

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
першого (бакалаврського) рівня освіти

на тему:

**«РОЗРОБЛЕННЯ РЕЗЕРВНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ
МАЙСТЕРНІ НА ОСНОВІ СОНЯЧНИХ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ
БАТАРЕЙ»**

Виконав: студент IV курсу
групи Ен – 41 спеціальності
141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»
(шифр і назва спеціальності)

_____ Кісіль М.А.

Керівник: _____ Гошко М.О.

Рецензент: _____ Кригуль Р.Є.

ДУБЛЯНИ 2026

УДК 621.320

Кісіль Микола Андрійович Розроблення резервної системи електропостачання майстерні на основі сонячних фотоелектричних батарей. Кваліфікаційна робота. Дубляни: ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО, 2026. 59 с. текстової частини, 11 таблиць, 12 рисунків, 14 джерел посилання.

Мета та завдання дослідження

Метою даної дипломної роботи є розробка та техніко-економічне обґрунтування структури резервної системи електропостачання для виробничої майстерні на основі сонячних фотоелектричних батарей, інтегрованої із системою накопичення енергії.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**:

1. Провести ґрунтовний огляд, класифікацію та порівняльний аналіз існуючих типів сонячних фотоелектричних елементів та модулів (монокристалічні, полікристалічні, тонкоплівкові).
2. Обґрунтувати вибір оптимальної конфігурації ФЕ-системи, включаючи тип панелей, інвертора та системи накопичення енергії, відповідно до кліматичних умов та вимог надійності майстерні.
3. Розробити принципову електричну схему інтеграції резервної ФЕ-системи з внутрішньою електромережею майстерні, передбачивши механізми автоматичного перемикавання навантаження.
4. Виконати розрахунок необхідної потужності фотоелектричного масиву та ємності акумуляторних батарей для забезпечення безперервної роботи критичного обладнання майстерні протягом періоду відсутності централізованого живлення.
5. Провести техніко-економічне обґрунтування проєкту, включаючи оцінку капітальних та експлуатаційних витрат, а також розрахунок терміну окупності системи.

В даній кваліфікаційній роботі було розроблено резервну систему електропостачання майстерні на основі сонячних фотоелектричних батарей і, а також було розраховане освітлення з використанням світлодіодних ламп. Після розрахунків силової мережі для верстатів були вибрані кабелі та ПЗА.

Також було розраховано економічну ефективність модернізації та дано рекомендації щодо її реалізації.

Ключові слова: характеристики сучасних геліонелементів, системи резервного електропостачання з використанням сонячних батарей.

ВСТУП

Актуальність теми дослідження.

Актуальність обраної теми дипломної роботи, яка присвячена розробленню резервної системи електропостачання майстерні на основі сонячних фотоелектричних батарей, має виняткове значення, обумовлене двома взаємопов'язаними факторами: безпрецедентною кризою енергетичної безпеки України та глобальним вектором на енергетичний перехід.

З початком повномасштабного вторгнення у лютому 2022 року, національна енергетична інфраструктура перетворилася на головну ціль військових атак. Систематичні обстріли магістральних ліній електропередач та генеруючих потужностей призвели до значного зниження надійності централізованого енергопостачання, викликавши регулярні та довготривалі аварійні відключення (блекаути). Це оголило критичну вразливість традиційної архітектури енергосистеми та створило пряму загрозу економічній стабільності. Для забезпечення безперервності виробничих процесів, зокрема у сегменті малих та середніх підприємств, як-от виробничі майстерні, наявність гарантованого, незалежного джерела живлення стає імперативом, а не просто опцією.

Стратегічним напрямком у відповідь на ці виклики є радикальний перехід до децентралізації енергосистеми та активний розвиток розподіленої генерації. В основі цієї концепції лежить ідея створення високоживучих локальних енергетичних комплексів — мікромереж (microgrids). Фотоелектричні (ФЕ) системи, завдяки своїй модульній конструкції, швидкості розгортання та здатності до повної автономної роботи у поєднанні з системами накопичення енергії (СНЕ), виступають ідеальним базисом для реалізації таких резервних рішень. Вони не лише підвищують стійкість

об'єкта до зовнішніх загроз, але й інтегрують принципи відновлюваної енергетики.

Таким чином, розробка даної резервної системи ФЕ-електропостачання є вагомим внеском не тільки у зміцнення поточної енергетичної стійкості, але й у реалізацію державної стратегії повоєнної відбудови за принципом «Build Back Better», що передбачає створення нової, стійкої та екологічно чистої енергетичної інфраструктури.

Мета та завдання дослідження

Метою даної дипломної роботи є розробка та техніко-економічне обґрунтування структури резервної системи електропостачання для виробничої майстерні на основі сонячних фотоелектричних батарей, інтегрованої із системою накопичення енергії.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**:

6. Провести ґрунтовний огляд, класифікацію та порівняльний аналіз існуючих типів сонячних фотоелектричних елементів та модулів (монокристалічні, полікристалічні, тонкоплівкові).

7. Обґрунтувати вибір оптимальної конфігурації ФЕ-системи, включаючи тип панелей, інвертора та системи накопичення енергії, відповідно до кліматичних умов та вимог надійності майстерні.

8. Розробити принципову електричну схему інтеграції резервної ФЕ-системи з внутрішньою електромережею майстерні, передбачивши механізми автоматичного перемикавання навантаження.

9. Виконати розрахунок необхідної потужності фотоелектричного масиву та ємності акумуляторних батарей для забезпечення безперервної роботи критичного обладнання майстерні протягом періоду відсутності централізованого живлення.

10. Провести техніко-економічне обґрунтування проєкту, включаючи оцінку капітальних та експлуатаційних витрат, а також розрахунок терміну окупності системи.

Об'єкт, предмет дослідження та практичне значення

Об'єктом дослідження є процес забезпечення безперебійного електропостачання промислових та комерційних об'єктів.

Предметом дослідження є технічні, економічні та експлуатаційні характеристики резервної системи електропостачання, що базується на сонячних фотоелектричних батареях та накопичувачах енергії.

Практичне значення роботи полягає у створенні конкретної, верифікованої технічної моделі для впровадження високостійких та екологічно чистих систем резервного живлення на малих та середніх підприємствах України, що є важливим кроком до підвищення їхньої енергетичної незалежності та стійкості в умовах кризових ситуацій. Результати роботи можуть бути використані як методологічна основа для проєктування аналогічних систем в рамках муніципальних та приватних програм енергозбереження та децентралізації.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ПІДПРИЄМСТВА

ТОВ "ОДВ-ЕЛЕКТРИК", засноване у 2003 році, є вітчизняним підприємством, основним профілем якого є виготовлення якісної кабельної продукції та комплектуючих для автомобільного транспорту.

Підприємство розміщене у місті Новий Розділ Львівської області, на висоті близько 300 м над рівнем моря, що забезпечує йому зручне територіальне розташування.

Наявність зручного транспортного сполучення, зокрема залізничної станції на відстані приблизно 3 км, сприяє зменшенню логістичних витрат і спрощує постачання матеріалів та відвантаження готової продукції.

Починаючи з 2009 року, "ОДВ-ЕЛЕКТРИК" працює як з великими замовниками, так і з меншими покупцями, постачаючи кабелі та комплектуючі для автомобілів марок BMW, Rolls-Royce, Audi, Mercedes-Benz, Volkswagen, Porsche і Volvo.

Виробничі дільниці оснащені сучасним обладнанням німецького виробництва, що дає змогу підтримувати високий рівень продуктивності та якості виробів.

Основні виробничі напрями підприємства:

- виготовлення кабелів для систем свічок запалювання;
- виробництво кабельних елементів для подушок безпеки;
- виготовлення комплектуючих для автомобільних сидінь;
- виробництво елементів для систем кермового керування.

Для кожної групи продукції на підприємстві організовано окремі виробничі зони, що підвищує ефективність роботи та спрощує контроль якості.

На підприємстві працюють підготовлені фахівці, які пройшли відповідне навчання й атестацію з питань охорони праці.

ТОВ "ОДВ-ЕЛЕКТРИК" можна охарактеризувати як стабільного виробника, що пропонує широкий асортимент якісної продукції за конкурентною вартістю.



Рисунок 1.1 - Приклад готової продукції та процес паяного з'єднання проводів.



Рисунок 1.2 - Обладнання типу термопластавтомат.

Таблиця 1.1 - Перелік обладнання та його встановлена потужність

№	Обладнання	К-ть	Потужність Р, кВт
1.	Обжимний станок Комакх Alpha 433S	2	7
2.	Обжимний станок Комакх Gamma333	2	11
3.	Термопластавтомат Shefer Megomat 1000	2	20
4.	Нарізочний верстат Комакх Alpha 477	2	10

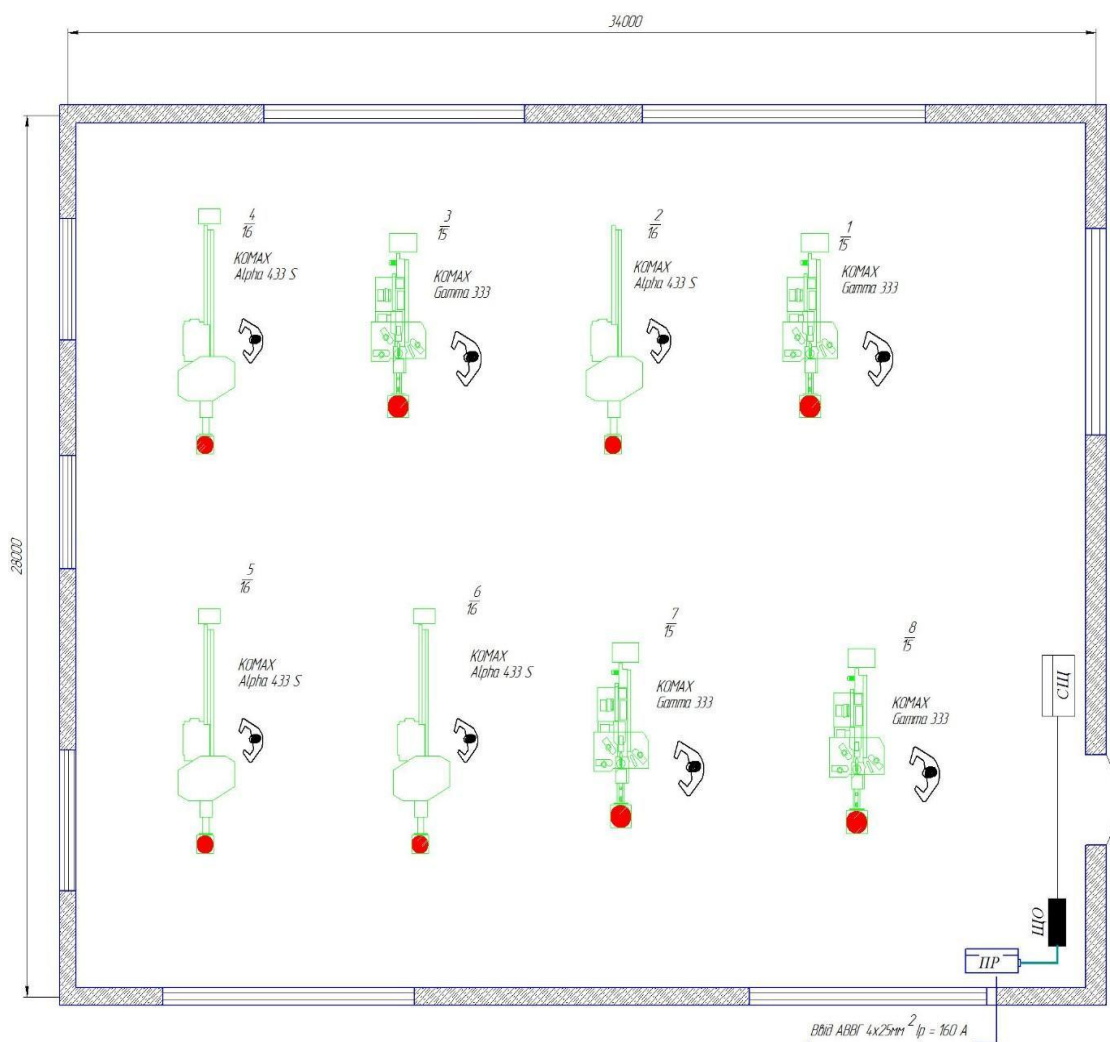


Рисунок 1.3 - План підприємства.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ СОНЯЧНИХ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ СИСТЕМ

Розробка ефективної резервної системи електропостачання для виробничої майстерні на основі фотоелектричних (ФЕ) технологій вимагає ґрунтовного розуміння фізичних процесів, конструктивних особливостей та класифікації самих сонячних модулів. Цей розділ присвячений детальному огляду типів сонячних батарей, їхніх переваг, недоліків та ключових характеристик, що є критично важливим для обґрунтованого вибору обладнання.

2.1 Фізичні основи та ключові параметри фотоелектричних елементів

2.1.1 Принцип дії р-n переходу та фотоелектричний ефект

Явище фотоелектричного перетворення ґрунтується на використанні напівпровідникових матеріалів, здебільшого кремнію. Для функціонування ФЕ-елемента необхідно створити електричне поле, яке розділятиме заряджені частинки, що виникають під дією світла. Це досягається шляхом створення р-n переходу — контакту між напівпровідником р-типу (з переважно дірковою провідністю, легованим акцепторними домішками, наприклад, бором) та напівпровідником n-типу (з переважно електронною провідністю, легованим донорними домішками, наприклад, фосфором).

У місці контакту (р-n перехід) відбувається взаємна дифузія носіїв заряду, що призводить до формування області просторового заряду (ОПЗ) та виникнення внутрішнього електричного поля. Це поле запобігає подальшому руху електронів у р-область і дірок в n-область.

Коли фотон сонячного світла потрапляє на поверхню ФЕ-елемента, він поглинається напівпровідниковим матеріалом. Якщо енергія фотона ($E_{\text{фотон}}$) більша або дорівнює ширині забороненої зони (E_g) напівпровідника ($E_{\text{фотон}} \geq E_g$), відбувається генерація пари носіїв заряду: вільного електрона у зоні провідності та дірки у валентній зоні.



Рисунок 2.1 – Встановлення сонячної електростанції

Сформовані пари «електрон-дірка» потрапляють під дію внутрішнього електричного поля ОПЗ: електрони притягуються до n-області, а дірки — до p-області. Таке просторове розділення носіїв призводить до накопичення надлишкового негативного заряду в n-області та позитивного в p-області, що спричиняє виникнення фото-ЕРС. При підключенні зовнішнього навантаження виникає постійний електричний струм, і система починає працювати як джерело живлення.

2.1.2 Еквівалентна електрична схема фотоелемента

Для аналізу роботи та розрахунку потужності ФЕ-елемент моделюють за допомогою еквівалентної електричної схеми. Ця схема є джерелом струму

(що генерує фотострум I_{ph}), паралельно якому підключено ідеальний діод, що моделює р-n перехід. Також у схему включають паразитуючі опори:

1. Паралельний (шунтуючий) опір (R_{sh}): Моделює втрати струму через витоки на краях елемента або дефекти всередині структури. Бажано, щоб R_{sh} був максимально великим.

2. Послідовний опір (R_s): Моделює втрати на внутрішніх контактах, металевих шинах та об'ємному опорі напівпровідника. Бажано, щоб R_s був мінімальним. Високий R_s значно знижує ККД елемента.

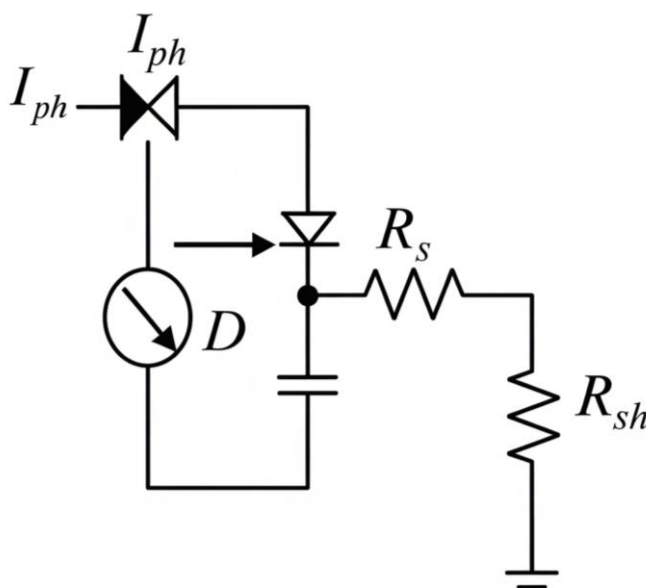


Рисунок 2.2 - Еквівалентна електрична схема сонячного фотоелемента.

2.1.3 Вольт-амперна характеристика (ВАХ) та ефективність

Вольт-амперна характеристика (ВАХ) є графічною залежністю струму (I) від напруги (U) при стандартних умовах тестування (Standard Test Conditions, STC: інсоляція 1000 Вт/м^2 ; температура елемента 25°C , маса атмосфери АМ 1.5).

Ключові параметри ВАХ:

- Струм короткого замикання ($I_{к.з.}$): Струм при нульовій напрузі ($U=0$). В ідеальному випадку $I_{к.з.} \approx I_{ph}$. Він прямо пропорційний інтенсивності опромінення.

- Напруга холостого ходу ($U_{х.х.}$): Напруга при нульовому струмі ($I=0$). Залежить від температури та якості р-п переходу.

- Точка максимальної потужності (P_{max}): Точка на кривій, що відповідає добутку $U_{opt} \cdot I_{opt}$. Це максимальна потужність, яку може видати елемент.

- Коефіцієнт заповнення (Fill Factor, FF): Міра якості елемента, що показує, наскільки близька його ВАХ до ідеальної прямокутної характеристики.

$$FF = P_{max} / (U_{х.х.} \cdot I_{к.з.}) = (U_{opt} \cdot I_{opt}) / (U_{х.х.} \cdot I_{к.з.})$$

Таблиця 2.1 - Вплив зовнішніх факторів на параметри ВАХ

Параметр	Зростання інсоляції	Зростання температури
$I_{к.з.}$	Значно зростає (лінійно)	Незначно зростає
$U_{х.х.}$	Незначно зростає (логарифмічно)	Значно знижується
P_{max}	Зростає	Знижується
ККД	Майже не змінюється	Знижується

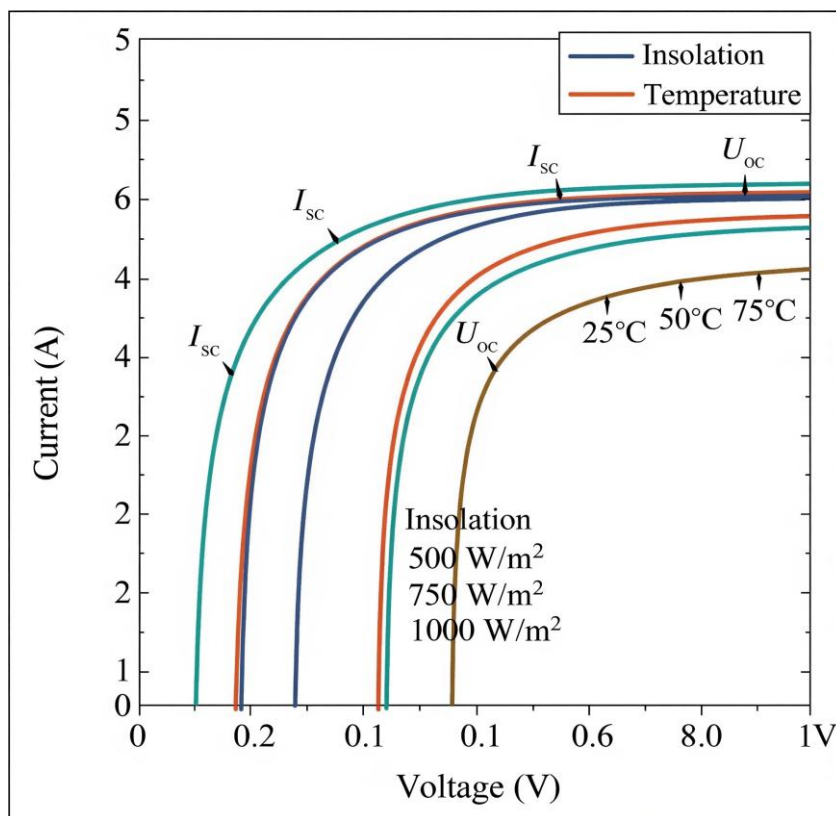


Рисунок 2.3 - Графік ВАХ, що ілюструє вплив інсоляції та температури

2.2 Класифікація сонячних фотоелектричних модулів за поколіннями та матеріалами

Сучасні ФЕ-модулі класифікують за трьома поколіннями, виходячи з матеріалу та технології виготовлення.

Перше покоління: Технології на основі кристалічного кремнію (Si)

До першого покоління належать кремнієві сонячні елементи (ФЕЕ) — найнадійніші та найпоширеніші на ринку (понад 90% світового виробництва).

2.2.1 Монокристалічні (Mono-Si) та Полікристалічні (Poly-Si) елементи

Таблиця 2.2 – Порівняльна характеристика

Характеристика	Монокристалічні (Mono-Si)	Полікристалічні (Poly-Si)
Сировина	Високочистий кремній	Кремній меншої чистоти

Метод виробництва	Метод Чохральського: вирощування єдиного кристала.	Лиття розплавленого кремнію у форму (мультикристалічний блок).
Структура	Однорідна кристалічна структура. Вища рухливість носіїв.	Наявність меж кристалічних зерен, що знижують ефективність.
Колір	Однорідний чорний або темно-синій.	Синій із видимими границями зерен.
ККД (комерційний)	Високий (19–23%+)	Середній (16–20%)
Переваги	Максимальна ефективність на одиницю площі, краща робота при слабкому освітленні.	Нижча вартість виробництва, вища стійкість до деградації PID.
Недоліки	Вища вартість, більш тривалий та енергоємний процес виробництва.	Нижча продуктивність на площу.

Високоєфективні кремнієві технології (PERC, Half-Cut, Bifacial)

Сучасний розвиток ФЕ-технологій сфокусований на підвищенні ККД елементів Mono-Si.

1. PERC-технологія (Passivated Emitter and Rear Cell): Це еволюція монокристалічного елемента. Основна ідея — додавання шару пасивації (діелектричного шару) на задній поверхні елемента.

а. *Принцип:* Пасиваційний шар відбиває світло, яке пройшло крізь кремній, назад у кристал, даючи фотонам другий шанс бути поглиненими. Це збільшує захоплення світла та зменшує рекомбінацію носіїв заряду на задній поверхні.

b. *Результат:* Збільшення ККД на 1–2% порівняно зі стандартними Mono-Si. На сьогодні PERC є галузевим стандартом.

2. Half-Cut Cells (Напівелементи): Модулі, в яких кожен стандартний ФЕ-елемент розрізаний навпіл лазером.

a. *Принцип:* Розрізання елемента зменшує його площу та вдвічі знижує струм (I) в кожному напівелементі. Оскільки втрати потужності на послідовному опорі ($P_{\text{втр}} = I^2 \cdot R_s$) пропорційні квадрату струму, загальні омічні втрати потужності в модулі зменшуються на 75%.

b. *Результат:* Зниження ризику виникнення «гарячих точок» (hot spots) та підвищення надійності. Краща продуктивність при частковому затіненні.

3. Bifacial Modules (Двосторонні модулі): Ці модулі здатні поглинати світло з обох сторін.

a. *Конструкція:* Задня частина модуля замінена на прозоре скло або прозорий бекшит.

b. *Переваги:* Можуть генерувати на 5% до 30% більше енергії. Ідеально підходять для наземних станцій.

Друге покоління: Тонкоплівкові ФЕ-модулі (Thin-Film)

Тонкоплівкові технології передбачають нанесення активного напівпровідникового матеріалу дуже тонким шаром на підкладку.

Аморфний кремній (a-Si)

Використовується кремній, який не має впорядкованої кристалічної структури. Це забезпечує гнучкість, але суттєво знижує ККД (6–10%).

Особливість: Низький температурний коефіцієнт потужності, що робить їх ефективними при високих температурах. Однак, мають схильність до деградації під дією світла (ефект Штаблера-Ронські).

Напівпровідникові сполуки (CdTe, CIGS)

Таблиця 2.3 - Напівпровідникові сполуки

Технологія	Телурид кадмію (CdTe)	Міді-індію-галію-селену (CIGS)
Опис	Другий за поширеністю тип тонкоплівкових модулів. Виробництво дешевше.	Складна мультикомпонентна технологія, високий лабораторний ККД.
ККД (комерційний)	До 18%	До 19%
Переваги	Низька вартість, менша чутливість до кута падіння світла.	Висока ефективність, естетичний вигляд.
Недоліки	Використання токсичного кадмію.	Складна і менш масштабована технологія.

1.2.3. Третє покоління: Перспективні технології

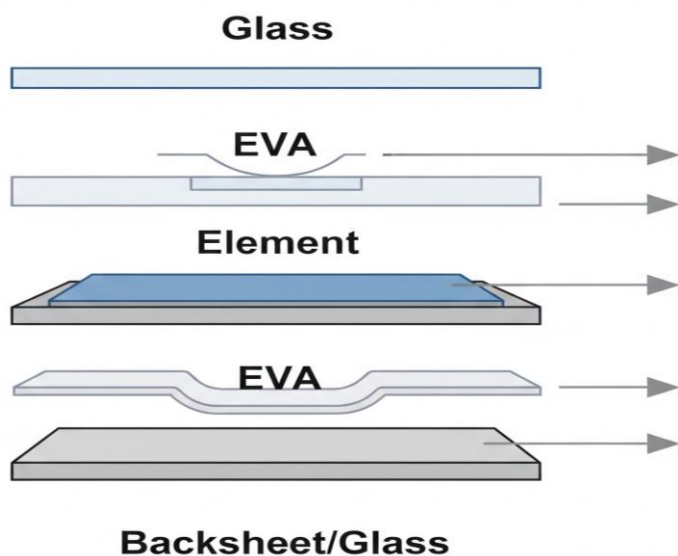


Рисунок 2.4 -. Схема багат шарової конструкції ФЕ-модуля.

Третє покоління зосереджено на підвищенні теоретичного ККД шляхом використання нових матеріалів.

1. Перовскітні сонячні елементи: Найперспективніший напрямок. Лабораторний ККД уже перевищує 25%. Головний виклик — стабільність.

2. Тандемні елементи (кремній-перовскіт): Поєднують кремнієвий елемент та перовскітний елемент. Теоретичний ККД може сягати 30% і вище.

2.3 Конструктивні особливості та експлуатаційні характеристики ФЕ-модулів

2.3.1 Будова стандартного фотоелектричного модуля

Стандартний модуль складається з 5-7 основних шарів:

1. Захисне скло (Front Glass): 3.2 мм загартоване скло.
2. Інкапсуляційний матеріал (EVA/POE): Герметично ізолює елементи.
3. Фотоелементи (Cells): Кремнієві пластини.
4. Задня захисна плівка (Backsheet): Полімерний матеріал для ізоляції.
5. Рама (Frame): Анодований алюміній.
6. З'єднувальна коробка (Junction Box): Містить байпасні діоди та виводи.

2.3.2 Фактори деградації потужності та надійності

Надійність ФЕ-модуля є критичним параметром.

1. Потенційно індукована деградація (PID): Зниження продуктивності через високу напругу між елементами та рамою.
2. Світлоіндукована деградація (LID): Падіння потужності в перші години експлуатації.
3. Ефект «Гарячих точок» (Hot Spots): Локальний перегрів через затінення.
4. Байпасні діоди (Bypass Diodes): Захищають від гарячих точок.

2.4 Порівняльний аналіз типів сонячних модулів та вибір для резервної системи

Таблиця 2.4 - Порівняльний аналіз типів сонячних модулів

Параметр	Монокристалічні PERC (Mono-Si)	Полікристалічні (Poly-Si)	Тонкоплівкові (CdTe, CIGS)
Переважає застосування	Обмежена площа (дахи, фасади).	Великі наземні станції.	Індустріальне застосування.
ККД	20–23%	16–20%	12–19%
Вартість/Вт	Середня/Висока	Середня/Низька	Низька
Температурний коефіцієнт	-0,35% °C	-0,40% °C	-0,20% °C (Найкращий)
Довговічність	25–30 років	25 років	20–25 років
Стійкість до затінення	Висока	Середня	Середня
Оптимальність для майстерні	Найвища	Середня	Низька

Висновки для вибору:

На сучасному етапі оптимальним вибором є монокристалічні модулі з технологією PERC або Half-Cut. Вони забезпечують максимальну генерацію енергії та мають найкращі показники надійності.

Хоча тонкоплівкові модулі мають кращу ефективність при високих температурах, їхній низький ККД на одиницю площі робить їх неефективними для невеликих об'єктів.

3 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ

3.1 РОЗРАХУНОК СИЛОВОЇ МЕРЕЖІ

Силова мережа являє собою комплекс електричних ліній і підстанцій, призначених для передавання та розподілу електроенергії від джерел живлення до споживачів.

До основних завдань розрахунку силової мережі належать:

- визначення потрібних перерізів проводів і кабелів з урахуванням пропускної здатності та допустимого нагрівання;
- підбір апаратів захисту, зокрема автоматичних вимикачів і запобіжників, для запобігання перевантаженням та коротким замиканням;
- вибір трансформаторного обладнання для забезпечення необхідного рівня напруги;
- формування режимів роботи мережі з метою оцінювання її стійкості та експлуатаційної надійності;
- удосконалення режимів роботи мережі для зменшення втрат електричної енергії.

Ключові параметри силової мережі

Основними параметрами силової мережі є:

- номінальна напруга - розрахункове значення напруги, на яке спроектована мережа;
- номінальний струм - допустиме значення струму, що може тривало протікати мережею без перегрівання провідників;
- активна потужність - частина електричної потужності, яка перетворюється на корисну роботу електроприймачів;

- реактивна потужність - потужність, необхідна для створення електромагнітних полів у споживачах;
- повна потужність - сумарна величина, що враховує активну та реактивну складові;
- коефіцієнт потужності - показник співвідношення активної потужності до повної;
- втрати потужності - частина енергії, що розсіюється у провідниках та інших елементах мережі;
- коефіцієнт корисної дії - відношення корисної потужності, переданої споживачам, до загальної потужності, отриманої від джерела.

Методи виконання розрахунку силової мережі

Для розрахунку силових мереж застосовують кілька основних підходів:

- аналітичні методи, що ґрунтуються на математичних залежностях і дають змогу отримати точні розрахункові результати;
- чисельні методи, які використовують комп'ютерні програми та підходять для аналізу складних мереж із великою кількістю елементів;
- евристичні методи, що базуються на практичному досвіді та дозволяють отримати орієнтовні результати.

Метод розрахунку обирають з урахуванням складності електричної мережі, потрібної точності та наявних технічних ресурсів.

Чинники, що впливають на розрахунок силової мережі

Під час розрахунку силової мережі необхідно брати до уваги такі чинники:

- номінальні значення напруги та струму мережі;
- активну й реактивну потужність електроприймачів;
- коефіцієнт потужності встановленого обладнання;
- довжину кабельних ліній і перерізи провідників;
- активний опір та індуктивність проводів і кабелів;

- характеристики трансформаторів та інших елементів електромережі;
- умови експлуатації, зокрема температуру й вологість навколишнього середовища.

Урахування зазначених факторів дає змогу забезпечити безпечну, надійну та стабільну роботу силової мережі.

Основні вимоги до розрахунку силової мережі

До розрахунків силової мережі ставлять такі вимоги:

- точність - результати мають бути достатньо достовірними для гарантування безпечної та надійної експлуатації мережі;
- економічність - розрахунок повинен забезпечувати раціональне використання часу, матеріалів і фінансових ресурсів;
- зрозумілість - методика розрахунку має бути доступною для перевірки та практичного застосування.

3.1.1 Вибір пуско-захисної апаратури та розподільних пристроїв

Пуско-захисні апарати й розподільні пристрої є складовими електромережі, що забезпечують безпечну експлуатацію та надійну роботу електродвигунів.

Під час вибору такого обладнання враховують такі основні показники:

- робочу напругу електричної мережі;
- номінальний струм електродвигуна;
- значення пускового струму електродвигуна;
- кліматичне виконання апаратури;
- умови захисту обладнання від впливу навколишнього середовища;
- технологічні особливості роботи електродвигуна.

Таблиця 3.1 - Паспортні дані електродвигунів

Найменування обл.	Тип Дв.	К-ть	Кі	Ном Р кВт.	Ном І.
Комакх Alpha 433S	VEM Motors	2	6	7	10,8
Комакх Gamma 333	VEM Motors	2	6,5	11	17,02
Shefer Megomat 1000	VEM Motors	2	7	20	30,95
Комакх Alpha 477	VEM Motors	2	7,5	10	15,47

Для визначення пускового струму електродвигуна використовується формула:

$$I_{\text{п}} = I_{\text{н}} \cdot K_i, \text{ A}, \quad (2.1)$$

де $I_{\text{н}}$ – номінальний струм електродвигуна, А;

K_i – кратність пускового струму.

$$I_{\text{п}} = 10,8 \cdot 6 = 64,8 \text{ A}.$$

На основі розрахованого пускового струму підбирається автоматичний вимикач (QF1) з відповідними характеристиками:

$$U_{\text{а.н}} \geq U_{\text{мер}}, \text{ В}$$

$$I_{\text{а.н}} \geq I_{\text{н}}, \text{ А}$$

$$I_{\text{р.н}} \geq I_{\text{п}}, \text{ А}.$$

Цим умовам відповідає автоматичний вимикач фірми «HagerMC313A», який має три полюса і номінальний струм 13А.

$$380 = 380 \text{ В}$$

$$63 \geq 10,8 \text{ А}$$

$$13 \geq 10,8$$

Кількість поділок на спрацювання теплового розчіплювача (n) визначається за формулою:

$$n = \frac{I_{\text{н}}}{I_{\text{р.н}}} = \frac{10,8}{13} = 0,72 \quad (2.2)$$

Електромагнітний пускач (KM1) підбирається з урахуванням:

$$U_{п.н} \geq U_{мер}, В$$

$$I_{р.н} \geq I_n, А$$

$$I_{р.н} \geq \frac{I_n}{6}, А$$

Цим умовам відповідає електромагнітний пускач фірми MoellerEatonPL4 15/10 з номінальним навантаженням 15А.

$$660 \geq 380 В$$

$$38 \geq 10,8А$$

$$13 \geq 10,8 \cdot 6/6 А$$

$$13 \geq 10,8А$$

Електротеплове реле підбирається з урахуванням:

$$U_{р.н} \geq U_{мер}, В$$

$$I_{р.н} \geq I_n, А$$

$$I_{н.б} \geq I_{н.дв}, А$$

Заданим умовам відповідає електротеплове реле EATONZB32-10 (10.....32А).

Вибір пуско-захисного обладнання для інших двигунів здійснюється аналогічно з урахуванням їхніх характеристик та даних, занесених до таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Пуско-захисне обладнання для двигунів

Марки Електродвигунів	Pn, кВт	In, А	Марки електромагнітних пускачів	In, А	Марки автоматичних вимикачів	In.а., А
VEM Motors	7	10,8	Eaton Dilm12	12	MoellerEatonPL4-C20	20
VEM Motors	11	17,02	Eaton Dilm18	18	MoellerEatonPL4-C20	20

VEM Motors	20	30,95	Eaton Dilm40	40	MoellerEatonPL4- C32	32
VEM Motors	10	15,47	Eaton Dilm18	18	MoellerEatonPL4- C20	20

Усі автоматичні вимикачі встановлюються в розподільних щитках, а їх маркування та застосовані захисні пристрої наведено в таблиці 3.3.

3.1.2 Вибір марок, перерізів проводів і кабелів та способів їх прокладання

Будова та основні властивості проводів і кабелів

Провід складається з одного або кількох ізольованих провідників, які можуть бути скручені між собою та мати спільну захисну оболонку.

Кабель містить два або більше ізольованих провідників у спільній оболонці, а також за потреби може мати додаткові захисні елементи, наприклад броню.

До основних характеристик проводів і кабелів належать:

- матеріал струмопровідної жили: мідь, алюміній, сталь або комбіновані сплави;
- кількість жил: одножильне або багатожильне виконання;
- переріз провідника, який визначають за величиною струму та допустимим нагріванням;
- ізоляція, що захищає провідник від електричного контакту та механічних пошкоджень;
- зовнішня оболонка, яка захищає ізоляційний шар від зовнішніх впливів;
- броня, що забезпечує підвищений механічний захист кабелю;

- маркування, яке містить відомості про тип кабелю, кількість жил, переріз та інші технічні параметри.

Класифікація проводів і кабелів

Проводи та кабелі поділяють за такими ознаками:

- за матеріалом провідника:
 - мідні - поширені завдяки високій електропровідності та корозійній стійкості, проте мають вищу вартість;
 - алюмінієві - легші та дешевші за мідні, але характеризуються нижчою провідністю;
 - провідники з інших матеріалів - застосовуються у спеціальних випадках, наприклад для термостійких або негорючих кабелів;
- за конструктивним виконанням:
 - ізольовані - найчастіше використовуються в електроустановках різного призначення;
 - неізольовані - застосовуються у низьковольтних установках або в умовах, де висока ізоляція не є обов'язковою;
 - броньовані - мають додатковий захист від механічних пошкоджень;
 - неброньовані - використовуються там, де немає потреби у посиленому механічному захисті;
- за кількістю жил:
 - одножильні - призначені для прокладання однофазних або трифазних ліній;
 - багатожильні - застосовуються у багатофазних мережах і для підключення гнучких з'єднань;
- за функціональним призначенням:
 - силові - призначені для передавання електричної енергії;

- слабострумні - застосовуються для передавання сигналів малої потужності;
- спеціальні - використовуються в особливих умовах експлуатації, наприклад за підвищених температур або вимог до негорючості;
- за способом прокладання:
 - відкрите прокладання - по стінах, стелі або підлозі;
 - закрите прокладання - у трубах, каналах, коробах або під плінтусами;
 - підземне прокладання - у траншеях на нормативній глибині не менше 70 см;
 - прокладання у воді - у спеціальних захисних трубах або без них залежно від умов експлуатації.

Фактори, що впливають на вибір проводів і кабелів

- номінальний струм: переріз кабелю має забезпечувати проходження робочого струму без перегрівання;
- довжина кабельної лінії: зі збільшенням довжини зростає потреба у більшому перерізі провідника;
- спосіб прокладання: у трубах, каналах, ґрунті або воді можуть знадобитися кабелі з більшим перерізом, ніж за відкритого монтажу;
- температура середовища: за підвищених температур необхідно враховувати додатковий запас за перерізом;
- коефіцієнт заповнення: при прокладанні кількох кабелів в одному каналі або трубі враховують щільність їх розміщення;
- тип ізоляції: ізоляційний матеріал має відповідати умовам вологості, температури та хімічного впливу;
- напруга: марка кабелю повинна відповідати номінальній напрузі мережі;

- кількість жил: вона має відповідати числу фаз, нейтралі та захисного провідника;
- гнучкість: конструкція проводу або кабелю повинна відповідати умовам монтажу;
- вартість: вибір кабельної продукції має узгоджуватися із запланованим бюджетом.

Для монтажу доцільно застосовувати сертифіковану кабельно-провідникову продукцію перевірених виробників.

Окрім цього, слід враховувати:

- вимоги безпеки: проводи й кабелі необхідно прокладати так, щоб вони не створювали небезпеки для людей і майна;
- нормативні вимоги: монтаж та експлуатація кабельних ліній повинні відповідати ПУЕ та іншим чинним нормативним документам;
- естетичні вимоги: прокладання кабелів бажано виконувати так, щоб воно не погіршувало зовнішній вигляд приміщення.

Маркування кабельно-провідникової продукції

Маркування проводів і кабелів зазвичай містить такі дані:

- тип проводу або кабелю, наприклад ПВ-1, ВВГ-П, АВБШв;
- кількість жил, наприклад 2х1,5, 3х2,5 або 5х2,5;
- переріз провідника, наприклад 1,5 мм², 2,5 мм² або 4 мм²;
- вид ізоляції, наприклад ПВХ, ПЕ чи FR-LS;
- номінальну напругу, наприклад 380 В, 660 В або 1000 В;
- дату виготовлення продукції;
- номер виробничої партії;
- назву підприємства-виробника, наприклад "Кабель", "Одесакабель", "ЗЗМК".

Маркування наносять на оболонку кабелю у вигляді текстових позначень, символів або кольорових смуг.

У сільськогосподарських електроустановках переважно застосовують мідні проводи та кабелі перерізом від 2,5 мм². Зазвичай обирають такі види електропроводок, які не потребують сталевих труб. У цьому проєкті силова проводка прокладається у сталевих трубах для захисту ізоляції та жил від механічного пошкодження.

Переріз жил провідників або кабелів вибирають так, щоб їх тривало допустимий за нагріванням струм навантаження ($I_{доп}$) був не меншим за максимальний тривалий робочий струм електричного кола ($I_{макс.р}$):

$$I_{доп} \geq I_{макс.р}$$

Максимальний робочий струм магістралі, від якої живиться кілька електроприймачів, визначають за формулою:

$$I_{макс.р} = K_0 \sum_{1}^n I_{ном}$$

Вибраний провід або кабель необхідно перевірити на відповідність його перерізу апарату захисту за умовою:

$$I_{доп} \geq K_3 I_3$$

де K_3 - кратність допустимого струму провідника по відношенню до номінального струму спрацювання захисного апарату, $K_3=1$;

I_3 - номінальний струм або струм спрацювання захисного апарату.

Приклад: вибираємо кабель для KomaxAlpha 433S ($I = 19$ А) з мережі марки ВВГ 5×1,5.

$$I_{макс.р} = 1 \cdot 10,8 = 10,8 \text{ А};$$

$$I_{доп} \geq 1 \cdot 11,8 = 11,8 \text{ А};$$

$$11,8 \text{ А} > 10,8 \text{ А}.$$

Аналогічно вибираємо інші кабелі та заносимо їх у таблицю 2.3

Таблиця 3.3 - Марки кабелів для живлення електрообладнання

№п\п	Найменування обл.	К-ть	Ном.І.	Марка кабеля	І.доп.А
1.	Комax Alpha 433S	2	10,8	NYM 5x1,5	19
2.	КомaxGamma 333	2	17,02	NYM 5x2,5	25
3.	SheferMegomat 1000	2	30,95	NYM 5x4	35
4.	КомaxAlpha 477	2	15,47	NYM 5x2,5	25

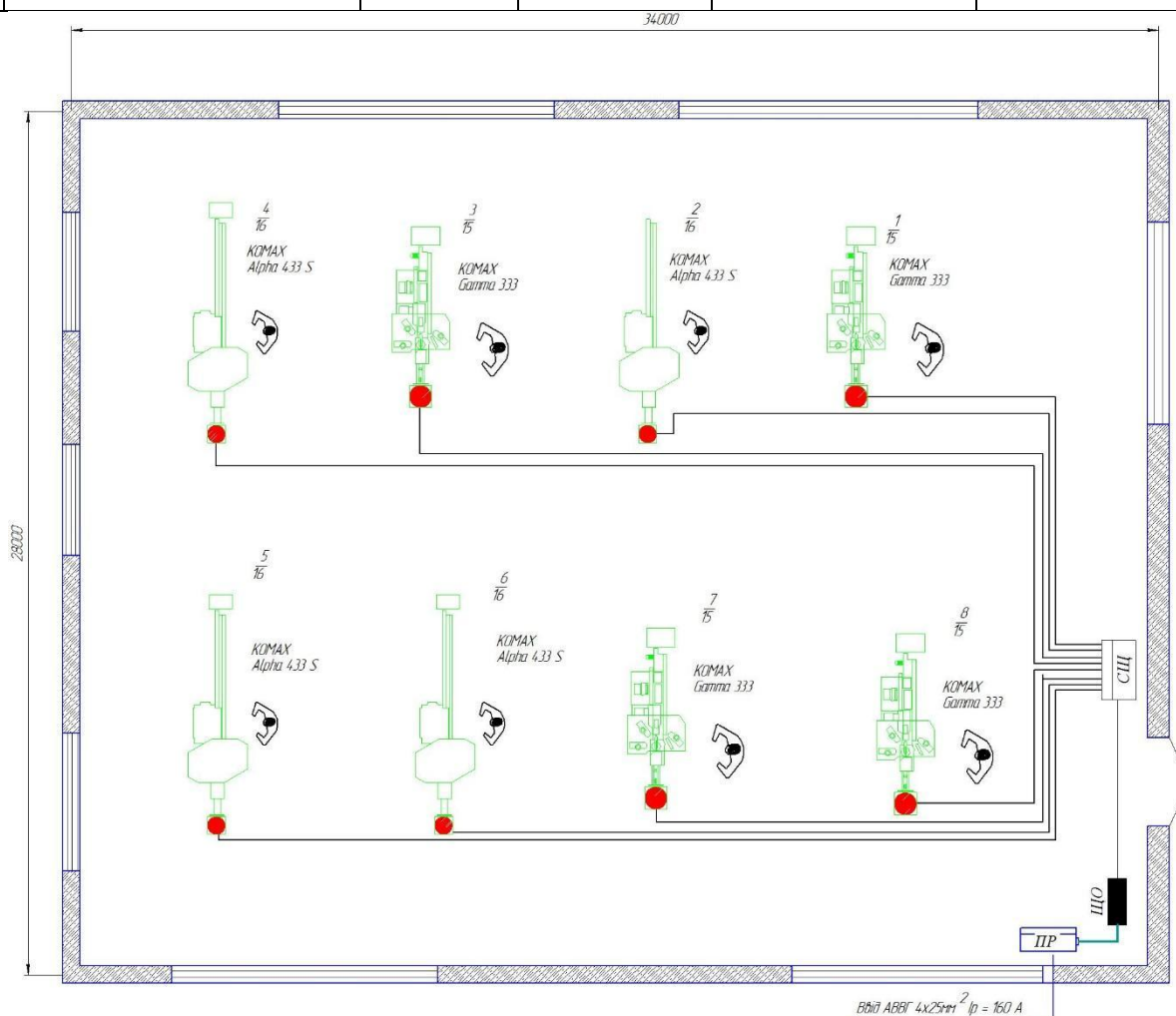


Рисунок 3.1 - План підприємства і з нанесенням силової проводки.

3.2 Розрахунок мережі освітлення

3.2.1 Розрахунок освітлювальних установок з світлодіодними лампами

Дано:

Розміри цеху: 34 м x 28 м x 4.5 м

Тип світильника: NSLED BL-LLF/20W-1880

Розрахунок висоти підвісу світильників:

$$H_p = 4,5 - (0,7 + 0,85) = 2,95 \text{ м.}$$

Визначення відносної відстані між світильниками: $\lambda = 0.7$

Визначення оптимальної відстані між світильниками:

$$L = 1,4 \cdot 2,95 = 4,13 \text{ м.}$$

Визначення кількості рядів світильників:

$$n_p = \frac{28}{4,13} = 6,7$$

Прийmemo $n_p = 7$.

Визначення відстані від крайніх світильників до стін:

$$L_c = 0,5 \cdot 4,13 = 2,065 \text{ м.}$$

Визначення розрахункової відстані між рядами:

$$L_B = \frac{B - 2L_c}{n_p - 1}, \quad (4.5)$$

$$L_B = \frac{28 - 2 \cdot 2,065}{7 - 1} = 4 \text{ м.}$$

Визначення розрахункової відстані між світильниками в ряду:

$$L_a = \frac{4,13^2}{4} = 4.2 \text{ м.}$$

Визначення кількості світильників у ряду:

$$n_a = \frac{A - 2 \cdot L_c}{L_a}, (4.7)$$

де A – довжина приміщення, м

$$n_a = \frac{34 - 2 \cdot 2,065}{4,2} = 7,1$$

Приймаємо $n_a = 7$.

Визначення загальної кількості світильників:

$$N = 7 \cdot 7 = 49$$

Визначення індексу приміщення:

$$i = \frac{34 \cdot 28}{2,95 \cdot (34 + 28)} = \frac{952}{179,8} = 5,3$$

Приймаємо нормовану освітленість $E_n = 100$ лк.

Визначення розрахункового світлового потоку світильника:

$$\Phi_{p.c} = \frac{100 \cdot 34 \cdot 28 \cdot 1,3 \cdot 1,15}{49 \cdot 0,7} = \frac{142324}{34,3} = 4149 \text{ лм.}$$

Вибір лампи: тип лампи: BellsonLED 24WT8 з $P_n = 24$ Вт, $\Phi_{л} = 2150$ лм.

Визначення фактичної освітленості:

$$E_{\phi} = 100 \cdot \frac{2150 \cdot 2}{4149} = 103,6 \text{ лк.}$$

Визначення відхилення освітленості:

$$E = \frac{103,6 - 100}{100} \cdot 100 \approx 3,6 \%$$

Установлена потужність освітлювальної установки

$$P_y = 24 \cdot 2 \cdot 49 = 2352 \text{ Вт.}$$

3.2.2 Вибір пуско-захисної апаратури освітлювальної мережі

Для однофазних груп з світлодіодними лампами розрахунковий струм:

$$I_{\text{сп1}} = \frac{2,352 \cdot 10^3}{220} = 10,7 \text{ А};$$

Вибір автоматичних вимикачів

Номінальний струм розчіплювачів автоматичних вимикачів повинен бути більшим або рівним розрахунковому струму групи:

$$I_{\text{ном.р}} \geq I_{\text{розр}} ;$$

$$I_{\text{у.е}} \geq 1,4 \cdot I_{\text{розр}} .$$

Вибираємо автоматичні вимикачі серії Moeller Eaton PL4-C16 з номінальним струмом 16 А ($I_n = 16 \text{ А}$)

3.2.3 Вибір марок і перерізів проводів, кабелів та способів їх прокладання

У цеху прокладка проводки буде виконуватися відкритим способом в лотках, що прикріплені до стелі.

Для груп освітлювального щитка вибираємо провід типу NYM-5x1.5, допустимий струм якого становить 15 А ($I_{\text{доп}} = 15 \text{ А}$).

Перевірка: $15 \text{ А} > 14,98 \text{ А}$, отже, обраний переріз проводу є достатнім.

Визначаємо втрату напруги для груп освітлювального щитка HagerVolta:

$$\Delta U_1 = \frac{2,352 \cdot 34}{12,8 \cdot 1,5} = 4,1 \text{ \%};$$

Так, як втрати напруги не перевищують допустимих значень, то провід можна не міняти.

Таблиця 3.1 - Результати вибору ламп проводів та автоматів

№ групи	Освітлювальний щиток	К-ть ламп	Потужність лампи, Вт	Марка та переріз провода	Автомат. вимикач
1	Hager Volta	98	24	NYM 5x1,5	Moeller EatonPL4-C16

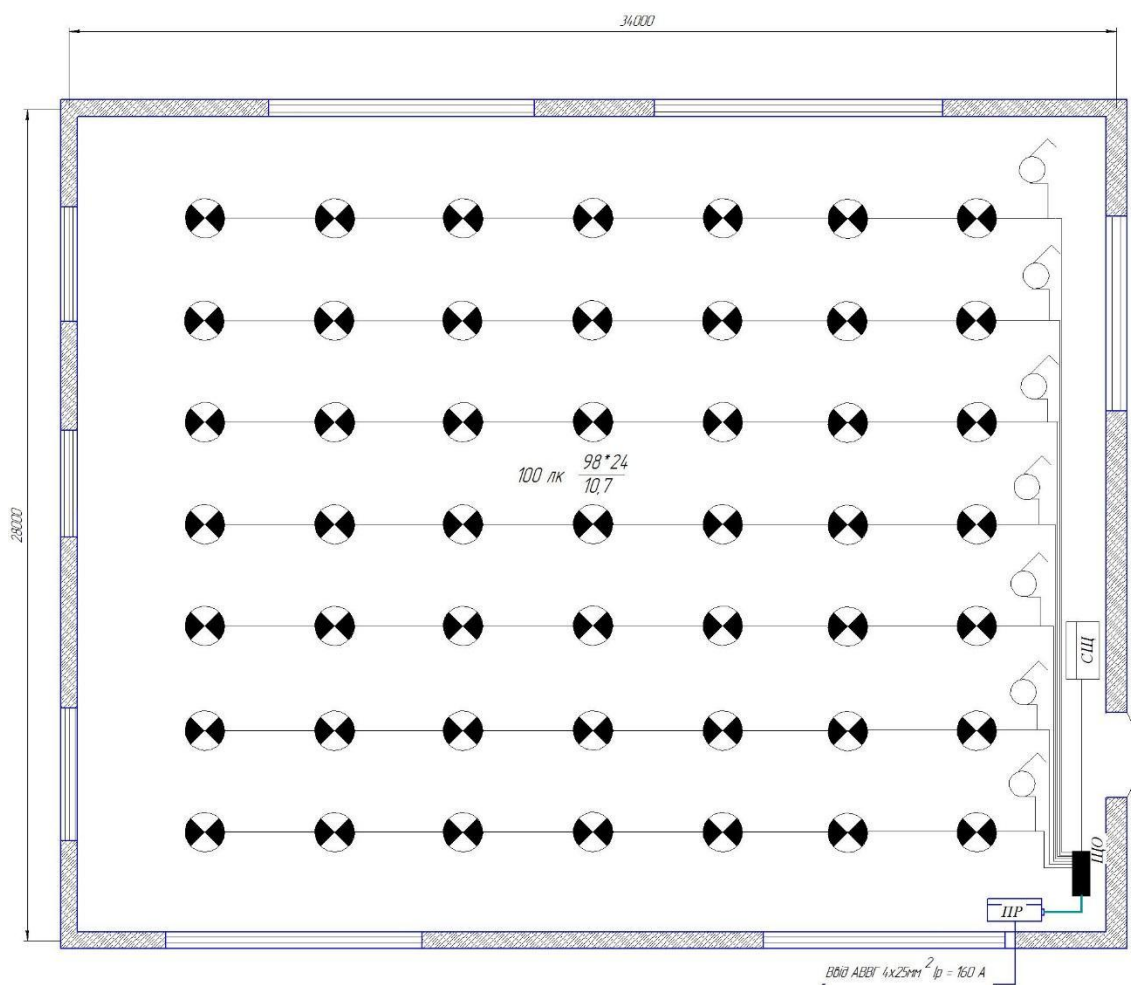


Рисунок 3.2 - План підприємства з нанесенням освітлювальної проводки для світлодіодних лампи.

4 ТЕХНІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РЕЗЕРВНОГО ФОТОЕЛЕКТРИЧНОГО КОМПЛЕКСУ (ФЕК)

4.1 Аналіз споживання електроенергії та визначення розрахункового навантаження

Проектування будь-якої енергетичної системи розпочинається з детального аудиту об'єкта та точного визначення профілю його електроспоживання. Виробнича майстерня, що є об'єктом даного дослідження, має специфічні характеристики навантаження, які необхідно врахувати: високу пікову потужність, наявність значного реактивного навантаження та великі пускові струми.



Рисунок 4.2 - Система електропостачання.

4.1.1 Структура та категоризація навантаження майстерні

Для забезпечення максимальної стійкості резервної системи, загальне навантаження (21 кВт, згідно з попереднім аудитом) поділяється на три критичні категорії:

1. Критичне навантаження (Перша категорія): Обладнання, робота якого має бути забезпечена безперервно для запобігання пошкодженню продукції, збоєм у керуванні або загрозам безпеці.

а. *Приклади:* Системи керування ЧПК-верстатами, пожежна та охоронна сигналізація, системи зв'язку, мінімальне освітлення.

б. *Розрахункова потужність:* $P_{\text{крит}} = 2 \text{ кВт}$.

2. Основне технологічне навантаження (Друга категорія): Ключове виробниче обладнання.

а. *Приклади:* Асинхронні двигуни верстатів, компресори, потужні насоси.

б. *Розрахункова потужність:* $P_{\text{техн}} = 15 \text{ кВт}$.

3. Допоміжне навантаження (Третя категорія): Обладнання, яке може бути відключене у випадку довготривалого блекауту.

а. *Приклади:* Вентиляція, побутові прилади, кондиціонери.

б. *Розрахункова потужність:* $P_{\text{доп}} = 4 \text{ кВт}$.

Загальна пікова потужність майстерні складає $P_{\text{пік}} = 21 \text{ кВт}$.

4.1.2 Визначення добового споживання та пускових струмів

За прийнятими умовами експлуатації (8-годинний робочий день), загальне добове споживання енергії майстернею становить

$E_{\text{добове}} = 96 \text{ кВт}\cdot\text{год}$.

Цей показник є базовим для розрахунку ємності акумуляторних батарей.

Особлива увага приділяється пусковим струмам. Оскільки більшість виробничого обладнання використовує асинхронні двигуни, їхній пусковий коефіцієнт ($k_{\text{пуск}}$) може сягати значень від 3 до 7. У розрахунках прийнято

$k_{\text{пуск}} = 3.5$. Це означає, що при номінальному навантаженні 21 кВт, система повинна витримувати **короткочасне пікове навантаження** до

$$P_{\text{пускове}} = 21 \text{ кВт} * 3.5 \approx 73.5 \text{ кВт.}$$

Ця вимога є критичною для вибору інверторного обладнання.

4.2 Розрахунок та вибір системи накопичення енергії (СНЕ)

Система накопичення енергії (СНЕ) є ключовим елементом резервної системи, що забезпечує енергетичну незалежність майстерні під час відсутності як центральної мережі, так і сонячної генерації (ніч, похмура погода).

4.2.1 Обґрунтування вибору технології акумуляторів

Для промислового резервування найоптимальнішим вибором є літій-залізо-фосфатні акумуляторні батареї (LiFePO₄). Їхня перевага над традиційними свинцево-кислотними (AGM/GEL) полягає у наступному:

1. Високий циклічний ресурс: До 6000 циклів заряду/розряду, що гарантує термін служби понад 15 років.
2. Глибина розряду (DoD): Дозволяє використовувати до 90% накопиченої ємності без значної деградації.
3. Безпека: Висока термічна та хімічна стабільність, що мінімізує ризики пожежі, важлива для виробничих приміщень.
4. ККД: Високий ККД заряду/розряду ($\eta_{\text{АКБ}} \approx 98\%$).

5.2.2 Розрахунок необхідної корисної ємності АКБ

Метою є забезпечення повної автономної роботи майстерні протягом $T_{\text{автоном.}} = 2$ доби (48 годин) на основі добового споживання $E_{\text{добове}} = 96$ кВт·год.

Необхідна енергетична ємність акумуляторних батарей ($E_{\text{АКБ}}$) розраховується за формулою:

$$E_{\text{АКБ}} = (E_{\text{добове}} * T_{\text{автоном.}}) / (\eta_{\text{інв.}} * \text{DoD}) \quad (2.1)$$

Де $E_{\text{добове}}$ — добове споживання енергії (96 кВт·год); $T_{\text{автоном.}}$ — бажаний час автономної роботи (2 доби); $\eta_{\text{інв.}}$ — ККД інвертора (0.94); DoD — максимальна глибина розряду (0.9).

Підставивши значення:

$$E_{\text{АКБ}} = (96 * 2) / (0.94 * 0.9) \approx 226.9 \text{ кВт·год} \quad (2.2).$$

Таким чином, розрахункова необхідна ємність акумуляторного масиву становить **227 кВт·год**.

4.2.3 Вибір та конфігурація модулів LiFePO4

Для реалізації обрано модульні LiFePO4 батареї з вбудованою BMS Pylontech Force H2 14.21 kWh. Номінальна енергія модуля 14.21 кВт·год.



Рисунок 4.2 - Система управління BMS Pylontech Force H2

Система управління BMS Pylontech Force H2 FC0500M-40
 Інтелектуальний контроль акумуляторних систем Система управління BMS
 Pylontech Force H2 FC0500M-40 забезпечує комплексний моніторинг і захист
 акумуляторних батарей серії Force H2. Рішення розроблено для побутового
 та комерційного застосування в системах накопичення енергії.

Функції управління:

- Контроль струму заряду/розряду
- Моніторинг напруги в реальному часі
- Термоконтроль акумуляторних елементів
- Інтелектуальна оптимізація циклів роботи

Система захисту:

Захист від перезарядження та перерозрядження

Запобігання термічному перевантаженню Контроль балансування
 комірок

Автоматичне відключення при аварії

Комунікаційні можливості:

Інтеграція з системами домашньої автоматизації

Сумісність із сонячними інверторами

Віддалений моніторинг параметрів

Підтримка стандартних протоколів зв'язку

Ключові переваги:

Продовження терміну служби АКБ

Підвищення енергоефективності системи

Безпека експлуатації

Простота інтеграції

Комплексний аналіз стану батарей

Сфери застосування: Побутові СЕС з накопиченням енергії Комерційні системи резервного живлення Сонячні електростанції Автономні енергокомплекси

Кількість модулів:

$$N_{\text{АКБ}} = 227 / 12.79 \approx 18 \text{ модулів.}$$

Загальна встановлена ємність:

$$18 * 14.21 = 255.78 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Корисна ємність:

$$255.78 * 0.9 \approx 230.2 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

4.3 Розрахунок та обґрунтування параметрів фотоелектричного масиву

Ключовим завданням цього підрозділу є розрахунок потужності ФЕ-масиву, який повинен не лише покривати поточне добове споживання (96 кВт·год), але й забезпечувати швидкий заряд акумуляторної батареї після використання резерву.

Визначення необхідної потужності масиву (Розрахунок за інсоляцією)

$$P_{\text{PV}} = (E_{\text{добове}} * k) / (\eta_{\text{сист}} * H_{\text{ins}}) \quad (2.3)$$

Де $k = 1.25$; $\eta_{\text{сист}} = 0.82$; $H_{\text{ins}} = 1.2 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2/\text{день}$.

$$P_{\text{PV-розр}} = (96 * 1.25) / (0.82 * 1.2) \approx 122 \text{ кВт.}$$

Прийнята встановлена потужність ФЕ-масиву становить 96 кВт (96.39 кВт).

Вибір ФЕ-модулів та конфігурація масиву (96 кВт)

Обрано монокристалічні модулі Longi Solar Hi-MO 6 Explorer 575 Вт.

Кількість модулів:

$$N_{\text{мод}} = 96000 / 575 \approx 167 \text{ шт.}$$

Фактична потужність:

$$167 * 575 = 96025 \text{ Вт} \approx 96.03 \text{ кВт.}$$

Загальна площа масиву:

$$167 * 2.26 \approx 377 \text{ м}^2.$$

Формування стрінгів (рядів) та підключення до інвертора

Приймаємо 10 стрінгів: 7 стрінгів по 17 модулів та 3 стрінгі по 16 модулів (Всього 167 модулів). Напруга стрінгу:

$$17 * 43.95 \text{ В} = 747.15 \text{ В.}$$

Солнечная панель 575Вт Longi Solar поколения 6 HI-MO X6 Explorer, КПД 22,3%, 13,1А, 2278×1134×35мм, 27,5кг, 25 лет.

The screenshot displays a product page for the Longi Solar Hi-MO 6 Explorer solar panel. On the left, there is a product image with the following text: "Продано" (Sold) and "Заканчивается" (Running out) in a green box. The product name is "Hi-MO 6 Explorer" with model "LR5-72HTH 560~575M". Below the name, there are bullet points: "Suitable for distributed projects", "Excellent outdoor power generation performance", and "High module quality ensures long-term reliability". There are also two circular icons with "15" and "25" inside, representing warranty periods. On the right side of the page, the manufacturer is listed as "LONGi" with article number "11931-". A red box indicates "Очікування 2-3 дні" (Waiting 2-3 days). The price is "3 961 грн" with a link "Нашли данный товар дешевле?". Below the price is a quantity selector set to "1" and a green "Сообщить" (Notify) button. At the bottom of the product card is a green "Быстрый заказ" (Quick order) button. To the right of the product card, there is a "Купить в один клик" (Buy with one click) section with a "Номер телефона" (Phone number) input field. Below that is a "Система скидок" (Discount system) section with the text "Збирайте персональні бонуси" (Collect personal bonuses). At the bottom right is a "Доставка та оплата" (Delivery and payment) section with the text "Безкоштовно від 1500 грн" (Free from 1500 грн).

Рисунок 4.3 - Монокристалічні модулі Longi Solar Hi-MO 6

4.4 Обґрунтування вибору гібридного інверторного обладнання

Обрано кластер із двох трифазних гібридних інверторів Deye SUN-50K-SG01HP3-EU. Максимальна вихідна потужність кластера 100 кВт, що покриває пік 73.5 кВт. Швидкість перемикавання менше 10 мс.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Розробка заходів щодо покращення стану охорони праці

Розрізняють такі основні заходи щодо покращення стану охорони праці у господарстві:

- обладнати кабінет з охорони праці, з метою ефективного навчання персоналу, встановити необхідні плакати, стенди;
- удосконалення нормативної бази з питань охорони праці;
- укомплектування щитів пожежної безпеки ящиками з піском і необхідним інвентарем;
- встановлення відсутності освітлювальних приладів, покращення освітленості робочих мість;
- відновлення заземлення корпусів та відновити пошкоджену ізоляцію струмоведучих частин електроустановок;
- забезпечення працівників ЗІЗ ;
- покращити природу і при необхідності створити штучну вентиляцію;
- професійний добір працівників з окремих професій;
- провести паспортизацію та атестацію необхідних робочих місць.

5.2 Пожежна безпека

Правовою основою діяльності в галузі пожежної безпеки є Конституція, Закон України „Про пожежну безпеку”, та інші закони, постанови, укази.

Попередження розповсюдження пожеж, в основному забезпечується пожежною безпекою будівель і споруд і забезпечується; правильним вибором необхідного ступеня вогнестійкості будівель та споруд, розташування

приміщень з урахуванням вимог пожежної безпеки, встановлення протипожежних перешкод, проектування шляхів евакуації. Згідно діючого законодавства відповідальність за утримання промислового підприємства у належному протипожежному стані покладається безпосередньо на керівника підприємства.

Власником розробленні комплексні заходи щодо забезпечення пожежної безпеки, розробленні та затвердженні положення, інструкції, інші нормативні акти, що діють в межах підприємства, здійснює постійний контроль за їх додержанням, забезпечено додержання протипожежних вимог приписів і постанов органів державного пожежного нагляду, утримання в справному стані засобів протипожежного захисту, пожежну безпеку, обладнання та інвентар.

Для запобігання пожежам на складах нафтопродуктів останні зберігають у спеціально обладнаних резервуарах, які встановлені на фундаментах. Усі заправні ємності заземлені, а вся територія нафтоскладу обнесена земляним валом.

5.3 Розробка заходів щодо захисту цивільного населення

Забезпечення захисту населення і території у разі загрози та виникнення надзвичайних ситуацій є одним з найважливіших завдань не лише підприємства, але й цілої держави.

Актуальність проблеми забезпечення природо-техногенної безпеки населення і території зумовлена тенденціями зростання втрат людей і шкоди територіям, що спричиняються небезпечними природними явищами, промисловими аваріями і катастрофами.

Забезпечення безпеки та захисту населення, об'єктів економіки і національного надбання держави від негативних наслідків надзвичайних ситуацій повинно розглядатися як невід'ємна частина державної політики національної безпеки і державного будівництва, як одна з найважливіших функцій центральних органів виконавчої влади, Ради міністрів Автономної Республіки Крим, місцевих державних адміністрацій, виконавчих органів рад.

Захист населення є системою загальнодержавних заходів, які реалізуються центральними і місцевими органами виконавчої влади, виконавчими органами влад, органами управління з питань надзвичайних ситуацій та цивільного захисту населення, підпорядкованими їм силами та підприємств, що забезпечують виконання організаційних, інженерно-технічних, санітарно-гігієнічних, протиепідемічних та інших заходів у сфері запобігання та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій .

Загрози життєво важливих інтересів громадян, держави, суспільства поділяються на зовнішні та внутрішні і виникають під час надзвичайних ситуацій техногенного і природного характеру та воєнних конфліктів.

Зовнішні загрози безпосередньо пов'язані з безпекою життєдіяльності населення і держави у разі розв'язання сучасної війни або локальних збройних конфліктів, виникнення глобальних техногенних екологічних катастроф за межами України, які можуть спричинити негативний вплив на населення та територію держави.

Внутрішні загрози пов'язані з надзвичайними ситуаціями техногенного і природного характеру або можуть бути спровоковані терористичними діями.

Принципи захисту впливають з основних положень Женевської конвенції щодо захисту жертв війни та додаткових протоколів до неї,

можливого характеру воєнних дій, реальних можливостей держави щодо створення матеріальної бази захисту. З метою захисту населення, зменшення втрат та шкоди економіці в разі виникнення надзвичайних ситуацій має право проводитися спеціальний комплекс заходів.

Оповіщення та інформування, яке досягається завчасним створенням і підтримкою в постійній готовності загальнодержавної, територіальних та об'єктових систем оповіщення населення.

Спостереження і контроль за докільям, продуктами харчування і водою забезпечується створенням і підтримкою в постійній готовності загальнодержавної і територіальних систем спостереження і контролю з включенням до існуючих сил та засобів контролю незалежно від підпорядкованості.

Укриття в захисних спорудах, якому підлягає усе населення відповідно до приналежності, досягається створенням фонду захисних споруд.

Евакуаційні заходи, які проводяться в містах та інших населених пунктах, які мають об'єкти підвищеної небезпеки, а також у воєнний час, основним способом захисту населення є евакуація і розміщення його у позаміській зоні.

Інженерний захист проводиться з метою виконання вимог ІТЗ із питань забудови міст, розміщення ПНО, будівлі будинків, інженерних споруд та інше.

Медичний захист проводиться для зменшення ступеня ураження людей, своєчасного надання допомоги постраждалим та їх лікування, забезпечення епідеміологічного благополуччя в районах надзвичайних ситуацій. Біологічний захист включає своєчасне виявлення чинників біологічного зараження, їх характеру і масштабів, проведення комплексу адміністративно-господарських, режимно-обмежувальних і спеціальних протиепідемічних та медичних заходів.

Радіаційний і хімічний захист включає заходи щодо виявлення і оцінки радіаційної та хімічної обстановки, організацію і здійснення дозиметричного та хімічного контролю, розроблення типових режимів радіаційного захисту, забезпечення засобами індивідуального захисту, організацію і проведення спеціальної обробки .

6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Економічна частина роботи призначена для оцінювання доцільності впровадження резервного фотоелектричного комплексу для виробничої майстерні. У попередніх розділах обґрунтовано склад системи: фотоелектричний масив потужністю близько 96 кВт, акумуляторний блок корисною ємністю приблизно 230 кВт·год та кластер гібридних інверторів сумарною потужністю 100 кВт. У цьому розділі виконано деталізований розрахунок капітальних витрат, експлуатаційних витрат, очікуваного економічного ефекту та строку окупності проекту.

Економічний розрахунок базується на припущенні, що система використовується не лише як аварійне джерело живлення під час відключень, а й як елемент щоденного зменшення споживання електроенергії з мережі. Такий підхід дає змогу врахувати як пряму економію на оплаті електроенергії, так і непрямий ефект від уникнення простоїв виробничого процесу.

6.1 Вихідні дані для економічного розрахунку

Для розрахунків прийнято показники, отримані у технічній частині роботи. Добове споживання майстерні становить 96 кВт·год, а встановлена потужність фотоелектричного масиву дорівнює 96,03 кВт. Система накопичення енергії забезпечує автономну роботу критичного та технологічного обладнання протягом двох діб, що є важливим у випадку тривалих аварійних відключень.

Таблиця 6.1 - Вихідні техніко-економічні показники проєкту

Показник	Позначення	Значення
Встановлена потужність ФЕ-масиву	P_{FE}	96,03 кВт
Кількість сонячних модулів	$N_{\text{мод}}$	167 шт.
Корисна ємність акумуляторної системи	$E_{\text{АКБ кор.}}$	230,2 кВт·год
Пікова потужність навантаження майстерні	$P_{\text{пik}}$	21 кВт
Короткочасне пускове навантаження	$P_{\text{пуск}}$	73,5 кВт
Розрахункове добове споживання	$E_{\text{доб}}$	96 кВт·год
Прийнята вартість електроенергії	$C_{\text{ел}}$	8 грн/кВт·год
Орієнтовний курс для розрахунків	$K_{\text{вал}}$	40 грн/USD
Оціночні втрати від простою	$C_{\text{прост}}$	150 USD/год
Очікувана тривалість відключень	$T_{\text{відкл}}$	1000 год/рік

У розрахунку враховано, що електроенергія, вироблена фотоелектричним масивом, першочергово використовується для живлення власних потреб майстерні та заряджання акумуляторних батарей. У разі зникнення напруги в зовнішній мережі навантаження автоматично переводиться на резервне живлення, що дає можливість продовжити виробничий процес або безпечно завершити технологічні операції.

6.2 Розрахунок капітальних витрат

Капітальні витрати CAPEX включають вартість основного обладнання, допоміжних комплектуючих, монтажних матеріалів, проектних робіт і пусконаладження. Найбільшу частку у структурі витрат займає система накопичення енергії, оскільки саме акумуляторний блок забезпечує автономність під час відсутності сонячної генерації та централізованого живлення.

Таблиця 6.2 - Зведений кошторис капітальних витрат

Стаття витрат	Кількість	Орієнтовна сума, USD	Частка, %
ФЕ-масив 96 кВт (Longi Hi-MO 6)	167 шт.	41 500	22,9
Система накопичення Rylontech Force H2 (230 кВт·год)	18 шт.	83 100	45,8
Гібридні інвертори Deye 50 кВт та автоматика	2 шт.	29 800	16,4
Кабельна продукція, захист, комутація, кріплення	1 компл.	9 000	5,0
Проектування, монтаж і пусконаладження	1 компл.	18 000	9,9
Разом CAPEX		181 400	100,0

Загальна сума капітальних вкладень становить 181 400 USD. У гривневому еквіваленті за прийнятого розрахункового курсу 40 грн/USD це дорівнює:

$$\text{CAPEX}_{\text{грн}} = 181\,400 \cdot 40 = 7\,256\,000 \text{ грн.}$$

Структура капітальних витрат показує, що майже половина бюджету припадає на акумуляторну систему. Це є закономірним для резервних енергетичних комплексів, оскільки завданням проєкту є не лише виробництво електроенергії, а й забезпечення гарантованого живлення в періоди, коли генерація від сонячних панелей недостатня або повністю відсутня.

6.3 Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати OPEX охоплюють планове технічне обслуговування, очищення поверхні модулів, контроль стану кабельних з'єднань, моніторинг роботи інверторів, перевірку захисної апаратури та періодичну діагностику акумуляторної системи. Для фотоелектричних систем ці витрати порівняно невеликі, оскільки обладнання не потребує постійного забезпечення паливом і має малу кількість рухомих частин.

Таблиця 6.3 - Орієнтовні річні експлуатаційні витрати

Стаття експлуатаційних витрат	Розрахунок	Сума, USD/рік
Планове технічне обслуговування ФЕ-масиву	1,0 % від вартості панелей	415
Очищення модулів та огляд кріплень	2 рази на рік	300
Перевірка інверторів, автоматики та АВР	орієнтовно	600
Діагностика акумуляторів і BMS	орієнтовно	500
Резерв на дрібні ремонти та витратні	орієнтовно	700

матеріали		
Разом OPEX		2 515

Отже, річні експлуатаційні витрати становлять приблизно 2 515 USD/рік. У подальших розрахунках ця сума віднімається від валового економічного ефекту, оскільки вона є необхідною для підтримання системи у справному стані протягом усього строку служби.

6.4 Розрахунок річного економічного ефекту

Економічний ефект від впровадження системи формується з двох основних складових. Перша складова - це економія коштів на купівлі електроенергії з мережі. Друга складова - це запобігання втратам від простоїв обладнання під час аварійних та планових відключень електроенергії.

Річна економія електроенергії визначається за формулою:

$$\Delta C_{\text{energy}} = E_{\text{річна}} \cdot C_{\text{ел}},$$

де $E_{\text{річна}}$ - корисна річна генерація, кВт·год; $C_{\text{ел}}$ - вартість електроенергії для підприємства. Для розрахунку приймаємо річну корисну генерацію близько 94 500 кВт·год, що відповідає економії 756 000 грн або 18 900 USD на рік.

Втрати від простою визначаються за залежністю:

$$C_{\text{loss_prevented}} = C_{\text{прост}} \cdot T_{\text{відкл.}}$$

За умови, що середня вартість години простою становить 150 USD, а очікувана тривалість відключень протягом року - 1000 год, запобігнутий збиток становить:

$$C_{\text{loss_prevented}} = 150 \cdot 1000 = 150\,000 \text{ USD/рік.}$$

Таблиця 6.4 - Формування річного економічного ефекту

Складова економічного ефекту	Значення
------------------------------	----------

Економія на оплаті електроенергії	18 900 USD/рік
Запобігання втратам від простоїв	150 000 USD/рік
Валовий економічний ефект	168 900 USD/рік
Річні експлуатаційні витрати	2 515 USD/рік
Чистий економічний ефект	166 385 USD/рік

Чистий економічний ефект після врахування експлуатаційних витрат становить 166 385 USD/рік. Саме цей показник доцільно використовувати для розрахунку реального строку окупності, оскільки він враховує не тільки доходи й уникнені втрати, а й витрати на утримання системи.

6.5 Розрахунок строку окупності та грошового потоку

Простий строк окупності визначається як відношення капітальних витрат до чистого річного економічного ефекту:

$$T_{\text{окуп}} = \text{CAPEX} / E_{\text{чист.}}$$

Підставивши розраховані значення, отримаємо:

$$T_{\text{окуп}} = 181\,400 / 166\,385 = 1,09 \text{ року.}$$

Отже, за прийнятих вихідних даних резервна фотоелектрична система окупається приблизно за 1,1 року. Такий показник є високим, оскільки у розрахунок включено не лише економію електроенергії, а й значний ефект від уникнення простоїв підприємства.

Таблиця 6.5 - Прогноз накопиченого грошового потоку

Рік експлуатації	Чистий ефект за рік, USD	Накопичений ефект, USD	Залишок до окупності, USD
0	-181 400	-181 400	181 400
1	166 385	-15 015	15 015
2	166 385	151 370	0

3	166 385	317 755	0
4	166 385	484 140	0
5	166 385	650 525	0

З таблиці видно, що наприкінці першого року система майже повністю компенсує первинні вкладення, а протягом другого року переходить у зону чистого позитивного економічного результату. У наступні роки основний ефект формується за рахунок стабільного зменшення витрат на електроенергію та підвищення безперервності виробничого процесу.

6.6 Порівняння з дизель-генераторним резервуванням

Для оцінювання доцільності фотоелектричного комплексу його варто порівняти з традиційним резервним рішенням на базі дизель-генератора. Дизель-генератор має нижчу початкову вартість, однак потребує постійних витрат на паливо, мастила, фільтри, технічне обслуговування та створює шумові й екологічні обмеження. Фотоелектрична система має вищі початкові вкладення, але її експлуатаційні витрати значно нижчі.

Таблиця 6.6 - Порівняння резервної ФЕ-системи з дизель-генератором

Показник	ФЕ-система з АКБ	Дизель-генератор
Початкові інвестиції	Вищі	Нижчі
Паливні витрати	Відсутні	Постійні
Рівень шуму	Низький	Високий
Екологічний вплив	Мінімальний	Викиди CO ₂ та продуктів згоряння
Потреба в обслуговуванні	Періодичний огляд	Регулярне ТО двигуна
Автоматичність роботи	Висока	Потребує контролю палива і технічного

		стану
Придатність для тривалих відключень	Висока за наявності сонячної генерації	Залежить від запасу палива

Таким чином, дизель-генератор може бути виправданим як короткочасне аварійне джерело живлення, однак для регулярних і тривалих відключень більш доцільною є система на основі сонячних батарей та акумуляторів. Вона зменшує залежність підприємства від постачання палива, знижує експлуатаційні витрати та краще відповідає сучасним вимогам енергоефективності.

6.7 Аналіз чутливості проєкту

Оскільки економічні показники залежать від тарифу на електроенергію, кількості годин відключень та величини втрат від простою, доцільно виконати короткий аналіз чутливості. Він показує, як змінюється строк окупності при зміні ключових параметрів.

Таблиця 6.7 - Чутливість строку окупності до зміни умов експлуатації

Сценарій	Економія енергії, USD/рік	Запобігання простоям, USD/рік	OPEX, USD/рік	Окупність, років
Базовий	18 900	150 000	2 515	1,09
Оптимістичний: більше відключень і вищий тариф	23 000	180 000	2 515	0,91
Помірний: менше відключень	18 900	90 000	2 515	1,70
Консервативний: лише 500 год	18 900	75 000	2 515	1,99

простою				
Мінімальний: урахована лише економія електроенергії	18 900	0	2 515	11,08

Аналіз свідчить, що головним фактором економічної ефективності є не тільки виробіток електроенергії, а передусім здатність системи запобігати втратам від зупинки виробництва. Якщо враховувати лише економію на електроенергії, строк окупності є значно довшим. Проте для виробничої майстерні, де відсутність живлення призводить до зупинки обладнання, втрати від простою є реальним економічним фактором, який обов'язково потрібно враховувати.

Висновки до розділу У розділі виконано розширене економічне обґрунтування резервної системи електропостачання майстерні на основі сонячних фотоелектричних батарей, акумуляторної системи накопичення енергії та гібридних інверторів. Загальна вартість впровадження системи становить 181 400 USD, або близько 7,256 млн грн за прийнятого розрахункового курсу. Найбільшу частку витрат формує акумуляторний блок, проте саме він забезпечує автономність і стійкість електропостачання під час блекаутів.

Річний валовий економічний ефект складається з двох частин: прямої економії на оплаті електроенергії та непрямой економії, пов'язаної із запобіганням простою виробництва. За базовим сценарієм економія на електроенергії становить 18 900 USD/рік, а збережений економічний результат від уникнення простоїв - 150 000 USD/рік. Після врахування експлуатаційних витрат чистий економічний ефект становить 166 385 USD/рік.

Розрахований строк окупності системи дорівнює приблизно 1,09 року, що підтверджує високу економічну доцільність проекту для виробничих умов, у яких безперервність електропостачання має прямий вплив на випуск продукції та виконання замовлень. Крім фінансової вигоди, система підвищує енергетичну незалежність підприємства, зменшує ризики аварійних зупинок і створює резерв потужності для стабільної роботи критичного обладнання.

Порівняння з дизель-генераторним резервуванням показало, що фотоелектрична система має вищі початкові інвестиції, але виграє за експлуатаційними витратами, екологічністю, рівнем шуму та незалежністю від постачання палива. Тому впровадження ФЕ-комплексу з акумуляторами є технічно та економічно обґрунтованим рішенням для модернізації системи резервного електропостачання майстерні.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

У кваліфікаційній роботі розроблено резервну систему електропостачання виробничої майстерні ТОВ «ОДВ-ЕЛЕКТРИК» на основі сонячних фотоелектричних батарей, акумуляторної системи накопичення енергії та гібридних інверторів. У роботі охарактеризовано підприємство, визначено склад основного технологічного обладнання, проаналізовано електричні навантаження та обґрунтовано потребу в автономному джерелі живлення. Актуальність такого рішення зумовлена необхідністю забезпечення безперервної роботи виробництва під час аварійних відключень централізованої мережі.

У теоретичній частині розглянуто принцип дії фотоелектричних елементів, особливості р-п переходу, вольт-амперні характеристики та основні типи сонячних модулів. Порівняння монокристалічних, полікристалічних і тонкоплівкових панелей показало, що для умов майстерні найдоцільніше застосовувати монокристалічні модулі з технологіями PERC або Half-Cut. Вони забезпечують високу ефективність на обмеженій площі, краще працюють за часткового затінення та мають достатній ресурс експлуатації.

У розрахунковій частині підібрано пускозахисну апаратуру, автоматичні вимикачі, електромагнітні пускачі та кабелі для силової мережі. Також виконано розрахунок освітлення з використанням світлодіодних ламп, що забезпечує нормативну освітленість робочих місць і зменшує споживання електроенергії. Для резервного живлення прийнято фотоелектричний масив потужністю близько 96 кВт, акумуляторну систему LiFePO₄ корисною ємністю близько 230 кВт·год та два трифазні гібридні інвертори Deue сумарною потужністю 100 кВт.

Економічні розрахунки підтвердили доцільність запропонованого проєкту. Ефект від упровадження формується не лише за рахунок економії електроенергії, а й завдяки запобіганню втратам від простою виробництва. Порівняно з дизель-генератором фотоелектрична система має нижчі експлуатаційні витрати, не потребує постійного постачання палива, працює тихіше та є екологічнішою. Отже, реалізація проєкту підвищить енергетичну незалежність підприємства, забезпечить стабільну роботу критичного обладнання та створить основу для подальшого розвитку локальної розподіленої генерації.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Коруд В. І. Електротехніка. Львів: Видавництво «Магнолія», 2006. 417 с.
2. Варецький Ю. О. Особливості вибору силових фільтрів для систем електропостачання змінних нелінійних навантажень. Вісн. Нац. ун-ту "Львів. політехніка". Львів: Вид-во НУ "Львівська політехніка", 2008. № 615. С. 17 – 22.
3. Сегеда М. С. Електричні мережі та системи: підручник. Львів: Вид-во НУ "Львівська політехніка", 2007. 488 с.
4. Василега П. О. Електротехнологічні установки: навчальний посібник. Суми: Видавництво СумДУ, 2010. 548 с.
5. Милосердов В. О. Електротехнологічні установки та пристрої: навчальний посібник. Вінниця: ВНТУ, 2007. 135 с.
6. Соловей О. І. Промислові електротехнологічні установки: навчальний посібник. Київ: Видавництво «Кондор», 2009. 172 с.
7. Головка Д. Б., Ментковський Ю. Л. Загальні основи фізики. Київ: Видавництво «Либідь», 2008. – 224 с.
8. Мартиненко І.І. Проектування систем електрифікації та автоматизації АПК: навч. посіб. Київ: Видавництво «Аграрна освіта», 2008. 330 с.
9. Курс електротехніки: Підручник. – Харків: Видавництво «Торнадо», 2000. – 288 с.
10. Практикум з електротехнології в АПК. Київ: Національний аграрний університет. 2003. 125 с.
11. Каталог СВ АЛЬТЕРА 2020р.
12. Каталог МІКУkraine – Джерела світла.
13. Каталог електротехнічної продукції АСКО УкрЕМ.
14. Василега П. О. Електропостачання: Навчальний посібник. – Суми: ВТД «Університетська книга», 2008. – 415с.