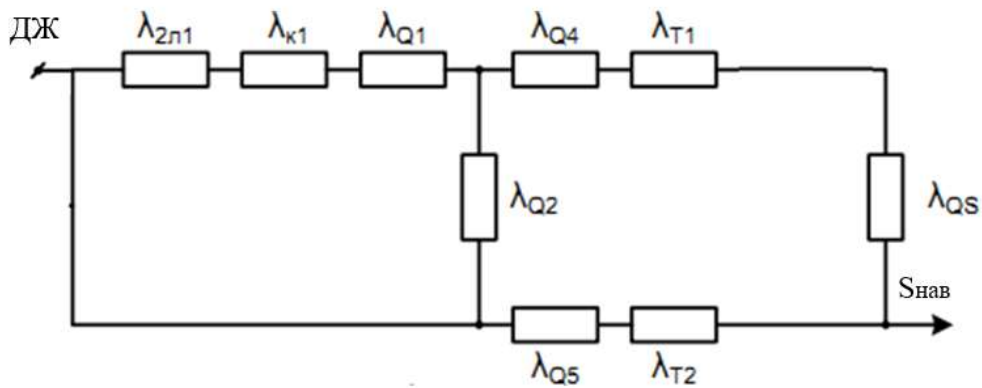


Рисунок 3.5 – Схема заміщення за надійністю.

Для побудови схеми визначення ймовірності надійної роботи системи без відмов мережі використовуємо метод навантаженого дублювання, як частковий випадок з кратністю $m = 1$, де одній навантаженій основній ланці відповідає одна резервна навантажена ланка.

Схема заміщення за методом навантаженого дублювання представлено на рис. 3.6.

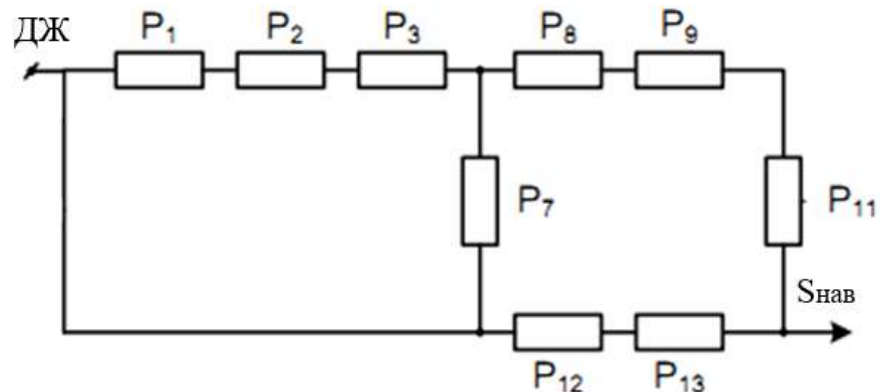


Рисунок 3.6 – Схема заміщення.

Проведемо розрахунок ймовірності надійної роботи системи без відмов кожного елемента схеми [31]:

$$P_1 = e^{-\lambda_1 \cdot t} = e^{-2,0 \cdot 4,56} = 0.44; \quad P_2 = e^{-\lambda_2 \cdot t} = e^{-0,12 \cdot 4,56} = 0.62;$$

$$P_3 = P_8 = e^{-\lambda_3 \cdot t} = e^{-0,02 \cdot 4,56} = 0.91; \quad P_9 = e^{-\lambda_8 \cdot t} = e^{-0,03 \cdot 4,56} = 0.87;$$

$$P_{11} = e^{-\lambda_{11} \cdot t} = e^{-0,05 \cdot 4,56} = 0.74.$$

Визначаємо ймовірність надійної роботи без відмов ланки P_{1-3} :

$$P_{1-3} = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 = 0.44 \cdot 0.62 \cdot 0.91 = 0.248.$$

Ймовірність надійної роботи без відмов ланки P_{8-11} становить:

$$P_{8-11} = P_8 \cdot P_9 \cdot P_{11} = 0.91 \cdot 0.87 \cdot 0.62 = 0.49.$$

Визначаємо ймовірність надійної роботи без відмов ланки P_{12-13} :

$$P_{12-13} = P_{12} \cdot P_{13} = 0.91 \cdot 0.87 = 0.791.$$

Здійсимо перетворення ланок P_{8-11} , P_{12-13} , P_7 зі з'єднання “трикутник” у з'єднання “зірка” (рис. 3.7).

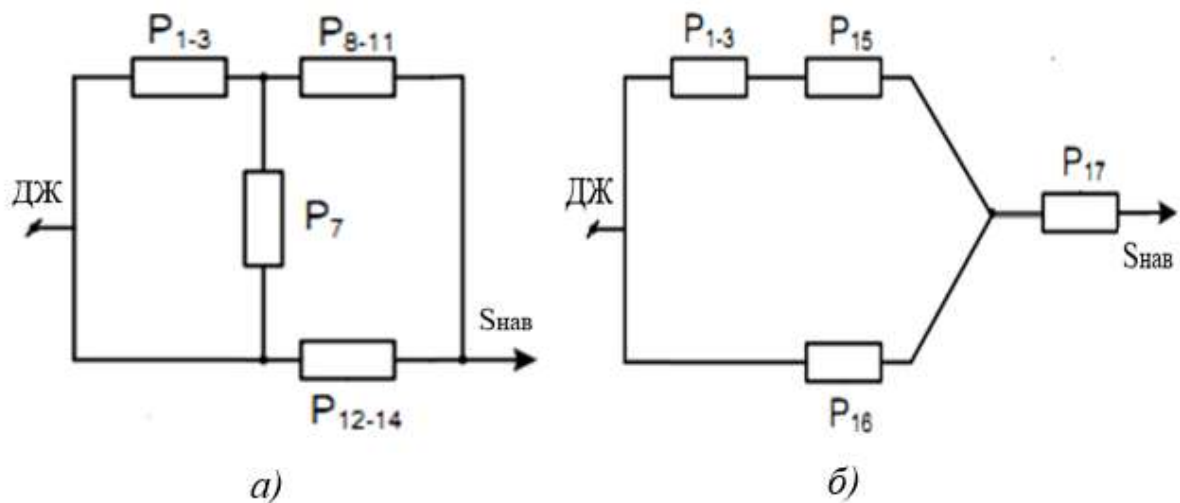


Рисунок 3.7 – Схема перетворення:

а) проміжна схема; б) перетворення “зірка”.

Визначаємо ймовірність надійної роботи без відмов ланки P_{15} :

$$P_{15} = 1 - (1 - P_{8-11}) \cdot (1 - P_7) = 1 - (1 - 0.49) \cdot (1 - 0.91) = 0.954.$$

Визначаємо ймовірність надійної роботи без відмов ланки P_{16} :

$$P_{16} = 1 - (1 - P_{12-13}) \cdot (1 - P_7) = 1 - (1 - 0.791) \cdot (1 - 0.91) = 0.981.$$

Визначаємо ймовірність надійної роботи без відмов ланки P_{17} :

$$P_{17} = 1 - (1 - P_{8-11}) \cdot (1 - P_{12-13}) = 1 - (1 - 0.49) \cdot (1 - 0.791) = 0.893.$$

Визначаємо ймовірність надійної роботи без відмов підсистеми P_{1-15} :

$$P_{1-15} = P_{1-3} \cdot P_{15} = 0.248 \cdot 0.954.$$

Визначаємо ймовірність надійної роботи без відмов підсистеми P_{1-16} :

$$P_{1-16} = 1 - (1 - P_{1-15}) \cdot (1 - P_{16}) = 1 - (1 - 0.236) \cdot (1 - 0.981) = 0.985.$$

Визначаємо ймовірність надійної роботи без відмов системи $P_{сист}$:

$$P_{сист} = P_{1-16} \cdot P_{17} = 0.985 \cdot 0.893 = 0.879.$$

3.1.3 Аналіз результатів дослідження

Проведений аналіз підприємства *АПК* як технічного об'єкта, щодо забезпечення надійності на всіх стадіях, від розробки проектних рішень до введення в експлуатацію, показав необхідність застосування необхідних мір. Наприклад, використання резервного (автономного) джерела живлення.

В даний час, у відповідності до розрахунків, ймовірність надійної роботи без відмов електропостачання підприємства складає: $P_{сист} = 0.415$. Після встановлення *БГУ* можливо покращення надійності до: $P_{сист} = 0.87$. Іншими словами, ймовірність відмови енергетичної системи без резервного джерела – $Q_{сист} = 0.585$. А при встановленні – $Q_{сист} = 0.13$ (рис. 3.8).

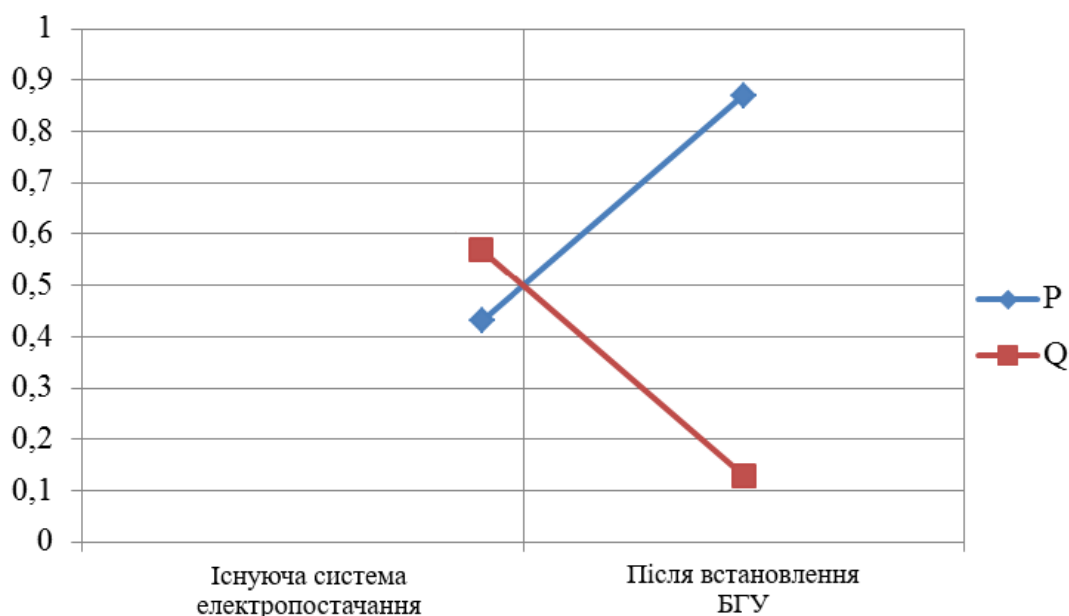


Рисунок 3.8 – Оцінка зміни показників надійності підприємства *АПК* при встановленні *БГУ*.

3.3 Висновки до третього розділу

Розраховано показники надійності електропостачання підприємства при одному джерелі живлення та при інтеграції резервного джерела на основі *БГУ*, де, розрахунок ймовірності надійної роботи системи без відмов для двох незалежних джерел виконаний способом навантаженого дублювання.

Дослідження показали, що при інтегруванні *БГУ* отримано підвищення надійності електропостачання на 48 % та, відповідно, зменшення річного часу аварійних відключень електроенергії на підприємстві й недовипуск електроенергії.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Організація безпечної експлуатації електроустановок сільськогосподарського підприємства

Діючими називають електроустановки, що знаходяться під напругою, або на яких напруги немає, але вона може бути подана шляхом ввімкнення вимикача, роз'єднувача, роз'єднувача та іншої комутаційного обладнання [31].

На діючих електроустановках здійснюються:

– оперативне обслуговування, у тому числі:

а) періодичні огляди електроустаткування, прибирання приміщень, дрібний ремонт у порядку поточної експлуатації й інших робіт, що не вимагають зняття напруги;

б) оперативні перемикання в зв'язку зі зміною схеми режиму роботи електроустановки;

– ремонтні роботи, у тому числі:

а) періодичні ремонти та випробування електроустаткування, що вимагають зняття напруги з всієї електроустановки або з її частини;

б) аварійні ремонти;

в) монтаж або демонтаж електроустаткування.

Робота на електроустановках небезпечна внаслідок того, що людина може бути уражена електричним струмом. Основою безпечної роботи є:

– висока технічна грамотність обслуговуючого персоналу, дисципліна та неухильне виконання *ПТЕ* та *ПТБ*.

За ступенем небезпеки та необхідних заходів захисту, роботи на електроустановках напругою вище 1 кВ поділяють на наступні групи [31]:

I група. Робота без зняття напруги, яка виконується на відстані від струмопровідних частин.

Відключення устаткування не потрібно. Виключено випадкові наближення на дотик до струмоведучих частин, що знаходиться під напругою, тобто імовірність ураження струмом.

II група. Робота без зняття напруги, яка виконується поблизу та на струмопровідних частинах, що знаходяться під напругою. Перед роботою необхідно виконати технічні й організаційні міри захисту, що забезпечують безпеку робітників. Робота на струмопровідних частинах виконується за допомогою ізолюючих засобів.

III група. Робота з частковим зняттям напруги. Напруга знята тільки з тих приєднань, на яких ведеться робота, або вона знято цілком із електроустановки, але відкритий доступ у сусіднє приміщення, де струмопровідні частини знаходяться під напругою.

IV група. Робота з повним зняттям напруги. З всіх елементів електроустановки напруга вище 1 кВ знята. Доступ у сусідні приміщення, де присутнє обладнання, що знаходиться під напругою вище 1 кВ, закритий.

При провадженні робіт на електроустановках виконуються технічні й організаційні запобіжні заходи для того, щоб виключити випадкову подачу напруги до місця роботи та випадкове наближення або дотик до струмопровідних частин, що залишились під напругою [29].

Персонал, що обслуговує електроустановки агропромислового підприємства, називається електротехнічним. Оперативний (черговий) персонал здійснює оперативне обслуговування підстанції, виконує огляди й оперативні переключення електроустаткування, підготовку робочих місць для монтажних і ремонтних робіт та організує допуск до цих робіт.

Ремонтний та персонал налагодження обладнання здійснює поточні, капітальні ремонт. Деяким особам ремонтного і налагоджувального персоналу, що пройшли спеціальне навчання, стажування в змінах і перевірку знань оперативної роботи й схем, можуть бути привласнені права оперативного

персоналу, про що робиться запис у посвідченні. У такому випадку вони відносяться як до ремонтного або налагоджувального, так і до оперативного персоналу [31].

До роботи на електроустановках допускаються тільки ті особи, яким присвоєна відповідна кваліфікаційна група з техніки безпеки. Таких груп п'ять.. Основні вимоги до осіб, що мають кваліфікаційну групу, полягають у наступному [30]:

V група. Необхідно знати схеми й устаткування своєї ділянки, *ПТБ* – загальна та спеціальна частина. Ясно представляти та вміти організувати безпечне виконання роботи. Знати правила першої допомоги та вміти її надати. Навчити персонал правилам техніки безпеки та наданні першої допомоги.

До цієї групи відносяться майстри, техніки, інженери з закінченою фаховою освітою та стажом роботи на електроустановках не менше пів року, а також електромонтери та електрослюсарі з великим стажем і досвідом роботи на електроустановках.

IV група. Необхідно знати електротехнікові за всіма розділами *ПТБ*, знати роботу обладнання для здійснення перемикання та вміти оцінити небезпеку для роботи на електроустановках; знати правила надання першої допомоги та вміти її застосувати; уміти вести нагляд за працівниками бригади, організувати безпечне проведення роботи.

Цю кваліфікаційну групу можуть мати працюючі інженери та техніки, що мають стаж роботи за *III* групою не менш двох місяців, а також оперативний і ремонтний персонал – електромонтери та електрослюсарі зі стажем роботи на електроустановках не менше 1 року.

III група. Вимоги до цієї групи ті ж, що і до *IV групи*, але достатні знання в електротехніці. Стаж роботи потрібно не менше 6 місяців.

II група. Необхідні знання про роботу електричного обладнання під навантаженням. Необхідно знати основні запобіжні заходи та правила надання першої допомоги. До цієї групи відносяться електромонтери зі стажем роботи на електроустановках не менше одного місяця, і практиканти університетів,

технікумів, училищ, а також особи не електротехнічних спеціальностей, що працюють не менше 6 місяців.

I група. Особи, пов'язані з обслуговуванням електроустановок, але не мають електротехнічних знань, представлення про небезпеки дії електричного струму та заходів безпеки при роботах в електроустановках. До цієї групи відноситься персонал, що не проходив перевірку знань *ПТБ*.

4.2 Стійкість роботи промислових підприємств (об'єктів) в умовах надзвичайних ситуацій

Кожен клас надзвичайних ситуацій поділяється на групи, які містять конкретні їх види [32].

Надзвичайні ситуації техногенного характеру – це наслідок транспортних аварій, катастроф, пожеж, неспровокованих вибухів чи їх загроза, аварій з викидом (загрозою викиду) небезпечних хімічних, радіоактивних, біологічних речовин, раптового руйнування споруд та будівель, аварій на інженерних мережах і спорудах життєзабезпечення.

Надзвичайні ситуації природного характеру – це наслідки небезпечних геологічних, метеорологічних, гідрологічних, морських та прісноводних явищ, деградації ґрунтів чи надр, природних пожеж, змін стану повітряного басейну, інфекційних захворювань людей, сільськогосподарських тварин, масового ураження сільськогосподарських рослин хворобами чи шкідниками, зміни стану водних ресурсів та біосфери тощо.

Надзвичайні ситуації воєнного характеру – це ситуації, пов'язані з наслідками застосування зброї масового ураження або звичайних засобів ураження, під час яких виникають вторинні фактори ураження населення внаслідок зруйнування атомних станцій, складів і сховищ радіоактивних та токсичних речовин, нафтопродуктів, вибухівки, сильнодіючих отруйних – речовин токсичних відходів, транспортних та інженерних комунікацій.

З-поміж комплексу заходів щодо захисту населення під час надзвичайних ситуацій важливе місце належить організації своєчасного оповіщення [32]. Це – завдання органів цивільної оборони.

Сирена, переривчасті гудки підприємств і сигнали транспортних засобів означають попереджувальний сигнал «Увага всім!». За цим сигналом потрібно увімкнути радіо, радіотрансляційні і телевізійні приймачі для прослуховування термінових повідомлень.

У мирний час передається інформація про аварії на атомній електростанції чи на хімічно небезпечній ділянці, повідомлення про можливий землетрус чи повінь, штормове попередження.

Коли виникає загроза нападу противника, місцеві органи влади і штаб ЦО через засоби масової інформації передають постанови та розпорядження про порядок дій населення.

Сучасний типовий комплекс промислового підприємства складають системи електропостачання, будівлі енергетичного господарства, споруди і будівлі, в яких розміщуються виробничі цехи, верстатне і технологічне обладнання, інженерні і паливні комунікації, окремо розташовані технологічні установки, мережа внутрішнього транспорту, системи зв'язку і управління, складське господарство, різноманітні будівлі і споруди адміністративного, побутового і господарського призначення [32].

Вимоги до систем електрозабезпечення підприємства АПК. Порух нормальної подачі електроенергії на підприємство або окремі ділянки виробництва може призвести до повної зупинки роботи об'єкту, в даному випадку – фермерського господарства.

Для надійного електрозабезпечення в умовах надзвичайних ситуацій при його проектуванні, будівництві та зовнішньому електропостачанні повинні бути враховані основні вимоги, які впливають з завдань цивільної оборони [32].

Електрозабезпечення повинно проводитися від енергосистеми, до складу яких входять електростанції, що працюють на різних видах палива. Великі

електростанції потрібно розташовувати одна від одної на відстані, не меншій за два радіуси зон можливих зруйнувань [32].

Районні знижувальні станції, диспетчерські пункти енергосистеми та мережі ліній електропередачі необхідно розміщувати за межами зон можливих сильних руйнувань.

Постачання електроенергією великих міст і об'єктів, які повинні здійснювати роботу в надзвичайних умовах, необхідно передбачати від двох незалежних джерел. При електропостачанні об'єкту від одного джерела повинно бути не менше двох введів з різних напрямів [30].

Трансформаторні підстанції необхідно надійно захищати, їх стійкість повинна бути не нижчою від стійкості самого об'єкту.

Електроенергію на ділянки виробництва належить подавати незалежними кабелями, прокладеними в землі на глибині 0,8–1,2 м.

Крім цього, необхідно створювати автономні резервні джерела електропостачання. Для цього можна використовувати пересувні електростанції на залізничних платформах, інші електростанції, які не ввімкнені в енергосистему, генерації на основі поновлювальних джерел енергії [30].

Система енергопостачання повинна мати захист від впливу електромагнітного імпульсу (*EMI*) при ядерному вибуху.

Особливо піддаються впливу *EMI* радіоелектронна апаратура, системи автоматичного керування, технологічні захисти, які виконані на напівпровідникових елементах і працюють на малих значеннях струму та напруги, чутливі до впливу зовнішніх електричних і магнітних полів.

Напруженість електромагнітного поля всередині залізобетонних будівель і споруд об'єктів енергетики може бути достатня для того, щоб завадити вивести з ладу апаратуру, але такі поля можуть викликати тимчасове порушення роботи автоматичних електронних пристроїв, засобів високошвидкісного мобільного зв'язку.

При зовнішньому електропостачанні фермерського господарства повинні дотримуватися та виконуватися усі засоби безпеки ЦО для забезпечення надійного та безперебійного електропостачання.

Оцінка стійкості енергетичної системи до *ЕМІ* [32]:

- виявляють очікувану *ЕМІ* – обстановка, створювана ймовірним ядерним вибухом;
- розбивають електричну систему на окремі елементи, виявляють серед них основні, від яких залежить робота всієї системи об'єкта;
- визначають чутливість обладнання та її елементів до *ЕМІ* – граничні значення наведених напруг і струмів, при яких робота системи не порушується;
- визначають можливі наведені струми та напруги в елементах системи від впливу *ЕМІ*.
- визначають коефіцієнт безпеки кожного елемента системи та межу стійкості всієї системи об'єкта;
- аналізують та оцінюють результати розрахунків та визначають межу стійкості системи; необхідні інженерно-технічні заходи, які підвищують стійкість вразливих елементів і системи у цілому.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі на основі проведеного аналізу особливостей побудови системи електропостачання сільськогосподарських господарств, автономних резервних джерел живлення та засобів забезпечення надійності встановлено наступне:

1. Встановлено, що рівень електроспоживання вітчизняних сільськогосподарських підприємств є досить високим, а фізичне зношення та недостатня потужність сільських електромереж є причиною аварійних відключень та перерв технологічних процесів сільськогосподарського виробництва, що завдає економічного збитку підприємству.

2. Запропоновано забезпечити підприємство незалежним джерелом живлення для резервування електропостачанням особливо значимих відділень.

3. На основі досліджень впливу різних типів *ВДЕ*, ґрунтуючись на роді діяльності підприємства, вибрано тип палива – біогаз.

4. Визначено оптимальну модель та проведений вибір енергетичної установки на основі *БГУ* за сукупністю експлуатаційно-технологічних параметрів.

5. Проведена оцінка надійності електропостачання підприємства для двох незалежних джерел способом навантаженого дублювання при інтеграції резервного джерела на основі *БГУ*.

6. Проведені дослідження показали, що при інтегруванні *БГУ* для забезпечення живлення значимих відділень, отримано підвищення надійності електропостачання на 48 % та, відповідно, зменшення річного часу аварійних відключень електроенергії на підприємстві й недовипуск електроенергії.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Єгорова О.Ю. Комплексне забезпечення надійності і якості електропостачання у сільських розподільних мережах /О. Ю. Єгорова // Енергетика та комп'ютерно-інтегровані технології в АПК. – 2016. – № 2. – С.41-43.
2. Козирський, В. В. Електропостачання агропромислового комплексу [Текст]: підруч. / В. В. Козирський, В. В. Каплун, С. М. Волошин. — К.: Аграрна освіта, – 2011. – 448 с.
3. Кузнєцов М. П. Особливості комбінованих енергосистем з відновлюваними джерелами енергії: монографія / М. П. Кузнєцов. – Київ: ІВЕ, 2022. – 142 с. https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/Kuznetzov_monografy_PRINT.pdf.
4. Лежнюк П. Д., Рубаненко О. Є., Гунько І. О. Оптимізація режимів електричних мереж з відновлюваними джерелами електроенергії. Монографія / П. Д. Лежнюк, О. Є. Рубаненко, І. О. Гунько – Вінниця : ВНТУ, 2018. – 174 с. <http://socrates.vsau.edu.ua/repository/getfile.php/16954.pdf>.
5. Відновлювані джерела енергії в розподільних електричних мережах /П.Д. Лежнюк, О.А. Ковальчук., О.В. Нікіторович, В.В. Кулик. – Вінниця: ВНТУ, 2014. – 204 с.
6. Чернюк А.М., Кирисов І.Н., Черевик Ю.О. Аналіз перспектив розвитку систем розподіленої генерації електроенергії в Україні. [Електронний ресурс]. / А.М. Чернюк, І.Н. Кирисов, Ю.О. Черевик // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки: Енергетика. – Том 32 (71) № 3, 2021, С. 239-246. URL: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.3/36>.
7. Розподілена генерація електроенергії – глобальні тенденції розвитку. URL: <http://uare.com.ua/novyny/453-rozpodilena-generatsiya-elektroenergiji-globalni-tendentsiji-rozvitku.html>.
8. Бацала, Я. В. Удосконалення засобів контролю параметрів електроенергії відновлювальних джерел енергії / Я. В. Бацала, І. В. Гладь, О. І.

Кіянюк // Нафтогазова енергетика. – 2015. – № 1(23). – С. 52-60

9. Кириленко О.В. Технічні аспекти впровадження джерел розподільної генерації в електричних мережах / Кириленко О.В., Павловський В.В., Лук'яненко Л.М. // Техн. електродинаміка. – 2011. – №1. – С.46-53.

10. Добровольська Л. Н., Романюк М. В., Собчук Д. С. Проблеми надійності електропостачання сільськогосподарських об'єктів. // Л. Н. Добровольська, М. В. Романюк, Д. С. Собчук / Вісник ХНТУСГ. – Вип. 164 «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – 2015. – С. 56-57.

11. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії України. // – К.: Інститут відновлюваної енергетики НАН України. – 2011.

12. Лежнюк П. Д. Вплив ВДЕ на втрати активної потужності в ЛЕС/ П. Д. Лежнюк, О. О. Рубаненко, І. О. Гунько // Техніка, енергетика, транспорт АПК. – 2015. №3 (92). С. 84-90.

13. Гордієвський, В. Дослідження ефективності застосування фотовольтаїчних систем для потреб енергозабезпечення будинків. – 2017. – Електронний ресурс: r.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/10774/272.pdf?sequence=3.

14. Stamatia, G. F. Modeling and simulation of an autonomous hybrid power system / G. F. Stamatia, G. S. Sara, R. C. Harold // Universities Power Engineering Conference (UPEC), 2017 52nd International 28-31 Aug. – 2017. – doi:10.1109/UPEC.2017.8231915.

15. Лежнюк П. Д. Вплив ВДЕ на втрати активної потужності в ЛЕС/ П. Д. Лежнюк, О. О. Рубаненко, І. О. Гунько // Техніка, енергетика, транспорт АПК. – 2015. №3 (92). С. 84-90.

16. Стаднік М. І. Аналіз ефективності генерації електроенергії на основі сонячної енергії в Вінницькій області / М. І. Стаднік, О.О. Рубаненко, С. В. Бондаренко // Збірник наукових праць ВНАУ: Серія техніка, енергетика, транспорт АПК – 2016. № 2 (94). – С. 104-114. 5. Стаднік М. І. Визначення рівня

генерації електроенергії на сонячній електростанції відносно її встановленої потужності / М. І. Стаднік, О. О. Рубаненко, С. В. Бондаренко // Збірник наукових праць ВНАУ: Серія техніка, енергетика, транспорт АПК– 2016. № 3 (95). - С. 213-220.

17. Жаркін А.Ф., Палачов С.О., Новський В.О. Нормативно-правове регулювання якості напруги в електричних мережах з джерелами розосередженої генерації. –Київ: Інститут електродинаміки НАН України. – 2018 – 161 с.

18. Проблеми впровадження вітрових та сонячних електростанцій на території південної енергосистеми та вплив їх роботи на режими об'єднаної енергосистеми [Електронний ресурс] / О.М. Лінник, Р.Є. Кануннікова // Інформаційний збірник «Пром. електроенергетика та електротехніка» – 2015.

19. Stamatia, G. F. Modeling and simulation of an autonomous hybrid power system / G. F. Stamatia, G. S. Sara, R. C. Harold // Universities Power Engineering Conference (UPEC), 2017 52nd International 28-31 Aug. – 2017. – doi:10.1109/UPEC.2017.8231915.

20. Jackson, J. Energy monitoring of a SMME photovoltaic power system / J. Jackson, S.P D. Chowdhury // Conference: 2017 52nd International Universities Power Engineering – doi: 10.1109/UPEC.2017.8231989.

21. Lezhnyuk, P. Providing fixed level of electric energy supply quality in conditions of renovation of power distribution electrical networks with renewable energy sources / P. Lezhnyuk, V. Komar, S. Kravchuk, O. Nanaka // Electrical and Computer Engineering (UKRCON), 2017 IEEE First Ukraine Conference. – 29 May2 June 2017. doi:10.1109/UKRCON.2017.8100514 (Scopus)

22. Lezhnyuk, P. Impact of renewable sources of energy on the level of active power losses in distribution networks / P. Lezhnyuk, V. Komar, Buslavets, O.// 2nd International Conference on Intelligent Energy and Power Systems, IEPS. Conference Proceedings. – 2016. doi: 10.1109/IEPS.2016.7521856 (Scopus).

23. Виробництво і використання біопалива в агроєкосистемах. Механіко технологічні основи: монографія / Голуб Г.А., Кухарець С.М., Чуба В.В., Марус

О.А. Київ : НУБіП України, 2018. 254 с.

24. Біоенергетичні системи в аграрному виробництві: навчальний посібник / [Голуб Г.А., Кухарець С.М. Марус О.А. та ін.]; за ред. Г.А. Голуба. – К.: НУБіП України, 2017. – 229 с.

25. Сегеда М.С., Дудурич О.Б. Основні аспекти інтеграції вітрових електричних станцій в енергосистемі. // М. С. Сегеда, О. Б. Вісник/ Львів. політехн. - Львів: Львівська політехніка, 2016. - № 840: Електроенергетичні та електромеханічні системи. - С. 119-125.

26. Типи вітрогенераторів [Електронний ресурс] // atmosfera.ua – Режим доступу до ресурсу: <https://www.atmosfera.ua/uk/vitryani-elektrostantsii/tipivitro-generatoriv/>.

27. Кузьменко М. Фермерський біогаз / М. Кузьменко, Г. Голуб, С. Кухарець // The Ukrainian Farmer. – 2016. - №7. – С. 70-71.

28. Технологія переробки біологічних відходів у біогазових установках з обертовими реакторами / [Г. А. Голуб, О. В. Сидорчук, С. М. Кухарець, В. В. Гох, С. В. Осауленко, О. А. Завадська, Б. О. Рубан, Н. Л. Поліковська, Р. Л. Швець, В. В. Чуба, М. Ю. Павленко]. – К.: НУБіП України, 2014. – 106 с.

29. Коваль В.П., Тарасенко М.Г., Буняк О.А., Мовчан Л.Т. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи магістра для здобувачів другого рівня вищої освіти за ОПП Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка/ В.П. Коваль, М.Г. Тарасенко, О.А. Буняк, Л.Т. Мовчан – Тернопіль: ТНТУ, 2024. – 51 с.

30. Надійність електроенергетичних систем і електричних мереж: підручник / А. В. Журахівський, С. В. Казанський, Ю. П. Матєєнко, О. Р. Пастух. – Київ.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2017. – 456 с.

31. Бурбело М. И. Математичні задачі електроенергетики. Математичне моделювання електропостачальних систем [Електронне видання]: навч. посіб. / М. Й. Бурбело. – Вінниця: ВНТУ, –2016. – 185 с.

32. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів [Текст] : [затв. . Наказ М-ва палива та енергетики України 25.07.2006 № 258] // М-во

палива та енергетики України. – Х.: Індустрія : Енергетичні рішення. – 2012. – 318 с.

33. Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / В.С.Стручок. — Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. — 156 с.