

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Електротехнічний факультет

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи бакалавра
за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Розробка системи резервного живлення критичних електроприймачів
підприємства на основі біогазової генерації

Виконала: здобувач вищої освіти групи ЕЕМ-21-1

Д.А. Задесенець

Керівник випускної роботи

к.т.н., доц. І.І. Пересунько

Нормоконтролер

к.т.н., доц. І.І. Пересунько

Декан ЕТФ

к.т.н., доц. В.О. Федотов

Гарант освітньої програми

к.т.н., доц. І.І. Пересунько

Кривий Ріг

2025 р.

ЗАЯВА

щодо самостійності виконання кваліфікаційної роботи

Я, Задесенець Денис Анатолійович, здобувач вищої освіти за першим (бакалаврським) рівнем за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка заявляю, що моя кваліфікаційна робота, яка подана до екзаменаційної комісії для публічного захисту, виконана самостійно і в ній не міститься елементів плагіату. Всі запозичення з друкованих та електронних джерел, а також із захищених раніше кваліфікаційних робіт, кандидатських і докторських дисертацій мають відповідні посилання.

Я ознайомлений з діючим Положенням про запобігання і виявлення академічного плагіату. Згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску письмової роботи до захисту та застосування дисциплінарних заходів.

14 червня 2025 р.

Криворізький національний університет

Факультет: електротехнічний

Освітній рівень: бакалавр

Спеціальність: 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ
ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ**

Задесенеця Дениса Анатолійовича
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка системи резервного живлення критичних електроприймачів підприємства на основі біогазової генерації

2. Строк подання студентом роботи 14 червня 2025р.

3. Мета та завдання кваліфікаційної роботи

Мета роботи – розробка оптимальної структури автономного електропостачання підприємства харчової промисловості, яка забезпечує безперервну подачу електроенергії до споживачів в умовах нестабільного зовнішнього живлення, шляхом впровадження ко-генераційних модулів.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити)

1. Обґрунтування актуальності. 2. Розрахунок технічних характеристик енергоживлення. 3. Вибір оптимальної структури системи. 4. Підбір обладнання. 5. Повний алгоритм переходу до/від резерву. 6. Оцінка ефективності та перспектив.

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

Графічний матеріал кваліфікаційної роботи буде представлено у вигляді презентації PowerPoint, що складатиметься з 10 слайдів, на яких наочно відображено структуру автономного електропостачання підприємства.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали консультанта	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
I	Пересунько І.І.		
II	Пересунько І.І.		
III	Пересунько І.І.		

7. Календарний план

№	Етапи роботи	Термін виконання
1	<i>Визначити актуальність проблеми, сформулювати мету та завдання проєкту</i>	<i>12 травня 2025 р.</i>
2	<i>Постановка задачі кваліфікаційної роботи</i>	<i>15 травня 2025 р.</i>
3	<i>Розгляд схеми електропостачання підприємства, побудова логіки роботи</i>	<i>19 травня 2025 р.</i>
4	<i>Вивчення особливостей підключення мікромереж до джерел відновлювальної енергетики</i>	<i>23 травня 2025 р.</i>
5	<i>Порівняння та вибір газотурбінної установки</i>	<i>30 травня 2025 р.</i>
6	<i>Розрахунок та вибір компресору для запуску ГТУ</i>	<i>02 червня 2025 р.</i>
7	<i>Розрахунок та вибір інвертора та акумуляторних батарей для компресора</i>	<i>06 червня 2025 р.</i>
8	<i>Повний алгоритм переходу від резерву, оцінка ефективності системи</i>	<i>9 червня 2025 р.</i>
9	<i>Формування висновків до кваліфікаційної роботи</i>	<i>13 червня 2025 р.</i>

Дата видачі завдання 12.05.2025 р.

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Задесенець Д.А.
(ПІБ)

Керівник роботи _____
(підпис)

Пересунько І.І.
(ПІБ)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи на тему «Розробка системи резервного живлення критичних електроприймачів підприємства на основі біогазової генерації»: 46 с., 9 рис., 17 літературних джерел.

Об'єкт дослідження – енергетична система підприємства харчової промисловості.

У першому розділі розглянуто актуальність проблеми та методів її вирішення. А саме забезпечення безперервного електропостачання для підприємства харчової промисловості в умовах не стабільної роботи централізованої мережі. Проаналізовані середньодобові енергетичні потреби підприємства, сформовано мету та завдання роботи, а також технічну постановку задачі.

У другому розділі виконано розрахунок з порівняльним аналізом окремих елементів системи: ГТУ, компресор, АКБ та інвертор. Розглянуто однолінійну схему електропостачання та сформовано блочні-схеми для візуального розуміння процесів переключення. Розроблено алгоритм вмикання та вимикання резервного живлення, з урахуванням можливих перенавантажень споживачів та генераторів. Проведено оцінку енергоефективності та доцільності впровадження автономної системи обраного типу. Проведено та висвітлено енергетичні та економічні розрахунки генерації від СЕС та ГТУ. Визначено певні втрати за одним з критичних факторів.

АВТОНОМНЕ ЖИВЛЕННЯ, СОНЯЧНА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ,
ГАЗОТУРБІННА УСТАНОВКА, КОМПРЕСОР, ІНВЕРТОР, АКУМУЛЯТОР.

					КНУ.РБ.141.25.248с-04.Р			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Задесенець Д.А.			Реферат	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевірів		Пересулько І.І.					5	1
Н. Контр.		Пересулько І.І.						
Затвердж.		Пересулько І.І.				КНУ гр. ЕЕМ-21-1		

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1. Обґрунтування актуальності та постановка задачі.....	8
1.1. Актуальність проблеми.....	8
1.2. Мета і завдання дослідження.....	13
1.3. Постановка задачі.....	14
РОЗДІЛ 2. Розрахунок технічних характеристик енергоживлення та вибір оптимальної структури системи.....	20
2.1. Схема електропостачання підприємства, побудова логіки роботи.....	20
2.2. Порівняння та вибір газотурбінної установки для покриття потреб енергетичної системи.....	25
2.3. Розрахунок та вибір компресору для запуску ГТУ TEDOM FLEXI T350.....	27
2.4. Розрахунок та вибір інвертора та акумуляторних батарей для компресора Atlas Copco GA 30 VSD+	30
2.5. Повний алгоритм переходу від резервного живлення із урахуванням обладнання та автоматики.....	33
2.6. Оцінка ефективності та перспектив обраної системи	39
ВИСНОВКИ.....	43
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	44

					КНУ.РБ.141.25.248с-04.3			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Задесенець Д.А.			Зміст	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевірів		Пересулько І.І.					6	1
						КНУ гр. ЕЕМ-21-1		
Н. Контр.		Пересулько І.І.						
Затвердж.		Пересулько І.І.						

ВСТУП

У сучасних умовах енергетичної не стабільності через збройну агресію РФ, ризик порушення центрального енергопостачання на зараз є критично актуальним. Особливо тяжкі наслідки відчувають на собі споживачі критичної інфраструктури країни, в основному це підприємства харчової промисловості, де навіть короткочасна затримка електрики може призвести до масової загибелі тваринного ресурсу, втрата сировини та зриву технологічного циклу.

Як змістовну альтернативу на одну з передових позицій вийшли системи відновлюваних джерел енергії. При розгляді даної гілки енергогенерації варто розглядати поєднання декількох систем в суміжну, наприклад сонячну електростанцію з газотурбінною установкою. Визначальним моментом у такій структурі є автоматизація процесу переходу від центральної мережі до автономної.

У цій роботі розглядається способи впровадження та оптимізації структури резервного, автономного живлення за допомогою інтеграції СЕС та ГТУ через систему акумуляторних батарей з інвертором. Також запропоновано екологічне рішення впровадження використання власних відходів виробництва як сировину для генерації, а саме біогаз.

Результати розрахунків та підбору, свідчать про працездатність системи, її можливості в забезпеченні автономного виробництва електроенергії навіть у критичних, аварійних та інших умовах. Запропонована структура має потенціал для модернізації, розширення та переформатування для певних потреб.

					КНУ.РБ.141.25.248с-04.ВС					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						
Розробив		Задесенець Д.А.			Вступ			Літ.	Арк.	Акрушів
Перевірів		Пересунько І.І.							7	1
								КНУ гр. ЕЕМ-21-1		
Н. Контр.		Пересунько І.І.								
Затвердж.		Пересунько І.І.								

РОЗДІЛ 1. Обґрунтування актуальності та постановка задачі

1.1. Актуальність проблеми

Під час проходження переддипломної практики, я дослідив стан впровадження відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) у різні сфери побутового та промислового життя в Україні.

Зважаючи на нестабільність підключення споживачів до електроенергії у період з 24 лютого 2022 року, актуальність децентралізованого живлення не лише окремих споживачів, а й цілих регіонів, областей та населених пунктів стає дедалі актуальніше. Тому на мою думку варто розглядати повсемісне впровадження альтернативного живлення для забезпечення безперервної роботи не тільки приватного цивільного сектору, а й промисловості, де ВДЕ має одне з ключових значень на даний момент для його реалізації.

Як я вже зазначав раніше основна проблема з якою стикаються споживачі на даний момент це можливе відключення безперебійного живлення від центральної розподільчої системи енергопостачання, через такі чинники як: постійні обстріли енерго-генераційних підприємств, станцій та підстанцій розподільчих мереж, з чого випливає не спроможність на даному етапі проходження усталених навантажень на ці мережі, ще можна відверто сказати, що у деяких випадках система не є готовою для впровадження нових стандартів електропостачання за нормами Європейського Союзу, тому можуть виникати збої через застаріле обладнання.

Також варто зазначити, що такі підприємства як: аграрні, гірничорудні, риболовні, логістичні, і т.д., мають великий вплив на економічний стан країни, та пряму залежність від свого розміщення у певних регіонах, так як ресурсну

					КНУ.РБ.141.25.248с-04.01			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Задесенець Д.А.			Розділ 1	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевірів		Пересулько І.І.					8	12
Н. Контр.		Пересулько І.І.						
Затвердж.		Пересулько І.І.				КНУ гр. ЕЕМ-21-1		

базу не можливо перенести разом з підприємством.

За даними Київської школи економіки (KSE), загальні збитки аграрного сектору України, завдані війною, перевищили \$10,3 млрд. Найбільше із цієї суми припадає на пошкодження сільськогосподарської техніки — майже 57% усіх втрат, або \$5,8 млрд. Також значні втрати зазнали запаси зернових та олійних культур (\$1,9 млрд) та сховища (\$1,8 млрд). Хоча прямі статистичні дані щодо збитків, спричинених саме «блекаутами», обмежені, відомо, що нестабільне електропостачання призводить до: зниження продуктивності, втрат продукції, зростання витрат. [1]

Тому, для більшого розуміння, розглядаю впровадження живлення за допомогою сонячної енергетичної системи (СЕС) аграрного підприємство харчової промисловості, де ресурсна база, а саме курка, потребує постійного обігріву, світлового режиму, вентиляції, в продовж всього виробничого процесу: від інкубації яйця до заготівлі дорослої курки у переробку. Загальне зображення птахоферми показано на рис. 1.1.



Рисунок 1.1 – Загальний вигляд птахоферми, а саме курників

					КНУ.РБ.141.25.248с-04.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

В першу чергу, варто розглянути «острівні» режими роботи, у випадку не передбачуваних умов, це забезпечить працездатність окремих виробничих гілок.

Виробничі потужності розглянутого підприємство харчової промисловості: інкубатор, 24 виробничі дільниці, забійний цех, котельні, цех утилізації та біо-газовий комплекс (БК). В останньому знаходяться 5 когенераційних установок – 4*1053 кВт та 1*1480 кВт потужності, напругою 10 кВ.

Позитивним моментом є корисні відходи підприємства, такі як біо-газ, який утворюється за рахунок продуктів життєдіяльності тварин, тому на підприємстві створено біо-газовий комплекс для накопичення цього газу, який можна перетворити на альтернативне паливо для газотурбінних установок. Після накопичення у резервуарах, газ направляється на генераційний блок з безпосередньо ГТУ, де вже у свою чергу генерується вихідна енергія.

Тому, за рахунок цього, підприємство використовує на максимум потужність своїх виробничих можливостей для зниження фінансових витрат та профіциту альтернатив у безперебійному живленні. Загальний вигляд накопичувачів БК представлено на рис. 1.2.

					КНУ.РБ.141.25.248с-04.01	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 1.2 – Загальний вигляд накопичувачів біо-газового комплексу підприємства харчової промисловості.

Забезпечення безперервного живлення на пряму залежить від споживання, та при створені «острівного» режиму роботи треба враховувати окремі навантаження у спільних системах, щоб не спричинити аварію від перенавантаження, основні види споживання описано у таблиці 1.1.

Система	Призначення	Споживання
Освітлення	Світловий режим, що впливає на ріст і розвиток птиці	5–10 кВт на корпус
Вентиляція	Підтримка повітрообміну, температури, вологості	10–30 кВт
Обігрів	Критично важливо в холодну пору року	20–40 кВт
Водопостачання	Електронасоси, подача та підігрів води	2–5 кВт
Система годівлі	Подрібнення, транспортування корму	1–3 кВт
Автоматика та моніторинг	Клімат-контроль, аварійне відключення, сигналізація	до 1 кВт

Таблиця 1.1 – Основні споживчі витати систем життєзабезпечення курників підприємства харчової промисловості.

За попередніми оцінками, мінімальне навантаження на одну когенераційну установку становить: 350 кВт, що є високим середньодобовим значенням споживання та становить близько: 4,5 МВт/год у зимовий період та 6,5 МВт/год в літній період.

Для оптимізації енергоспоживання на території підприємства побудована СЕС потужність якої становить: 990 кВт.

Але при врахуванні всієї ресурсної бази для ефективного та безпечного функціонування треба впровадження автоматизації процесу переходу між різними джерелами живлення, так як на цьому підприємстві процесами зміни джерел керують люди вручну, що не є достатньо продуктивно та безпечно, як для працівників, так і для систем.

1.2. Мета і завдання дослідження

У розрізі актуальності ВДЕ, перед мною постала задача розробка та впровадження СЕС у цей виробничий процес, через чинники які вже описані раніше.

З основних переваг можна виділити сприятливий регіон розміщення та погодні умови, що забезпечать безперервне живлення даного споживача, але постає питання щодо працездатності та автоматизації процесів переходу системи до альтернативного живлення: у нічні години, на час «blackout(iv)» та у разі не передбачуваних погодних умов, інших кліматичних станів.

Метою дослідження є створення схеми автономного живлення аграрного підприємства з використанням СЕС та резервних джерел живлення, тому що, переривання електропостачання протягом 20 хвилин може спричинити масову загибель птиці.

Для досягнення мети ставлю наступні завдання:

1. Дослідити технічні характеристики СЕС, акумуляторних систем, та ко-генераційних установок та автоматики.
2. Дослідити досвід роботи з переходом на «острівні» режими роботи.
3. Формування алгоритму та логіки роботи енергопостачання на базі СЕС з ко-генераційними установками.
4. Визначення найбільш ефективного вирішення проблеми безперервного живлення з не сприятливих умов.

					КНУ.РБ.141.25.248с-04.01	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3. Постановка задачі

Для постановки задачі потрібно врахувати наявні джерела енергії, зокрема сонячні електростанції (СЕС), та додати у цей процес акумуляторні батареї та резервні установки такі як газо-турбінні (ГТУ), загальний вигляд яких представлено на рис. 1.3, та 1.4 відповідно.



Рисунок 1.3 – Загальний вигляд сонячної електростанції (СЕС).



Рисунок 1.4 – Загальний вигляд газотурбінної установки (ГТУ).

					КНУ.РБ.141.25.248с-04.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Основними вимогами для цих допоміжних систем будуть такі:

1. Забезпечення безперервного живлення критичних навантажень.
2. Час перемикання на резервне живлення — не більше 20 хвилин.
3. Можливість роботи в автономному режимі протягом щонайменше 8 годин.
4. Мінімізація вартості реалізації системи при збереженні надійності.

Варто розглянути декілька варіантів використання допоміжних систем автономного живлення: повністю акумуляторна система, ГТУ як резервний генератор.

Розгляну та порівняю переваги та недоліки цих двох систем у таблицях 1.2 та 1.3:

Переваги	Недоліки
Швидкий запуск.	Висока вартість акумуляторних батарей.
Відсутність шуму та шкідливих викидів.	Велика площа та потреба у системах охолодження.
Простота інтеграції з СЕС.	Низька ефективність у довготривалих режимах.

Таблиця 1.2 – Переваги та недоліки повністю акумуляторної системи.

Переваги	Недоліки
Можливість роботи тривалий час.	Потрібен пусковий насос для включення у роботу.
Потужність достатня для повного забезпечення курника.	Необхідна мінімальна кількість пального.
Відносно вищий ККД порівняно з дизельними генераторами.	Складна логіка автоматизації.

Таблиця 1.3 – Переваги та недоліки системи ГТУ.

З цього можна зробити проміжний висновок, що оптимальнішим для високого навантаження буде використання системи з ГТУ, але вона потребує пускового насоса, тому варто включити акумуляторне живлення саме для запуску цієї ко-генераційної системи. А сам акумулятор (АКБ) для насоса можна заряджати у денний період часу, щоб забезпечити без перебігів роботу у нічні години, блекауту і т.д.. Тому, розгляну декілька попередніх сценаріїв переходу з «денного» живлення на «нічне»:

- 1. Нормальний режим роботи:** Основне живлення йде від зовнішньої мережі, сонячна енергетична система (СЕС) працює у пріоритетному режимі у денні години, живить певні системи життєдіяльності курників, надлишок направляє на акумуляторні батареї, після настання не сприятливих умов для генерації СЕС у нічні години розподільча система вимикає живлення, та з інтервалом менше ніж 10-60 секунд, далі у хід роботи акумуляторна батарея живить пусковий насос для ГТУ, після їх запуску відновлюється живлення систем.
- 2. Аварійне відключення мережі:** в такому випадку, процес відбувається за тим самим алгоритмом, але якщо така ситуація відбулась у нічні

години, ГТУ живлять лише пріоритетні системи, такі як: обігрів та вентиляція.

3. Відновлення живлення: Система перемикається на зовнішнє жтвлення та СЕС продовжує функціонування і заряд АКБ для подальшого переключення у разі не штатної ситуації на систему ГТУ.

Остаточними параметрами для постановки задачі можу окреслити ті що наведені у таблиці 1.4:

Елемент	Значення	Примітка
Потужність СЕС	990 кВт	Максимальна генерація
Потужність ГТУ	≥ 350 кВт	Резервне джерело
Потужність пускового насоса	25 кВт	Живиться від АКБ
Ємність буферної АКБ	≥ 30 кВт·год	10–15 хв роботи насосів і автоматики
Час перемикання на резерв	≤ 60 сек	Критичний для збереження поголів'я
Автономна тривалість роботи	≥ 8 год	У разі повної втрати мережі

Таблиця 1.4 – Основні параметри системи для постановки задачі.

У випадку з підбором ГТУ треба розуміти та врахувати основні параметри для забезпечення надійної роботи системи:

- Номунальна потужність - $P_{\text{ном}} = 350$ кВт;

- Коефіцієнт корисної дії електричний (ККД) – $\eta_e \approx 30 - 35\%$;
- Ресурс до капітального ремонту: <40000 годин.;
- Паливний ресурс: біогаз/природний газ;

					КНУ.РБ.141.25.248с-04.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

Висновок до розділу 1

У першому розділі представлено комплексне обґрунтування доцільності впровадження автономної системи електропостачання для аграрних підприємств, зокрема птахоферми, на основі СЕС в поєднанні з резервними джерелами.

Актуальність теми зумовлена низкою факторів, зокрема енергетичною нестабільністю, війною в Україні, економічними збитками в аграрному секторі та зростанням вартості енергоресурсів після 24 лютого 2022 року.

Проаналізовано проблему нестабільного електропостачання, яка є критичною для аграрних підприємств. На прикладі підприємства харчової промисловості було продемонстровано, що короткочасні відключення електроенергії протягом 20 хвилин можуть спричинити масову загибель поголів'я, порушення технічного процесу та значні економічні збитки.

У зв'язку з цим забезпечення безперебійного електропостачання є важливим для збереження ресурсів та економічної стабільності підприємства.

У рамках цього розділу сформована мета та постановка задачі дослідження, а саме: підбір параметрів технічних засобів, розгляд сценаріїв роботи у парі з альтернативними джерелами, формування логічної схеми роботи СЕС та ГТУ.

Основним дослідженням цього розділу є розгляд потреб підприємства для подальшого розрахунку та впровадження автоматизації для їх задоволення, з максимальною ефективністю та мінімальними фінансовими і технічними втратами.

					КНУ.РБ.141.25.248с-04.01	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

РОЗДІЛ 2. Розрахунок технічних характеристик енергоживлення та вибір оптимальної структури системи.

2.1. Схема електропостачання підприємства, побудова логіки роботи.

На рис. 2.1 показана однолінійна схема електропостачання підприємства харчової промисловості (ПХП), яка демонструє основні джерела живлення, трансформаторні підстанції (ТП) та напрямки розподілу електроенергії до точок виробництва.

Підприємство отримує загальне живлення по двох незалежних повітряних лініях 35/10 кВ через зовнішні підстанції. Внутрішній розподіл проходить через розподільчі пункти: РП-1, РП-2, РП-ТП, та трансформаторні підстанції ТП і КТП.

Основними споживачами у цій схемі є:

1. Інкубатор
2. Забійний цех
3. Кормоцех
4. Котельня
5. Біогазовий комплекс
6. Курники

Як зазначалось раніше, на території підприємства було побудовано власну СЕС потужністю у 990 кВт, яка підключена до РП-1.

Також система електропостачання має можливість долучення у склад біогазового комплексу когенераційних установок, а саме ГТУ, які можуть забезпечити живлення у разі повного або часткового вимкнення зовнішнього

електропостачання.				КНУ.РБ.141.25.248с-04.02				
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Задесенець Д.А.						
Перевірів		Пересулько І.І.						
Н. Контр.		Пересулько І.І.						
Затвердж.		Пересулько І.І.						
					Літ.		Арк.	Акрушів
							20	23
					КНУ гр. ЕЕМ-21-1			

В такому аварійному режимі система переходить на живлення від власних джерел – спочатку від СЕС, потім автоматично від ГТУ, яка забезпечує живлення критичних навантажень, включає компресор для подачі біогазу, системи інкубації, та вентиляції.

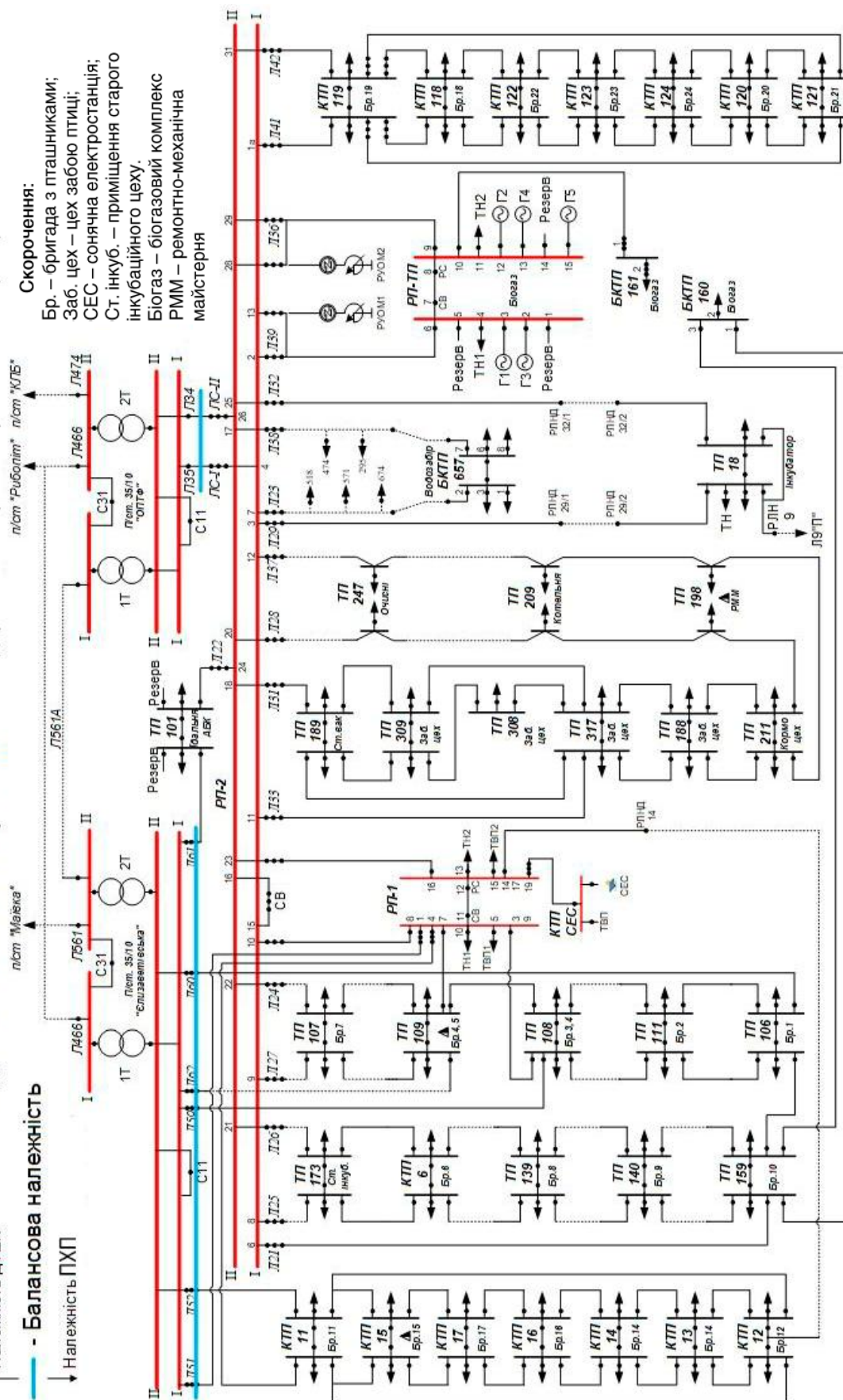
					КНУ.РБ.141.25.248с-04.02	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Однолінійна схема електропостачання харчової промисловості (ПХП)

↑ Належність ДТЕК

— Належність ПХП

Скорочення:
 Бр. – бригада з пташниками;
 Заб. цех – цех забою птиці;
 СЕС – сонячна електростанція;
 Ст. інкуб. – приміщення старого інкубаційного цеху.
 Біогаз – біогазовий комплекс
 РММ – ремонтно-механічна майстерня



ису
 нок
 2.1 -
 Од
 нол
 іній
 на
 схе
 ма
 еле
 ктр
 опо
 ста
 чан
 ня
 під
 при
 ємс
 тва
 хар
 чов
 ої
 про
 мис
 лов
 ості
 (ПХ
 П)

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

КНУ.РБ.141.25.248с-04.02

Арк.

22

Перейду до розгляду критично важливих елементів роботи підприємства.

Для кращого розуміння логіки функціонування даної системи, спрощу її до блок-схеми підключення ключових елементів живлення: інкубаційного комплексу та курників(рис.2.2).

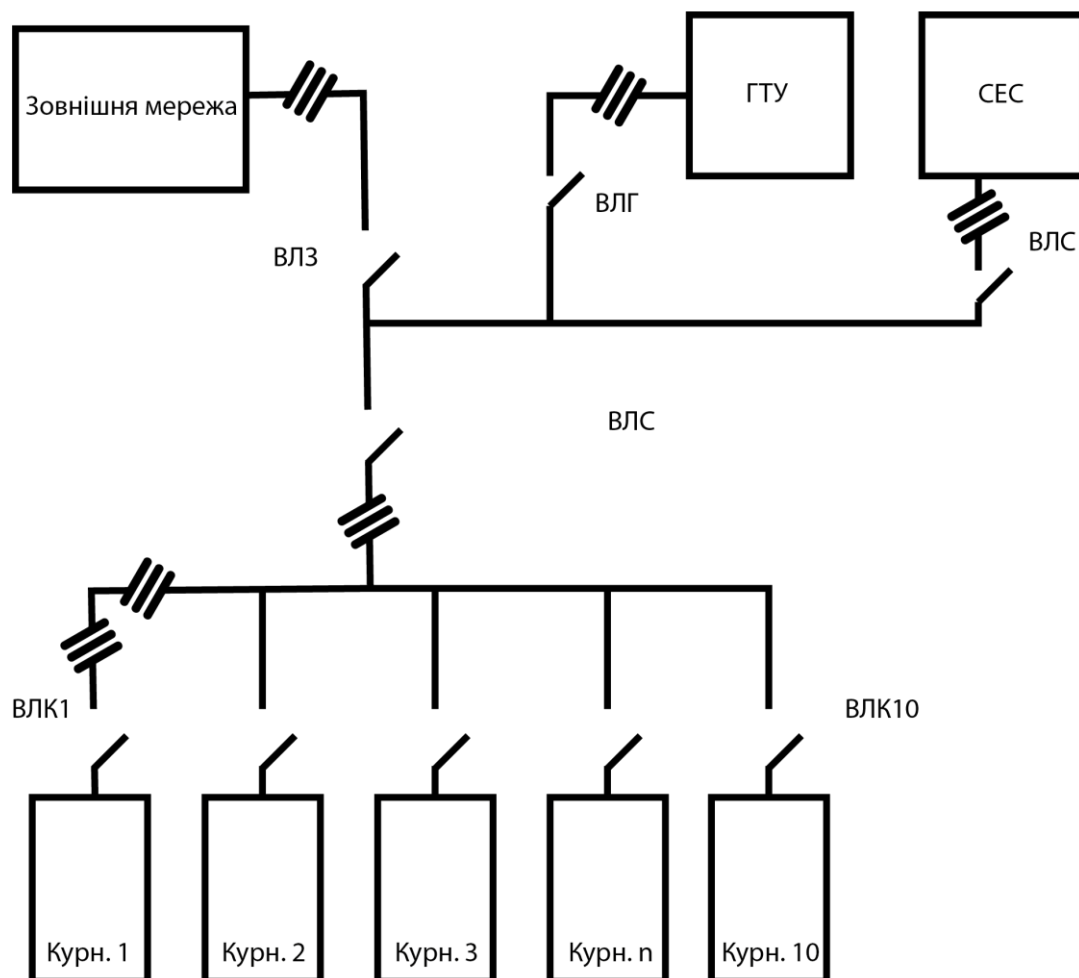


Рисунок 2.2 - Блок-схема живлення інкубаційного комплексу та курників від різних джерел електроенергії

Де: ВЛЗ – вимикач лінії(навантаження) зовнішній; ВЛС – вимикач лінії споживачів; ГТУ – газотурбінна установка; СЕС – сонячна електростанція; ВЛК(1, 2,...n) – вимикач лінії(навантаження) курника (1, 2,...n).

Ця схема дозволяє наглядно побачити: послідовність надходження живлення від зовнішньої мережі або ГТУ та СЕС до споживачів, розподіл живлення, можливість автоматичного перемикавання у разі аварійних ситуації на

зовнішній лінії живлення, та структуру керування курниками через окремі гілки ВЛК(1, 2,...n).

Далі варто більш поглиблено вивчити блок-схему саме для ГТУ(рис.2.3), щоб сформувати уявлення та визначити первинні потреби для його запуску від автономної системи живлення.

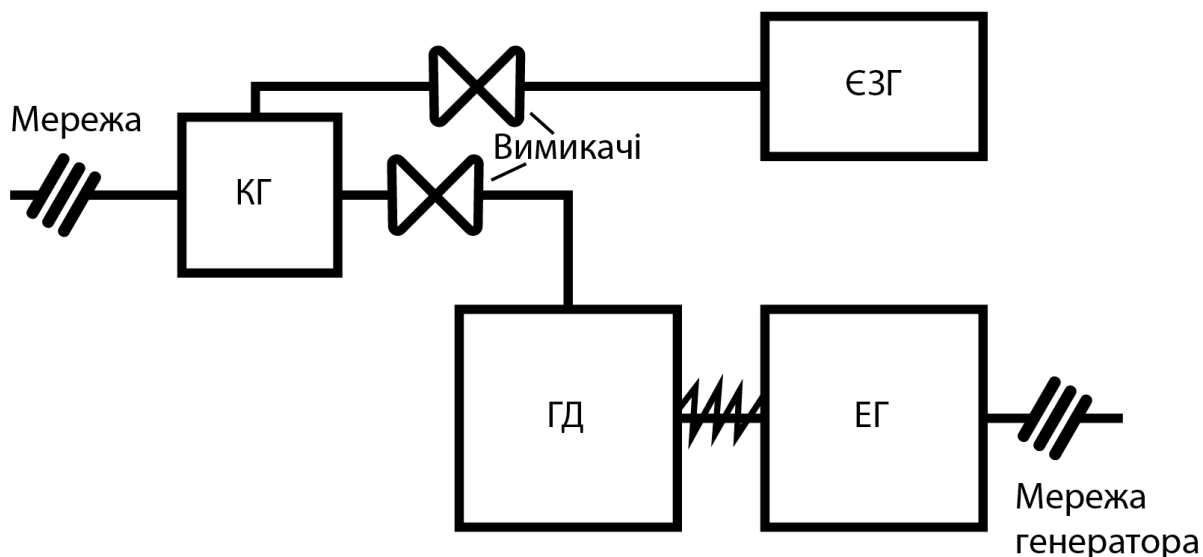


Рисунок 2.3 - Блок-схема дії ГТУ.

Де: КГ - компресор газу, потрібен для нагнітання робочого тиску на турбіні; ЄЗГ – ємність зберігання(накопичення) газу; ГД – газовий двигун; ЕГ – електричний генератор.

Отже, враховуючи всі вище розглянуті схеми живлення можу сформувати попередню логіку дій при переході системи на альтернативне живлення. Під час формування алгоритму, відразу відкину нормальний режим роботи, так як в процесі нього не відбувається повний або частковий перехід на ГТУ чи СЕС.

Тож, вразі порушення енергопостачання або недостатності живлення, автоматика системи відмикає ВЛЗ тим самим усуває навантаження на споживачах, відбувається перемикавання на альтернативну лінію живлення через

замикання ВЛГ та ВЛС сонячної електростанції. Далі в дію вступає акумуляторна батарея з інвертором, які живлять компресор генератора (КГ) та ГТУ. Під час запуску ГТУ потрібно живлення протягом 3-5 хвилин для утворення робочих обертів турбіни, тобто пуску та переходу установки до генерації електроенергії. Тому, АКБ живить не лише КГ, а й ГД напряму. Після досягнення робочих навантажень, енергія подається від ЕГ до споживачів, але поступово, тобто по черзі замикаючи автомати, та збільшуючи робочі оберти для уникнення перенавантажень на генераторі та споживачах.

З алгоритму виходить те, що для забезпечення альтернативної живлячої потужності, треба підібрати такі пристрої:

1. ГТУ – газотурбінна установка;
2. КГ – компресор газовий для запуску та подачі газу на турбіну.
3. АКБ – акумуляторна батарея для живлення КГ та ГТУ на пуску.
4. Інвертор – для переходу постійного струму у змінний (від АКБ до КГ та ГТУ).

2.2. Порівняння та вибір газотурбінної установки для покриття потреб енергетичної системи.

У попередньому розділі, було розглянуто основні потреби у нічні або аварійні години системи живлення підприємства харчової промисловості, з сонячною електростанцією (СЕС) на 990 кВт.

Для покриття потреб у визначенні години, потрібно підібрати альтернативний ресурс генерації електричної енергії.

Так, як розглянуте підприємство має біо-газовий комплекс (БК), а саме систему накопичення газових відходів природного походження, потенційним

					КНУ.РБ.141.25.248с-04.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

рішенням є впровадження газотурбінної установки (ГТУ) у цей генераційний процес.

Тому порівняю три ГТУ за раніше визначеними параметрами, а саме: номінальна потужність $P_{\text{ном}}$, ККД електричний η_e , ресурс до капремонту, паливний ресурс та витрата палива ($\text{м}^3/\text{год}$) – у табл. 2.1, та визначу найоптимальніший варіант.

Додатково для вибору газотурбінної установки введу економічні параметр, такий як витрата палива ($\text{м}^3/\text{год}$), з планкою у $\sim 100 \text{ м}^3/\text{год}$, таким чином, зможу раціонально підійти до вибору установок для порівняння з мінімізацією фінансових витрат підприємства.

Параметр	Capstone C370S	MWM TCG 2016 V6C	TEDOM FLEXI T350
Номінальна потужність, кВт	370	400	355
Тип палива	Біогаз/прир. газ	Природний газ	Біогаз/пр ир. газ
ККД електричний, %	~ 33	~ 42	~ 40
ККД загальний, %	78	86	83
Витрата палива, $\text{м}^3/\text{год}$	~ 105	~ 95	~ 92
Ресурс до капремонту, год	40 000	60 000	50 000

Таблиця 2.1 – Порівняння основних параметрів ГТУ: Capstone C370S; MWM TCG 2016 V6C; TEDOM FLEXI T350.

З порівняння зрозуміло, що проміжним варіантом треба обрати TEDOM FLEXI T350 [2] (рис. 2.4.), так як він відповідає поставленим нормам за ККД електричне, номінальною потужністю, ресурсом роботи до капремонту та типом палива для роботи. Також з переваг даної ГТУ можна виділити помірний розхід палива, у порівнянні з іншими представленими варіантами, де окремі з них не відповідають поставленим умовам.

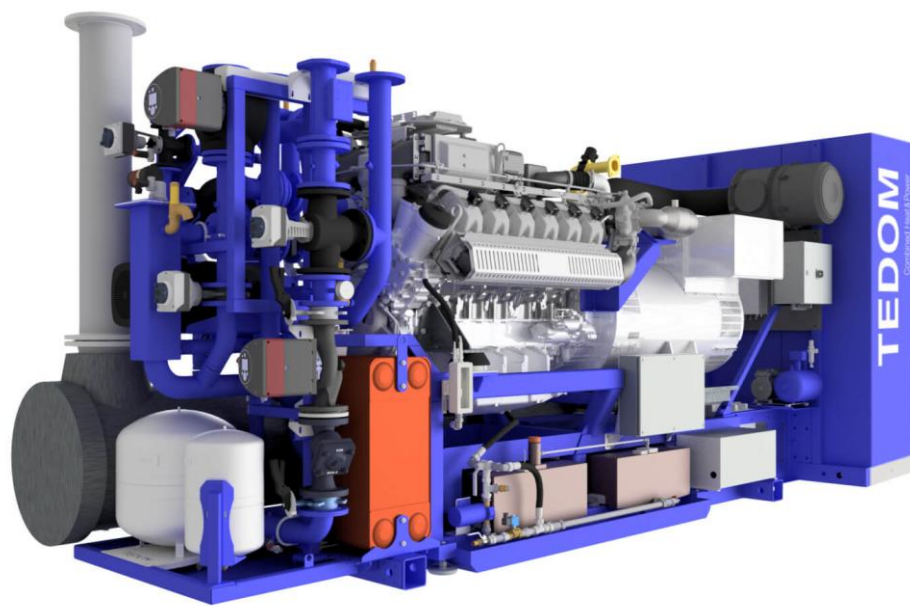


Рисунок 2.4 – Зображення обраного ГТУ TEDOM FLEXI T350

2.3. Розрахунок та вибір компресору для запуску ГТУ TEDOM FLEXI T350

Для реалізації автономного пуску ГТУ TEDOM FLEXI T350, потрібен компресор який забезпечить пуск установки. З технічних характеристик ГТУ можна підкреслити, що для розгону турбіни і початку роботи як генератора електроенергії, ГТУ потрібно близько 3-5 хвилин. За цей час турбіна має

					КНУ.РБ.141.25.248с-04.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

розвинути робочі оберти та мати можливість їх підтримувати на постійній основі увесь період часу роботи системи.

Тому розрахую потрібну потужність компресора для цього процесу, маючи номінальну потужність ГТУ - $P_{\text{ном}} = 355$ кВт, витрату палива у 92 м³/год. Також врахую те, що під час запуску ГТУ потребує тиску у 5-10 бар та певний об'єм повітря 2-5 м³/хв. Враховуючи ці дані можу розрахувати ізотермічне стиснення за формулою:

$$P = \frac{p_1 \cdot Q \cdot \ln\left(\frac{p_2}{p_1}\right)}{\eta} \quad (2.1)$$

Де:

$p_1 = 10^5$ Па – атмосферний тиск;

$p_2 = 8 \cdot 10^5$ Па – робочий тиск за каталогом [2];

$Q = 4$ м³/хв = 0.0667 м³/с – витрата повітря;

$\eta = 0.85$ – типове середнє ККД компресора;

$$P = \frac{10^5 \cdot 0,0667 \cdot 2,08}{0,85} = 16,318 \text{ кВт}$$

Враховуючи протяжність пускового процесу, де для розгону турбіни потрібно близько 5 хвилин, тому введу коефіцієнт запасу $K_{\text{зап}} = 1,5$. Це дозволить мінімізувати ризики не запуску або не контрольованого відключення ГТУ. [3], [4]

Тоді дійсна потужність компресора дорівнює:

					КНУ.РБ.141.25.248с-04.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

$$P_{\text{дійсна}} = K_{\text{зап}} \cdot P \quad (2.2)$$

$$P_{\text{дійсна}} = 1,5 \cdot 16,318 = 24,5 \text{ кВт}$$

Беручи до уваги попередні розрахунки обираю Atlas Copco GA 30 VSD+ [5], (рис. 2.5).

Потужність двигуна компресору $P_{\text{компр}} = 30 \text{ кВт}$, діапазон подачі повітря $\approx 0,97\text{--}6,55 \text{ м}^3/\text{хв}$, максимальний тиск: до 12,5 бар, що повністю задовольняє поставленні потреби.



Рисунок 2.5 – Вигляд Atlas Copco GA 30 VSD+

					КНУ.РБ.141.25.248с-04.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

2.4. Розрахунок та вибір інвертора та акумуляторних батарей для компресора Atlas Copco GA 30 VSD+

Для роботи компресора підберу акумуляторну батарею потрібної ємності з визначеною тривалістю роботи у 5 хвилин. Але для правильності розрахунку вважаю за потрібне враховуючи вимоги компресора, підібрати інвертор з «чистою» синусоїдою.

Для цього розрахую пікову потужність компресора ($P_{\text{пik}}$), та врахую особливість системи VSD+, де коефіцієнт пуску системи дорівнює 1,5, а номінальна потужність $P_{\text{компр}} = 30$ кВт:

$$P_{\text{пik}} = 1,5 \cdot 30 = 45 \text{ кВт}$$

Розрахую вихідний струм інвертора на стороні змінного струму (АС):

$$I_{\text{AC}} = \frac{P_{\text{пik}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{AC}} \cdot \cos \varphi}; \quad (2.3)$$

Де приймаємо типові значення:

$\cos \varphi = 0,9$ - ККД інвертора

$U_{\text{AC}} = 380$ В - Мережа (АС)

$$I_{\text{AC}} = \frac{45000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,9} = 75,97 \text{ А}$$

					КНУ.РБ.141.25.248с-04.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

Розрахую вхідний постійний струм (DC) інвертора:

$$I_{DC} = \frac{P_{\text{пik}}}{U_{DC} \cdot \cos \varphi}; \quad (2.4)$$

Для оптимізації кабельних мереж приймаю вхідну напругу за 192 В (12 В стандартна напруга для АКБ * 16):

$$I_{DC} = \frac{45000}{192 \cdot 0,9} = 260,4 \text{ A}$$

Розрахую ємність АКБ на 5 хвилинний пусковий інтервал, для цього спочатку знайду номінальний струм:

$$I_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{компр}}}{U_{DC} \cdot \cos \varphi}; \quad (2.5)$$

$$I_{\text{ном}} = \frac{30000}{192 \cdot 0,9} = 173,6 \text{ A}$$

Час роботи АКБ:

$$t = 5 \text{ хв} = \frac{5}{60} = 0,0833 \text{ год}$$

Тоді ємність АКБ:

					КНУ.РБ.141.25.248с-04.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

$$C = I_{\text{ном}} \cdot t = 173,6 \cdot 0,0083 = 14,5 \text{ А} \cdot \text{год} \quad (2.6)$$

Варто врахувати непередбачувані навантаження, поломки і т.п., та розрахувати запас ємності у 20-30%:

$$C_{\text{запас}} = 14,5 \cdot 1,3 = 18,8 \text{ А} \cdot \text{год}$$

Визначивши всі ці параметри можу підібрати АКБ та інвертор. При пошуку оптимального рішення можна зрозуміти, що доцільним є використання 4-ох АКБ ємністю 50 А · год кожен, так як у загальному доступі батареї такої ємності є вигіднішим рішенням ніж підбір менш ємнісних або персоналізованих під цей випадок.

Тому обираю систему 4 × 50 А · год 48 В для забезпечення вхідної напруги на інвертор у 192 В з подальшою її конвертацією у 380 В на виході.

З урахуванням технічних та розрахункових вимог, обираю інвертор Xindun HDSX (рис. 2.6), він задовольняє потреби у вхідній та вихідних напругах, та має чисту синусоїду, також з переваг даний інвертор має вбудовану UPS-функцію, яка забезпечить безпечний перехід від АКБ до зовнішнього живлення без перепадів напруги.



Рисунок 2.6 – Вигляд Xindun HDSX

2.5. Повний алгоритм переходу від резервного живлення із урахуванням обладнання та автоматики.

Після визначення потрібного обладнання, сформулюю остаточні вимоги до резерву живлення, враховуючи електричні, економічні та безпекові характеристики. Так як, в процесі відключення або повторного підключення до зовнішньої мережі, споживачі можуть отримати пошкодження у наслідок перенавантажень на певних не захищених ділянках схеми.

Одним з основних факторів при формуванні алгоритмів, є часовий проміжок за який резерв має бути підключений до системи життєзабезпечення підприємства, а саме не більше 20 хвилин, що у випадку з системою ГТУ

повністю можливо, так як дана установка приводиться у дію за 3-5 хвилин, чого достатньо для задоволення поставленої часової вимоги до перемикання.

Другим не менш вагомим, є коректність вмикання та вимикання, для цього потрібно встановлення в схему живлення окремих датчиків, автоматів, щоб уникнути випадкове переключення на резерв під час виробничого процесу. Наприклад, також автомати можуть допомогти задовільнити першу вимогу до часового інтервалу, при використанні автоматів з затримкою.

Якщо йти за шляхом датчиків, то можна говорити і про повну автоматизацію процесу переключення, таким чином ця вимога убезпечить виробниче обладнання та працівників від позаштатних ситуацій. Система зможе самостійно аналізувати, стабілізувати процеси переходу, та виявляти аварії, вже для усунення яких потрібне втручання людини. До цього пункту варто додати, що автоматизація сприяє підвищенню ефективності та ощадності підприємства, при роботі з його ресурсною базою.

Тому, якщо розглядати алгоритм включення та виключення резерву, потрібно врахувати ці вимоги, так як у протилежному випадку резервне живлення не може бути таким, та його ефективність прямуватиме до нуля.

Отже, процес підключення було сформовано на початку другого розділу, а саме у підпункті 2.1, але для кращого візуального сприйняття перейду до практично сформованої блочної схеми переходу на альтернативне живлення (рис. 2.7).

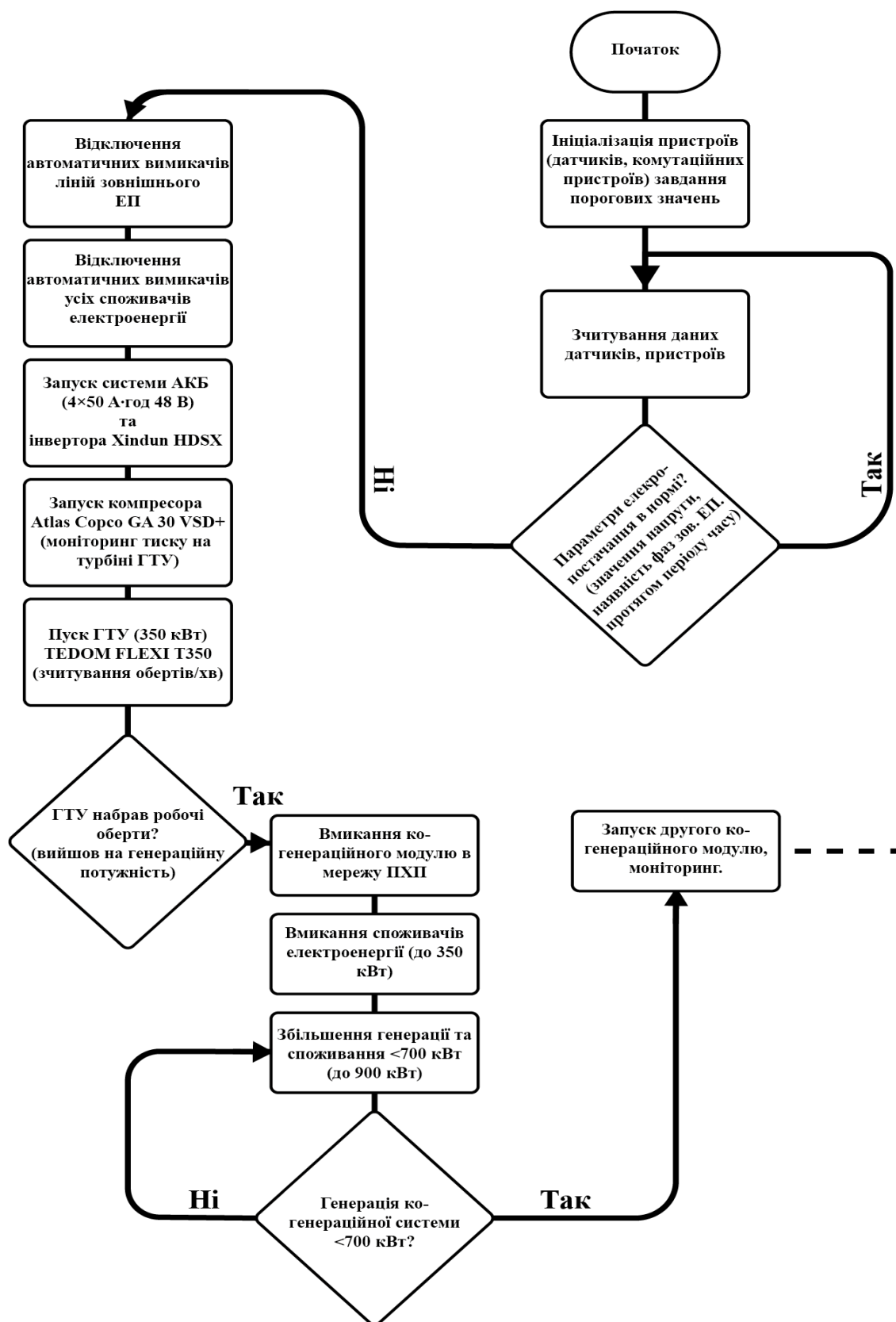


Рисунок 2.7 – Блок схема переходу на альтернативне живлення.

З схеми видно, що автоматизація відіграє одну з провідних ролей у переході від зовнішнього живлення. Варто більш детально розглянути початок процесу, а саме моніторинг наявності живлення на мережі, це важлива складова, яку було порушено під час висунення вимог до процесу переходу на альтернативне живлення. Таким чином, маючи датчики та автомати, які вже на початку процесу зможуть перевірити наявність електропостачання, можна запобігти без підставному включенню резерву. Параметри які підлягають особливому контролю на цій ланці є: значення напруги, наявність фаз напруги лінії зовнішнього електропостачання протягом заданого інтервалу часу.

Подальший процес запуску від системи АКБ та інвертора (Xindun HDSX), компресора (Atlas Copco GA 30 VSD+) до ГТУ (TEDOM FLEXI T350) було описано раніше під час розрахунку та підбору потрібних пристроїв.

Нововведення яке привносить ця схема, є те, що у випадку збільшення генерації до 700 кВт і більше система потребує підключення другого ідентичного ко-генераційного модуля, що є виправданим рішенням, так як, таким чином дані два модулі покриють генераційні можливості СЕС на 990 кВт, яка вже встановлена на ПХП.

Подальша частина яка слідує за пунктирною лінією у правому нижньому куті схеми, є підтримка генерації та споживання в оптимальних режимах, та подальше зчитування даних датчиків та пристроїв.

Тому після детального розгляду та формування візуального бачення процесу включення, можна перейти до виключення, враховуючи всі ризики, та мінімізацію втрат потужності виробничого процесу.

Початком процесу виключення резервного живлення є відновлення зовнішнього. Тому, датчики зовнішньої напруги, знаходяться у режимі постійного поновлення даних про стан мережі та передають сигнал у генераційний блок резерву.

					КНУ.РБ.141.25.248с-04.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

Далі у випадку поновлення зовнішнього електропостачання датчики подають сигнал і ко-генераційні модулі поступово починають знижати генерацію, а також роз'єднання за допомогою автоматизованих вимикачів відмикаються споживачі.

Автоматика отримує зворотній сигнал про відключення резервного живлення і споживачів.

Тому, система переключається на зовнішню енергію, та повертає сигнал до початкової системи датчиків, як і в свою чергу знаходяться в режимі очікування відключення електропостачання.

Складність реалізації процесу полягає в тому, що під час як підключення, так і виключення резерву, споживачі знаходяться під навантаженням. А саме пріоритетною ціллю є зниження або виключення перенавантаження споживачів та установок генерації в моменти переходу.

Блок схему виключення резерву та перехід до зовнішнього постачання можна побачити на рис. 2.8.

Також не забуваю про те, що під час аварійного відключення, система стикається з перехідними процесами при розімкненні фаз або розвантаження споживачів, що зумовлює короткочасне перевищення напруги, яке можна побачити на графіку аварійного вимкнення зовнішнього електропостачання (рис 2.9). Тож таке явище варто враховувати при підборі захисних реле, реле контролю фаз (РКФ) та затримки запуску/виключення резерву.

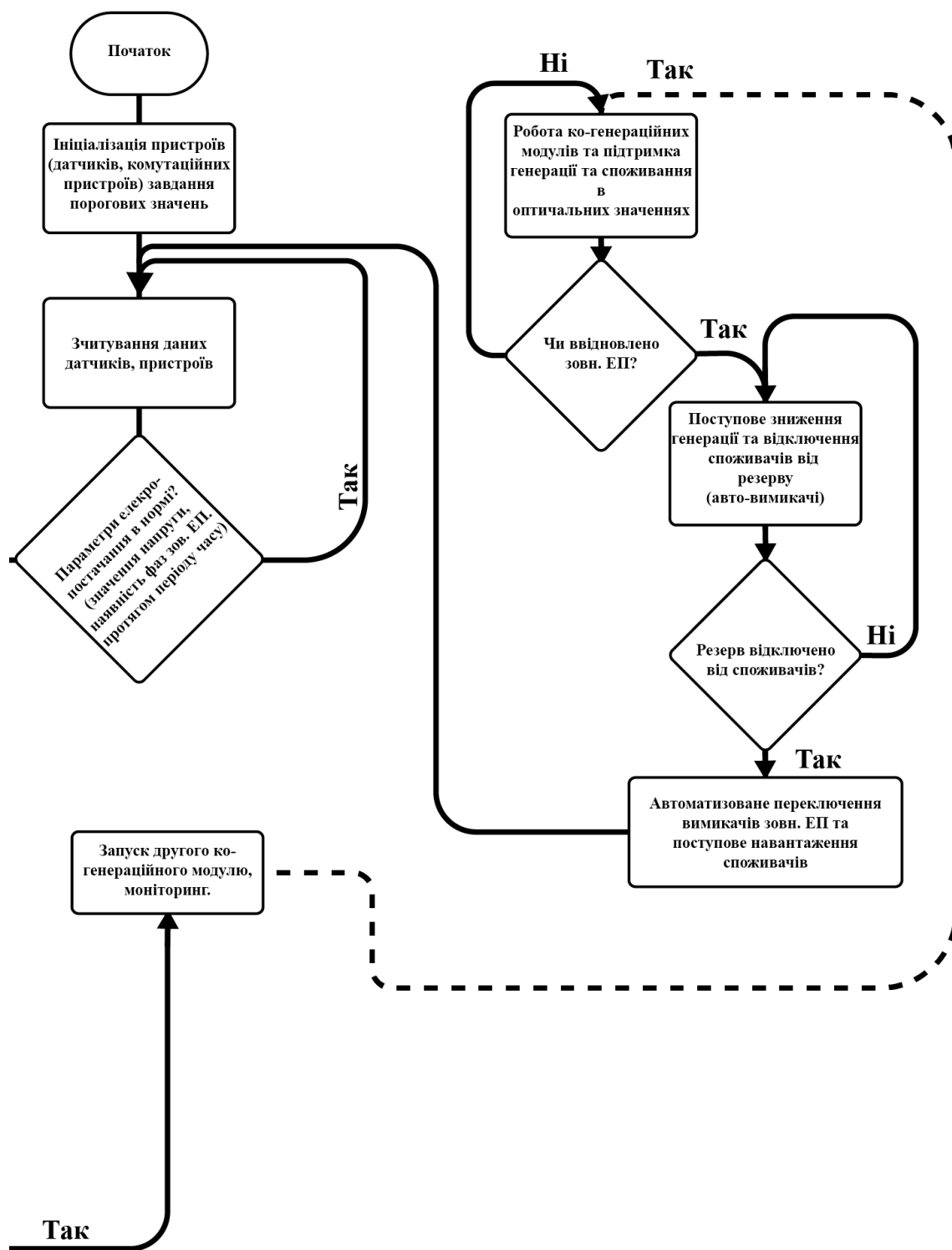


Рисунок 2.8 – Блок схема відключення резервного живлення

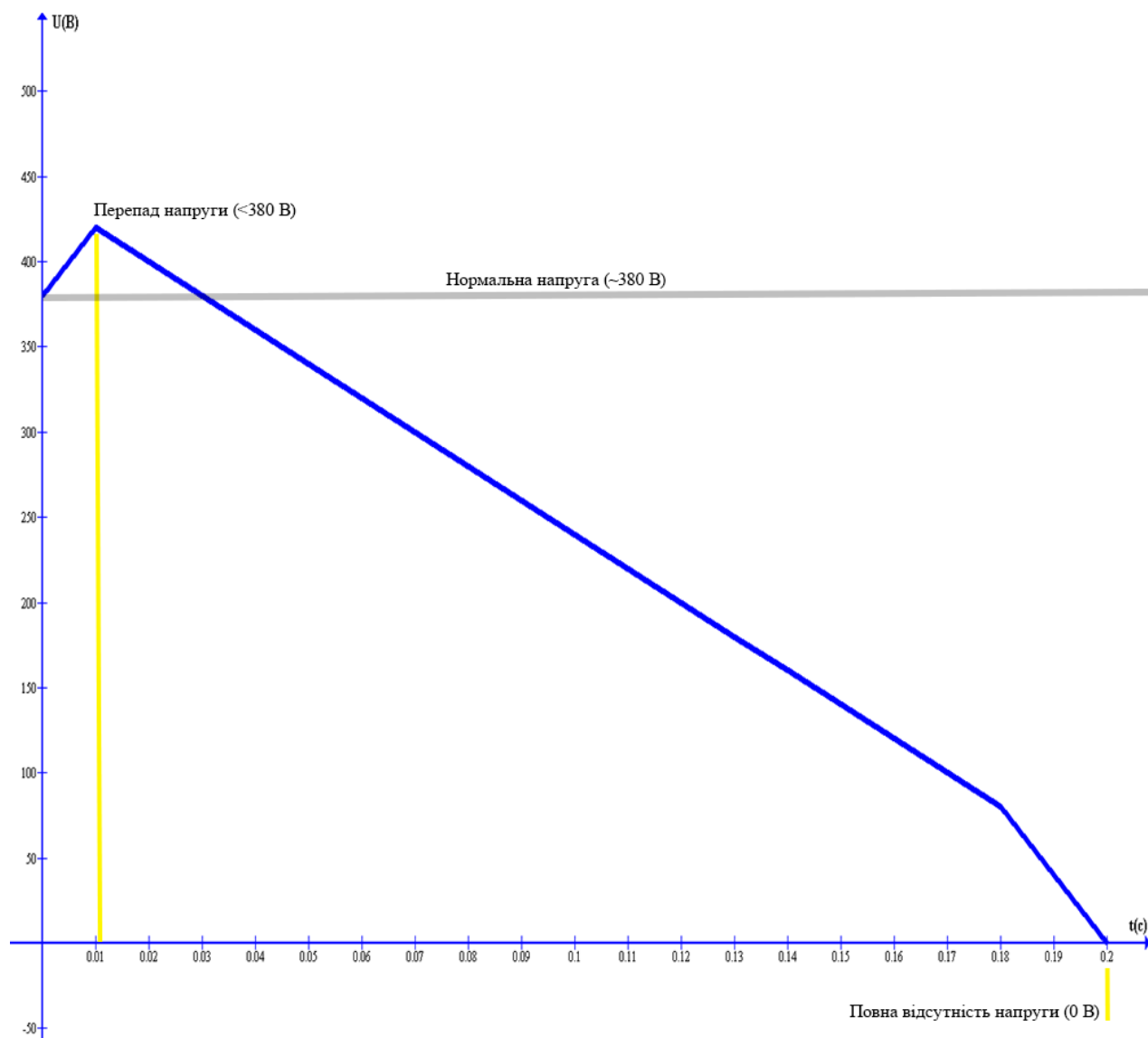


Рисунок 2.9 – Графік падіння напруги при вимкненні зовнішнього електропостачання

2.6. Оцінка ефективності та перспектив обраної системи

Системна пара сонячної електростанції потужністю 990 кВт та ГТУ (TEDOM FLEXI T350) дозволить значно підвищити автономність і стійкість окремого ПХП зі зменшенням залежності від зовнішніх мереж, та централізованого живлення.

					КНУ.РБ.141.25.248с-04.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

Враховуючи середньодобові показники споживання, заявлені перед початком розрахунку, середньорічне становить $\sim 5,5 \text{ МВт} \cdot \text{год}$.

$$E_{\text{рік}} = 5,5 \cdot 365 = 2007,5 \frac{\text{МВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}}; \quad (2.7)$$

Загальне середньорічне споживання $\sim 2007,5 \frac{\text{МВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}}$.

При цьому потенційна генерація СЕС:

$$E_{\text{СЕС}} = P_{\text{ном}} \cdot t_{\text{еф}} \cdot 365; \quad (2.8)$$

Де:

$$P_{\text{ном}} = 990 \text{ кВт} = 0,99 \text{ МВт},$$

$t_{\text{еф}} = 4,2 \frac{\text{год}}{\text{добу}}$ - середня тривалість ефективного випромінювання в Дніпропетровській області.

$$E_{\text{СЕС}} = 0,99 \cdot 4,2 \cdot 365 = 1516,2 \frac{\text{МВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}}$$

Це дозволить покрити $\sim 75\%$ споживання критичних об'єктів у денний час.

Потенційна генерація системи ГТУ:

$$E_{\text{ГТУ}} = P_{\text{ном}} \cdot t_{\text{еф}} \cdot 365; \quad (2.9)$$

					КНУ.РБ.141.25.248с-04.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Де: $t_{\text{еф}} = 20 \frac{\text{год}}{\text{добу}}$ – у випадку живлення в ночі та аварійних ситуацій викликаних зовнішніми не передбачуваними чинниками.

Тому:

$$E_{\text{ГТУ}} = 0,355 \cdot 20 \cdot 365 = 2591,5 \frac{\text{МВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}}$$

З цих розрахунків приведу сумарне значення генерації ГТУ та СЕС:

$$E_{\text{Загал}} = E_{\text{СЕС}} + E_{\text{ГТУ}} = 1516,2 + 2591,5 = 4107,7 \frac{\text{МВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}} \quad (2.10)$$

Тоді виходить, що середньорічна генерація автономної системи більша за середньорічне споживання підприємства на $\sim 2000 \frac{\text{МВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}}$, що дає змогу для:

1. Продажу надлишку у мережу;
2. Зменшення залежності від тарифів;
3. Повної енергонезалежності підприємства.

З економічної точки зору, ефективність резерву можна розглянути такий сценарій:

Втрата поголів'я, повна або часткова. Умовно при втраті 1% курей через відключення електроенергії:

$$18000 \text{ голів} \cdot 100 \frac{\text{грн}}{\text{од}} = 1800000 \text{ грн.}$$

Це приблизна сума збитків у разі втрати 1% загального поголів'я. У разі повторних відключень сума буде значно більша, та репутація ПХП буде підірвана не спроможністю забезпечити якість виробничого процесу.

					КНУ.РБ.141.25.248с-04.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Висновок до розділу 2

У даному розділі було порушено питання щодо комплексного техніко-енергетичного обґрунтування побудови ефективного резерву живлення, на випадок відключення зовнішньої мережі.

Перед безпосереднім розрахунком було розглянуто схеми електропостачання ПХП та виокремлено критичні потреби підприємства, а саме об'єктів, які потребують постійного живлення: інкубатори, вентиляційна система, компресори та біогазовий комплекс.

Для формування послідовності підбору та розрахунку компонентів, було приведено алгоритм включення резерву у випадку аварійної ситуації. Завдяки чому, було сформовано спрощені блок-схеми взаємодії систем при алгоритмі переключення.

Проведено подальший розрахунок таких технічних засобів як: ГТУ, компресор газовий, система АКБ та інвертор.

У подальшому розроблено алгоритм підключення, та враховано вимоги і ризики пов'язані з перенавантаженням.

Для затвердження побудови системи, проведено аналіз ефективності та економічної переваги.

					КНУ.РБ.141.25.248с-04.02	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

ВИСНОВКИ

Досліджено одну з найактуальніших проблем промислового сектору України – збереження працездатності в умовах відсутності централізованого енергопостачання.

У підсумку роботи пропонується взаємо-замінна, автономна структура резерву живлення птахоферми, що містить суміжну взаємодію сонячної електростанції потужністю 990 кВт, яка впроваджена для підтримки процесів виробництва у дені години роботи, та ГТУ модулі на 355 кВт для покриття потреб підприємства у аварійні чи позаштатні години.

У поєднанні двох систем відновлюваних джерел живлення, є вкрай позитивний атрибут – це безоплатна робота, яка у додачу не шкодить екології регіону, та позитивно впливає на розвиток бізнесу в країні, так як ВДЕ хоч і мають високу початкову вартість вкладу, але за рахунок безкоштовності ресурсу роботи, не є великим тягарем для підприємців.

В межах кваліфікаційної роботи:

1. Сформульовано практичну задачу створення автономного резерву живлення для критичної інфраструктури, а саме підприємства харчової промисловості.
2. Виконано розрахунково-технічний аналіз і структуризація системи.
3. Доведено ефективність взаємодії ВДЕ, ко-генерації, акумуляторного запасу систем та автоматизації.

					КНУ.РБ.141.25.248с-04.В			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Задесенець Д.А.			Висновки	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевірів		Пересунько І.І.					43	1
Н. Контр.		Пересунько І.І.						
Затвердж.		Пересунько І.І.				КНУ гр. ЕЕМ-21-1		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Київська школа економіки. Втрати та збитки аграрного сектору України внаслідок війни: оцінка станом на 1 січня 2024 року [Електронний ресурс] / Київська школа економіки (KSE Agrocenter). – Київ, 2024. – 27 с. – Режим доступу: https://kse.ua/wp-content/uploads/2024/02/RDNA3_ukr.pdf

2. **TEDOM a.s.** Когенерационные установки на биогазе [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://ru.tedom.com/ru/kogeneracionnyje-ustanovki/biogaz/>

3. Siemens AG. Electric Motors – Reference Manual [Електронний ресурс]. – Erlangen: Siemens Technical Publications, 2021. – 248 с. – Режим доступу: <https://new.siemens.com/global/en/products/drives/electric-motors/technical-documentation.html>

4. Atlas Copco. Compressed Air Manual [Електронний ресурс]. – 9th ed. – Antwerp: Atlas Copco Airpower N.V., 2018. – 134 с. – Режим доступу: <https://www.atlascopco.com/en-uk/compressors/products/air-compressor-manual>

5. Атлас Копко. Компрессоры с масляным обертальным гвинтовым элементом GA30–90 / GA37–110 VSD+ (30–110 кВт / 40–150 к.с.). Атлас Копко, 2022. Режим доступу: <https://atlas.az/en/products/atlas-copco/oil-injected-air-compressors/ga-30-90-oil-injected-air-compressors/>

6. Giampaolo T. Gas Turbine Handbook: Principles and Practices / Tony Giampaolo. – 3 rd ed. – New York : McGraw Hill, 2014.– 520 с. – ISBN 978 0 07 340291 8. https://file-dhaka.portal.gov.bd/uploads/1573e3bc-6bb3-4110-be2d-d3c286300cd3/61c/156/a2e/61c156a2eaaa9374692834.pdf?utm_source

					КНУ.РБ.141.25.248с-04.Л			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Список використаних джерел	Літ.	Арк.	Акрушів
Розробив		Задесенець Д.А.					44	3
Перевірів		Пересулько І.І.						
Н. Контр.		Пересулько І.І.				КНУ гр. ЕЕМ-21-1		
Затвердж.		Пересулько І.І.						

7. U.S. EPA. AP 42, Vol. 1, Section 3.1: Stationary Gas Turbines [Електронний ресурс]. – 2012. – Режим доступу: <https://www3.epa.gov/ttnchie1/ap42/ch03/index.html>

8. ETN Global. Micro Gas Turbine Technology Summary [Електронний ресурс]. – ETN, 2018. – Режим доступу: [https://etn.global/MGT Technology Summary](https://etn.global/MGT_Technology_Summary)

9. Bernard A. et al. Digest of CHP Technologies: Gas Turbines [Електронний ресурс]. – Better Buildings Solution Center, DOE, 2016. – 30 с. – аналіз застосування в промремонтах betterbuildingssolutioncenter.energy.gov

10. Espitia J.J. et al. Solar Energy Applications in Protected Agriculture: A Technical and Bibliometric Review... Agronomy, 2024, 14(12):2791 [Електронний ресурс]. – DOI:10.3390/agronomy14122791 https://www.mdpi.com/2073-4395/14/12/2791?utm_source

11. Australian Greenhouse Office. *Technical Guidelines – Generator Efficiency Standards* [Електронний ресурс]. – 2006. – https://policy.thinkbluedata.com/sites/default/files/TECHNICAL%20GUIDELINES%20Generator%20Efficiency%20Standards%20.pdf?utm_source

12. ResearchGate. A Review on Application of Solar Energy in Agriculture Sector / Saxena & Kumar. – IJIREM, 2021. – PDF – researchgate.net

13. Державна служба статистики України. Енергоспоживання в харчовій промисловості України у 2024 році // Офіційний вебсайт. — 2025. — URL: <http://www.ukrstat.gov.ua> (дата звернення: 10.06.2025)

14. Multiple energy resources integration in the food industry [Електронний ресурс] // Journal of Cleaner Production. — 2023. — Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652623032134>

15. Renewable Energy of Ukraine in Global Energy Transformations [Електронний ресурс] / S. Petrov, O. Shevchenko // ResearchGate. — 2024. — Режим доступу: <https://www.researchgate.net/publication/366757159>

16. Optimizing energy systems of livestock farms with computational intelligence [Електронний ресурс] / A. Müller, J. Fischer // Scientific Reports. — 2025. — Режим доступу: <https://www.nature.com/articles/s41598-025-92836-6>

17. Ukraine: Response programme, January–December 2023 [Електронний ресурс] / FAO Ukraine // FAO. — 2023. — Режим доступу: https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/b1fc70c5-ed61-43fb-9e1a-1034641ac84f/content?utm_source

					КНУ.РБ.141.25.248с-04.Л	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46