

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ҐЖИЦЬКОГО

ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА
ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

КАФЕДРА ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

першого (бакалаврського) рівня освіти

на тему:

«РОЗРОБЛЕННЯ РЕЗЕРВНОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МАЙСТЕРНІ НА ОСНОВІ ГІБРИДНОГО ЕНЕРГЕТИЧНОГО КОМПЛЕКСУ»

Виконав: студент IV курсу

групи Ен – 41 спеціальності

141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»

(шифр і назва спеціальності)

_____ Самотій Д.О.

Керівник: _____ Гошко М.О.

Рецензент: _____ Михалюк М.А.

ДУБЛЯНИ 2026

УДК 621.320

Самотій Дмитрій Олегович Розроблення резервного електропостачання майстерні на основі гібридного енергетичного комплексу. Кваліфікаційна робота. Дубляни: ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО, 2026. 59 с. текстової частини, 10 таблиць, 14 рисунків, 15 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 гібридного енергетичного комплексу, інтегрованого із системою накопичення енергії.

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

- Провести ґрунтовний огляд, класифікацію та порівняльний аналіз існуючих типів гібридних енергетичних комплексів, а також їхніх ключових компонентів (фотоелектричних елементів, систем накопичення енергії та інверторного обладнання).
- Обґрунтувати вибір оптимальної конфігурації ГЕК, включаючи тип панелей, інвертора та акумуляторів, відповідно до вимог надійності та ціново-якісного балансу.
- Розробити принципову електричну схему інтеграції резервної системи з внутрішньою електромережею майстерні, передбачивши механізми автоматичного перемикавання навантаження (АВР).
- Виконати розрахунок необхідної потужності фотоелектричного масиву та ємності акумуляторних батарей для забезпечення безперервної роботи критичного обладнання майстерні з піковою потужністю 21 кВт протягом періоду відсутності централізованого живлення.
- Провести техніко-економічне обґрунтування проєкту, включаючи оцінку капітальних та експлуатаційних витрат, а також розрахунок терміну окупності системи.

Ключові слова: резервного електропостачання майстерні, гібридний енергетичний комплекс.

ВСТУП

Актуальність теми дослідження «Розроблення резервного електропостачання майстерні на основі гібридного енергетичного комплексу» 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), які поєднують відновлювані джерела енергії (ВДЕ) та системи накопичення енергії (СНЕ). Гібридні енергетичні комплекси (ГЕК) на основі сонячних фотоелектричних (ФЕ) систем та акумуляторних батарей, завдяки своїй модульній конструкції, швидкості розгортання та здатності до повної автономної роботи, виступають ідеальним базисом для реалізації таких резервних рішень. Вони не лише підвищують стійкість об'єкта до зовнішніх загроз, але й інтегрують принципи відновлюваної енергетики, що відповідає державній стратегії повоєнної відбудови за принципом «Build Back Better».

Таким чином, розробка резервної системи електропостачання майстерні є вагомим внеском не тільки у зміцнення поточної енергетичної стійкості, але й у реалізацію загальнодержавної стратегії 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 гібридного енергетичного комплексу, інтегрованого із системою накопичення енергії.

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

- Провести ґрунтовний огляд, класифікацію та порівняльний аналіз існуючих типів гібридних енергетичних комплексів, а також їхніх ключових компонентів (фотоелектричних елементів, систем накопичення енергії та інверторного обладнання).
- Обґрунтувати вибір оптимальної конфігурації ГЕК, включаючи тип панелей, інвертора та акумуляторів, відповідно до вимог надійності та ціново-якісного балансу.
- Розробити принципову електричну схему інтеграції резервної системи з внутрішньою електромережею майстерні, передбачивши механізми автоматичного перемикавання навантаження (АВР).
- Виконати розрахунок необхідної потужності фотоелектричного масиву та ємності акумуляторних батарей для забезпечення безперервної роботи критичного обладнання майстерні з піковою потужністю 21 кВт протягом періоду відсутності централізованого живлення.
- Провести техніко-економічне обґрунтування проекту, 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 гібридному енергетичному комплексі (сонячні фотоелектричні батареї та накопичувачі 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.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ПІДПРИЄМСТВА

ТОВ «Електроконтакт Україна» знаходиться у місті Перемишляни за адресою: вул. Мазепи, 1. Підприємство працює з 2003 року та спеціалізується на випуску кабельно-провідникової продукції, зокрема кабельно-бортових мереж для автомобільної галузі й енергетичних систем.

Електроживлення підприємства здійснюється від комплектної трансформаторної підстанції КТП 10/0,4 кВ, що розміщена приблизно за 300 м від об'єкта. До виробничої території підведено трифазну електромережу з допустимим вхідним струмом до 160 А.

Опалення виробничих приміщень забезпечують газові котли TEMPSTAR, а тепла енергія подається у приміщення через систему повітроводів. Гаряча вода для санітарно-гігієнічних потреб надходить від бойлера QUANTUM потужністю 16,5 кВт з баком об'ємом 181 л.

У 2008 році на підприємстві виконувалися ремонтні роботи, під час яких було частково модернізовано обладнання. На теперішній час системи електропостачання та вентиляції перебувають у задовільному технічному стані.

Структура приміщень та система освітлення ТОВ «Електроконтакт Україна»

Виробнича зона

- **Виробничий цех:**
 - Площа приміщення: 520 м²
 - Система освітлення:
 - Люмінесцентні джерела світла потужністю 36 Вт, по 2 лампи в одному світильнику
 - Передбачена кількість світильників:
 - для загального освітлення — 120 шт.
 - для місцевого освітлення — 76 шт.
- **Склад матеріалів:**
 - Загальна площа: 380 м²

- Освітлювальна система:
 - Світильники з двома люмінесцентними лампами по 36 Вт
 - Кількість установлених світильників — 66 шт.
- **Склад готової продукції:**
 - Площа приміщення: 320 м²
 - Організація освітлення:
 - Люмінесцентні лампи по 36 Вт, по дві лампи у світильнику
 - Загальна кількість світильників — 36 шт.
- **Майстерня:**
 - Площа майстерні: 60 м²
 - Освітлення приміщення:
 - передбачено загальне освітлення на основі люмінесцентних ламп
 - кількість світильників — 8 шт.

Адміністративні та побутові приміщення

- **Приміщення для прийому їжі:**
 - Площа кімнати: 10 м²
 - Освітлення:
 - світильники комплектуються двома лампами потужністю 18 Вт
 - загальна кількість світильників — 6 шт.
- **Адміністративні кабінети:**
 - Система освітлення:
 - використовуються світильники з двома лампами по 18 Вт
 - кількість світильників — 14 шт.

Таблиця 1.1 - Перелік силового обладнання майстерні ТЗОВ «ЕКУ»

<u>Тип машини</u>	<u>Номер та назва машини</u>	<u>К-ть</u>	<u>Потужність</u> кВт	<u>Загальна потужність</u> кВт
Бетономішалка	Limex LS190	1	0,85	0,85
Столярний верстат	Bosch	1	1,1	1,1
Зварювальний трансформатор	Дніпро - М	1	7,6	7,6
Точильний верстат	ТВ-4	1	0,75	0,75
Сведлильний верстат	СВ-12	1	1,5	1,5
Компресор	Forte ZA 65-50	1	2,2	2,2
Шліфувальний станок		1	0,25	0,25
Генератор бензиновий	GBG8000TE	1	6,4	6,4

- Сировина для виробництва надходить від чеської компанії «Autoelectric».
- Готова продукція постачається переважно на підприємства Німеччини, зокрема для компаній «BMW», «King Group», «JCB» та «Claas».

Особливості організації виробничого процесу

- Оплата праці формується з урахуванням співвідношення фактично виготовлених нормо-хвилин до встановленої заробітної плати.
- Для кожного працівника встановлюється норматив часу, протягом якого необхідно виконати визначений обсяг операцій.
- За перевиконання виробничого плану передбачено преміювання.
- У разі невиконання планових показників можуть застосовуватися штрафні санкції.

Технологічна послідовність виготовлення продукції

Нижче подано поетапний опис виробничих операцій із відповідними ілюстраціями.

- **Комісіонування проводів:**

- На складі матеріалів проводи розпаковують, сортують і розкладають відповідно до виробничого завдання (рис. 1.1).

Таблиця 1.2 - Силове обладнання виробничого цеху ТЗОВ «ЕКУ»

Тип машини	Номер та назва машини	Кількість	Потужність, Вт	Загальна потужність, Вт
Прилад SKU до кветчера	SLE	4	25	100
Прилад для термоусадки	1801373DEREY-WORFMAN 2000	4	3600	1080
Прилад для паяння	07090304800411 IBM LOT V 1.4	1	770	770
Прилад для очищення підлоги	194804KEMPER	2	1600	3200
Прилад відізолювання	3622Innovative Kabeltechnik GmbH	1	70	70
Кримпуюча машина	SLE/Schaftr	7	2400	16800
Фрезерний верстат	PROMACZ	1	1100	1100
Коптильний верстат	-	1	1600	1600
Стіл електричного контролю	GAMETR S1200	7	400	2800
Друкарка до столу	CAB a4+	7	40	280
Компресор	7422 WALTER	1	18500	18500

Постачання, виготовлення та контроль готової продукції на ТОВ «Електроконтакт Україна»

- **Маркування проводів:**

- Позначення проводів виконують працівники підприємства вручну відповідно до технологічної карти (рис. 1.2).

- **Монтаж розгалужень:**

- Проводи з наконечниками вручну встановлюють у відповідні роз'єми згідно зі схемою виробу (рис. 1.3).

Кримпування проводів:

- Для обтискання клем і контактів на проводах застосовують спеціалізовані пристрої (рис. 1.4).



Рисунок 1.1 - Обладнання для кримпування

Згинання клем:

- Кут згину клем налаштовують на спеціальних пристроях у межах від 40° до 70°.

Паяння кримпу:

- Окремі елементи додатково запаюють, щоб підвищити їх захист від вологи.

Закручування клем:

- Операція виконується за допомогою пневматичної викрутки.

Кветчування проводів:

- Проводи фіксують у гільзах різного діаметра із застосуванням спеціального обладнання.



Рисунок 1.2 - Пристрій для кветчування

Встановлення ковпака на кветчер:

- Ковпак підвищує вологостійкість кветчера та покращує його ізоляційні властивості.

Термоусаджування:

- Термоусадочні трубки нагрівають на запаяних клемах або кветчерах для герметизації з'єднань.

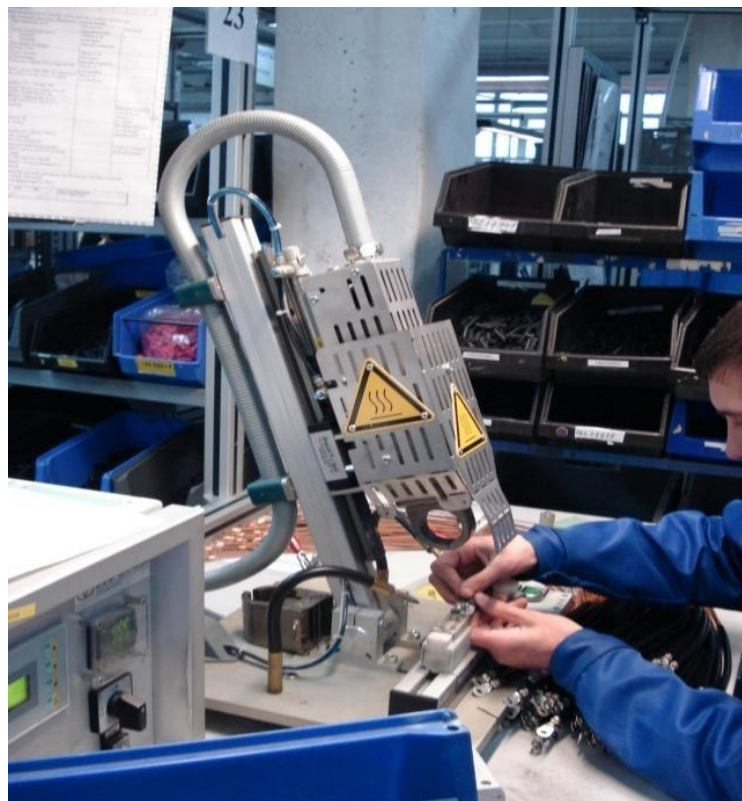


Рисунок 1.3 - Виконання операції термоусадки

Склеювання клем та їх подальше монтування у тулею

Монтаж тулеї:

- Склеєні клемі, гофровані трубки або розгалуження протягують через тулею відповідно до конструкції виробу.

Складання кабельної мережі:

- Кабельну мережу збирають вручну на спеціальних монтажних стендах.

Кветчування зібраної мережі:

- Окремі елементи готової кабельної мережі затискають у гільзах для надійної фіксації.

Встановлення ковпака на готову мережу:

- Ковпак забезпечує додатковий захист готової мережі від потрапляння вологи.

Монтаж кроші:

- Роз'єми на готовій мережі закріплюють за допомогою спеціального тримача.

Електричний контроль:

- Готову кабельну мережу перевіряють на столах електричного контролю (рис. 1.10).

Візуальна перевірка:

- Після електричного контролю готову мережу оглядають для виявлення можливих зовнішніх пошкоджень.

Пакування продукції:

- Після завершення контролю готові вироби готують до відправлення споживачеві.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТА КЛАСИФІКАЦІЯ ГІБРИДНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КОМПЛЕКСІВ (ГЕК)

2.1 Загальна концепція та архітектура гібридних енергетичних комплексів

Гібридний енергетичний комплекс (ГЕК) — це високоживуча локальна енергетична система (мікромережа), що інтегрує декілька джерел генерації енергії, як правило, відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) з системами накопичення енергії (СНЕ) та/або централізованою мережею. Для забезпечення резервного електропостачання майстерні оптимальною є конфігурація на основі сонячних фотоелектричних (ФЕ) систем та акумуляторних батарей.



Рисунок 2.1 - Гібридний енергетичний комплекс

Типова структурна схема та режими роботи

Типова структурна схема резервної ГЕК, яка є найбільш ефективним рішенням для захисту від блекаутів, включає наступні основні компоненти:

- **Фотоелектричний масив:** Генерує постійний струм (DC).

- **Система накопичення енергії (СНЕ):** Акумуляторна батарея (АКБ), що зберігає енергію. Найчастіше використовуються літій-іонні (LiFePO₄) через їхній тривалий термін служби (до 6000 циклів) та високу швидкість зарядки.
- **Гібридний інвертор:** «Серце» системи, яке забезпечує три основні режими роботи: паралельно з мережею, заряджаючи АКБ, та автономно.
- **Автоматичний перемикач (АВР):** Миттєво ізолює локальну мережу від зовнішньої під час відключення (менше 20 мс), функціонуючи як джерело безперебійного живлення (UPS-функція).
- **Критичне навантаження:** Споживачі, які мають бути забезпечені живленням у будь-яких умовах (у випадку майстерні — основні виробничі верстати та освітлення).

У штатному режимі ГЕК працює паралельно з центральною мережею (Grid-tied), а в аварійному режимі (блекаут) — переходить у режим автономного живлення (Off-grid) від АКБ та/або ФЕ-масиву, ізолюючи себе від зовнішньої мережі за допомогою АВР.

2.2 Класифікація сонячних фотоелектричних модулів

ФЕ-модулі класифікують за трьома поколіннями, залежно від матеріалу та технології виготовлення.

Перше покоління: Технології на основі кристалічного кремнію (Si)

До першого покоління належать кремнієві елементи, які є найнадійнішими та найпоширенішими на ринку (понад 90% виробництва).

Таблиця 2.1 - Характеристика сонячних фотоелектричних модулів

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

		чистоти
Структура	Однорідна кристалічна структура. Вища рухливість носіїв.	Наявність меж кристалічних зерен, що знижують ефективність.
ККД (комерційний)	Високий (19–23%+)	Середній (16–20%)
Переваги	Максимальна ефективність на одиницю площі, краща робота при слабкому освітленні.	Нижча вартість виробництва.
Недоліки	Вища вартість, більш тривалий процес виробництва.	Нижча продуктивність на площу.



Рисунок 2.2 – Види сонячних батарей

Високоєфективні кремнієві технології

Сучасні технології підвищують ККД Mono-Si:

1. **PERC-технологія (Passivated Emitter and Rear Cell):** Додавання пасиваційного (діелектричного) шару на задній поверхні елемента, який відбиває світло назад у кристал. Це збільшує захоплення світла та зменшує рекомбінацію носіїв заряду, що призводить до зростання ККД на 1–2%.
2. **Half-Cut Cells (Напівелементи):** Стандартний елемент розрізаний навпіл. Це знижує струм (I) вдвічі, і, оскільки втрати потужності ($P_{\text{втрат}} = I^2 \cdot R_s$) пропорційні квадрату струму, загальні омичні втрати зменшуються на 75%. Також підвищується продуктивність при частковому затіненні.

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

Тонкоплівкові технології (наприклад, Телурид кадмію CdTe, CIGS, аморфний кремній a-Si) передбачають нанесення напівпровідника дуже тонким шаром. Вони мають нижчий ККД (12–19%), але кращий температурний коефіцієнт (працюють краще при високих температурах). Вони рідко використовуються для об'єктів з обмеженою площею через великі вимоги до простору.

2.3 Фізичні основи та ключові параметри фотоелектричних елементів

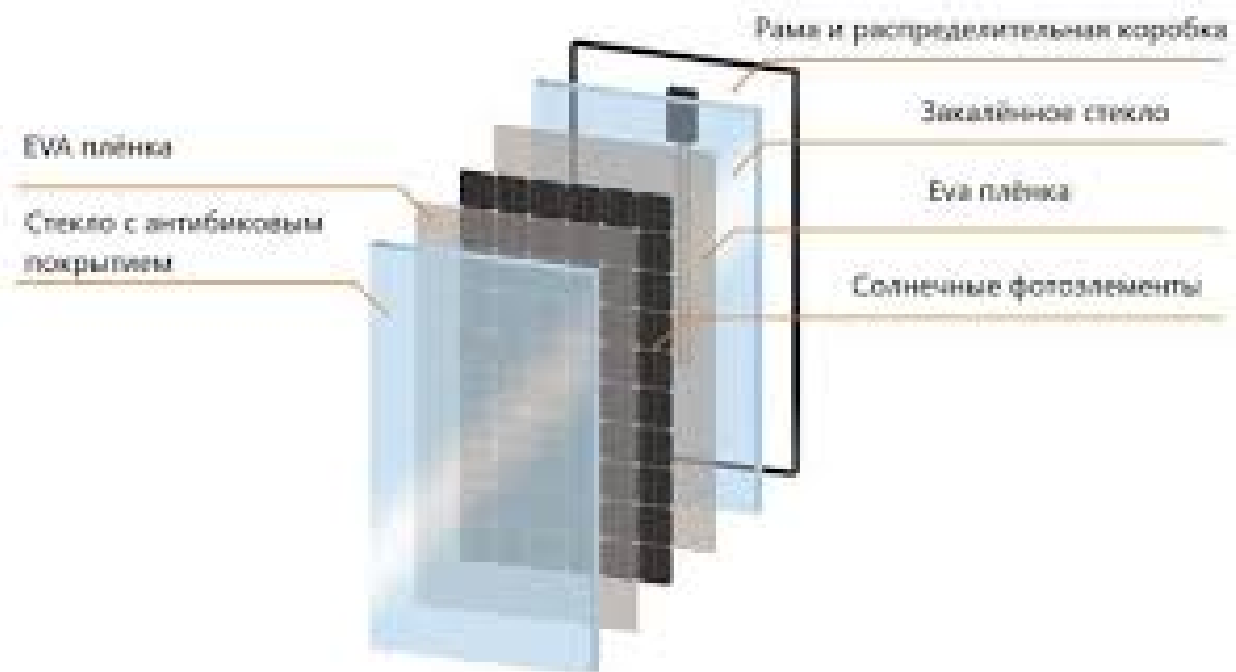


Рисунок 2.3 – Будова сонячних батарей

Робота ФЕ-елемента ґрунтується на фотоелектричному ефекті, який виникає у **p-n переході**. Коли фотон сонячного світла поглинається напівпровідником, він генерує пару носіїв заряду (вільний електрон та дірка) за умови, що енергія фотона ($E_{\text{фотон}}$) більша або дорівнює ширині забороненої зони матеріалу (E_g). Внутрішнє електричне поле p-n переходу розділяє ці носії, що призводить до виникнення фото-ЕРС.

Вольт-амперна характеристика (ВАХ) та ефективність

Продуктивність модуля описує Вольт-амперна характеристика (ВАХ), яка відображає залежність струму (I) від напруги (U) за стандартних умов тестування (STC: інсоляція 1000 Вт/м^2 , температура 25°C).

Ключові параметри:

- **Струм короткого замикання ($I_{\text{к.з.}}$):** Струм при нульовій напрузі ($U=0$). Пропорційний інтенсивності опромінення.
- **Напруга холостого ходу ($U_{\text{х.х.}}$):** Напруга при нульовому струмі ($I=0$). Залежить від температури.
- **Точка максимальної потужності (P_{max}):** Точка на кривій, що відповідає добутку $U_{\text{опт}} \cdot I_{\text{опт}}$.
- **Коефіцієнт заповнення (Fill Factor, FF):** Міра якості елемента.

$$FF = P_{\text{max}} / (U_{\text{х.х.}} \cdot I_{\text{к.з.}}) \quad (1.1)$$

Вплив температури та інсоляції

ВАХ ФЕ-елемента чутлива до зовнішніх факторів:

- **Зростання інсоляції** лінійно збільшує $I_{\text{к.з.}}$, незначно збільшує $U_{\text{х.х.}}$, і, як наслідок, збільшує P_{max} .
- **Зростання температури** значно знижує $U_{\text{х.х.}}$, що є головним негативним фактором, який знижує P_{max} та ККД.

2.4 Системи накопичення енергії (СНЕ)

Системи накопичення енергії (СНЕ) є критично важливим елементом ГЕК, оскільки вони забезпечують живлення вночі та під час блекаутів.

Типи акумуляторних батарей

Для стаціонарних систем ВДЕ найчастіше застосовуються свинцево-кислотні та літій-іонні АКБ.



Рисунок 2.2 – Будова акумуляторної батареї



Рисунок 2.3 – Літієві акумуляторні батареї

Таблиця 2.2 - Типи акумуляторних батарей

Характеристика	Свинцево-кислотні (AGM/GEL)	Літій-іонні (LiFePO ₄)
Вартість	Доступніша	Вища

Глибина розряду (DoD)	Обмежена (до 50%)	Висока (до 80–90%)
Термін служби (Цикли)	500–1500	4000–6000
Обслуговування	Регулярне	Мінімальне
Швидкість зарядки	Повільна	Висока

Обґрунтування вибору: Для резервного електропостачання майстерні (середній клас по ціні-якості) оптимальним є вибір літій-залізо-фосфатних АКБ (LiFePO₄). Вони мають найтриваліший термін служби, що забезпечує низьку вартість володіння (OPEX) та мінімальне обслуговування, а також високу допустиму глибину розряду (DoD), що дозволяє ефективно використовувати накопичену ємність.

Ключові характеристики СНЕ

- **Номінальна ємність ($E_{\text{ном}}$, А·год/кВт·год):** Максимальна енергія, яку може зберігати батарея.
- **Глибина розряду (DoD, %):** Частка ємності, яку можна використати без шкоди для терміну служби. Для LiFePO₄ це 80-90%.
- **Циклічний ресурс:** Кількість повних циклів заряд/розряд до падіння ємності до 80% від початкової.
- **ККД накопичення:** Втрати енергії під час зарядки та розрядки (для LiFePO₄ високий, до 98%).

2.5 Інверторне обладнання

Інвертор перетворює постійний струм (DC) від ФЕ-масиву та АКБ у змінний струм (AC) 220В, необхідний для живлення обладнання майстерні.

Типи інверторів для ВДЕ

1. **Автономні (Off-grid) інвертори:** Працюють лише з АКБ, не синхронізуються з мережею. Використовуються для повністю незалежних систем.
2. **Мережеві (Grid-tied) інвертори:** Синхронізуються з мережею, віддають енергію в мережу. Не можуть працювати під час блекауту (функція Anti-islanding).
3. **Гібридні інвертори:** Поєднують функції мережевого, автономного інверторів та зарядного пристрою. Це найбільш універсальне рішення для резервних систем, оскільки вони забезпечують як економічну ефективність (можливість продажу/заміщення мережі), так і надійний захист від відключень.

Вимоги до інвертора для майстерні (21 кВт)

- **Номінальна потужність:** Інвертор повинен мати номінальну потужність, що відповідає піковому навантаженню майстерні (21 кВт).
- **Чиста синусоїда (Pure Sine Wave):** Обов'язкова умова для коректної роботи асинхронних двигунів (верстати, насоси, компресори), які складають значну частину навантаження майстерні. Модифікована синусоїда може призвести до їх виходу з ладу.
- **Високий ККД:** Сучасні гібридні інвертори повинні мати піковий ККД >96%.

2.6 Порівняльний аналіз типів сонячних модулів та вибір для резервної системи

Оптимальний вибір обладнання для майстерні, де важлива ефективність на обмеженій площі та надійність, повинен базуватися на порівнянні основних параметрів.

Таблиця 2.3 - Аналіз типів сонячних модулів

Параметр	Монокристалічні PERC/Half-Cut (Mono-Si)	Полікристалічні (Poly-Si)	Тонкоплівкові (CdTe, CIGS)
Переважне застосування	Обмежена площа (дахи, фасади).	Великі наземні станції.	Індустріальне застосування.
ККД	20–23%	16–20%	12–19%
Вартість/Вт	Середня/Висока	Середня/Низька	Низька
Стійкість до затінення	Висока (завдяки Half-Cut).	Середня	Середня
Оптимальність для майстерні	Найвища (максимальна генерація на площу).	Середня	Низька

Висновок по Розділу: На сучасному етапі для резервної системи майстерні оптимальним рішенням «ціна-якість-ефективність» є **монокристалічні ФЕ-модулі** з технологіями PERC/Half-Cut (максимальна ефективність на одиницю площі) у поєднанні з **літій-залізо-фосфатними (LiFePO₄)** акумуляторними батареями та **гібридним інвертором** з чистою синусоїдою. Ця конфігурація забезпечує надійність, довговічність та високу якість електроенергії, необхідну для виробничого обладнання.

3 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ

3.1 Розрахунок силової мережі

3.1.1 Аналіз силового обладнання та електричних двигунів

Оскільки для силової майстерні ТзОВ «ЕКУ» обладнання вже визначене, у межах роботи не передбачається окремий підбір силових установок та електродвигунів. Технічні параметри наявних електроприймачів подано у вигляді таблиці.

Таблиця 3.1 - Технічні характеристики силового обладнання

№ п/п	Найменування та марка обладнання	Тип електродвигуна	K_i	Номінальна потужність, кВт	Номінальний струм
1	Бетономішалка (Limex LS190)	АИР71В2	6	1,1	3,9
2	Столярний верстат (Bosch)	АИР90L2	6,5	3,0	3,46
3	Електрозварювальна установка ММА - 200	--	--	7,6	20-200
4	Свердлильний верстат (СВ-12)	АИР80В4	2,3	1,5	3,95
5	Генератор бензиновий GBG8000TE	Genpower190 FD	--	6,4	26
6	Токарний станок	АИР71В4	6,1	0,75	1,77
7	Шліфувальний станок	АИР56В2	5,3	0,25	0,73
8	Компресор FORTE ZA65 – 100	АИР80В2	7,0	2,2	4,85

Розглянуті електроприймачі з електродвигунами враховуються під час формування розрахунково-монтажної схеми силової мережі, яку наведено на окремому аркуші. Місця встановлення електроприводів позначаються на плані приміщень.

3.1.2 Підбір пуско-захисної апаратури та розподільних пристроїв

Основні положення щодо вибору

Підбір захисних і розподільних апаратів виконують з урахуванням таких умов:

- Номінальна напруга: апаратура повинна відповідати напрузі електричної мережі, у якій вона буде працювати.
- Тип і величина струму: враховується рід струму, а також його робочі та граничні значення.
- Кліматичне виконання: обладнання обирають відповідно до умов експлуатації, зокрема впливу пилу, вологи та температури.
- Вимоги захисту: апарати повинні забезпечувати необхідний рівень захисту від коротких замикань, перевантажень, обриву нульового проводу та інших аварійних режимів.
- Відповідність технологічному процесу: характеристики апаратури мають узгоджуватися з особливостями роботи конкретного обладнання.
- Додаткові критерії: під час вибору також беруть до уваги габарити, масу, надійність, вартість і зручність обслуговування.

Як приклад методики розглянемо підбір пуско-захисної апаратури для пневмомолота. Вихідні дані електродвигуна наведено в таблиці 3.1.

Визначаємо пускові струми електродвигунів за формулою:

$$I_n = I_n K_i \quad (2.1)$$

$$I_n = 4,85 \cdot 7,0 = 33,95 \text{ А}$$

Автоматичний вимикач QF5:

$$U_{a.ном} \geq U_{мер} \quad (2.2)$$

$$I_{a.ном} \geq \sum I_n \quad (2.3)$$

$$I_{р.ном} \geq \sum I_n \quad (2.4)$$

Вибір автоматичного вимикача ВА61F29-3С

$$380 = 380 \text{ В}$$

$$16 > 4,85 \text{ А}$$

$$25 > 4,85 \text{ А}$$

Кількість поділок не спрацювання теплового розчіплювача:

$$n = \frac{I_n}{I_{p.n}} \quad (2.5)$$

$$n = \frac{4,85}{10} = 0,5$$

Вибір електромагнітного пускача КМ1:

$$U_{p.ном} \geq U_{мер} \quad (2.6)$$

$$I_{p.ном} \geq \sum I_{n.дв} \quad (2.7)$$

$$I_{p.ном} \geq \frac{\sum I_n}{6} \quad (2.8)$$

Вибір електромагнітного пускача серії ПМ-S-09:

$$380 = 380 \text{ В}$$

$$10 > 4,85 \text{ А}$$

$$10 > 4,85 \cdot 7,0/6 \text{ А}$$

$$10 > 5,6 \text{ А}$$

Вибір електротеплового реле:

$$U_{p.ном} \geq U_{мер} \quad (2.9)$$

$$I_{p.ном} \geq I_{n.дв} \quad (2.10)$$

$$I_{н.б} \geq I_{н.дв} \quad (2.11)$$

Вибираємо електротеплове реле РТ-S-21($I_n = 12 \dots 18 \text{ А}$).

Вибір пуско-захисної апаратури та розподільних пристроїв

Таблиця 3.2 - Перелік пуско-захисного обладнання

Марки електродвигунів	P_n , кВт	I_n , А	Марки електромагнітних пускатчів	I_n , А	Марки автоматичних вимикачів	$I_{н.а.}$, А	$I_{н.р.}$, А
АИР71В2	1,1	3,9	ПМЛ - 1210	10	ВА-51-25	25	20
АИР90L2	3,0	3,46	ПМЛ - 1210	10	ВА-51-25	25	20
ММА - 200	7,6	20-200	-	-	АВ3003/3Б*	225	15
АИР80В4	1,5	3,95	ПМЛ - 1210	10	ВА-51-25	25	20

Genpower190FD	6,4	26	-	-	AB3002/3H	63	32
AIP71B4	0,75	1,77	ПМЛ - 1210	10	BA-51-25	25	20
AIP56B2	0,25	0,73	ПМЛ - 1210	10	BA-51-25	25	20
AIP80B2	2,2	4,85	ПМЛ - 1210	10	BA-51-25	25	20

Перелік розподільних щитків

Таблиця 3.3 - Основні параметри розподільних щитків

Розподільний пункт	Тип щитка	Кількість вимикачів		Ступінь захисту	Кліматичне виконання
		BA-51-25	AB3003/3Б AB3002/3 H		
СЦ1	CRN.BS4Z	3	1	IP54	У3
СЦ2	CRN.BS4Z	3	1	IP54	У3

Розподільні пункти доцільно встановлювати у місцях, зручних для обслуговування. Підхід до них має залишатися вільним і не захищеним сторонніми предметами.

3.1.3 Підбір кабелів і проводів

У промислових електроустановках найчастіше застосовують кабелі та проводи з алюмінієвими жилами перерізом від 2,5 мм². Перевагу надають способам прокладання, які не потребують сталевих труб. Використання сталевих труб допускається лише тоді, коли цього вимагають умови середовища або особливості монтажу.

Переріз жил кабелю чи провідника визначають за тривало допустимим струмом навантаження $I_{доп}$ та максимальним робочим струмом електричного кола $I_{макс.р}$, тобто

$$I_{доп} \geq I_{макс.р}$$

Для магістралі, яка живить декілька електроприймачів, максимальний робочий струм визначають за формулою:

$$I_{макс.р} = K_o \sum_1^n I_{ном} \quad (3.12)$$

Вибраний кабель необхідно перевірити на відповідність його перерізу апарату захисту за формулою:

$$I_{\text{доп}} \geq K_3 I_3, \quad (3.13)$$

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

I_3 - сила номінального струму або струму спрацювання захисного апарату.

Для прикладу розглянемо вибір кабелю, який буде живити від мережі асинхронний двигун з короткозамкненим ротором, що приводить в дію компресор.

АВВГ 4х2,5 з $I_{\text{доп}} = 19 \text{ А}$.

$$I_{\text{макс.р}} = 1 \cdot 4,85 = 4,85 \text{ А}$$

$$I_{\text{доп}} = 1 \cdot 19 = 19 \text{ А}$$

$$19 > 4,85$$

Інші кабелі обираємо таким же чином. Інформацію про вибір кабелів знайдете на листі №1 графічної частини.

Таблиця 3.4 - Марки кабелів для живлення електрообладнання

№ п/п	Найменування обладнання	P_n , кВт	I_n , А	Марка кабеля, провода	$I_{\text{доп}}$, А
1	Бетономішалка (Limex LS190)	1,1	3,9	АВВГ 4х2,5	19
2	Столярний верстат (Bosch)	3,0	3,46	АВВГ 4х2,5	19
3	Електрозварювальна установка ММА - 200	7,6	20-200	АВВГ 4х150	235
4	Свердлильний верстат (СВ-12)	1,5	3,95	АВВГ 4х2,5	19
5	Генератор бензиновий GBG8000TE	6,4	26	АВВГ 4х6	30
6	Токарний станок	0,75	1,77	АВВГ 4х2,5	19
7	Шліфувальний станок	0,25	0,73	АВВГ 4х2,5	19
8	Компресор FORTE ZA65 – 100	2,2	4,85	АВВГ 4х2,5	19

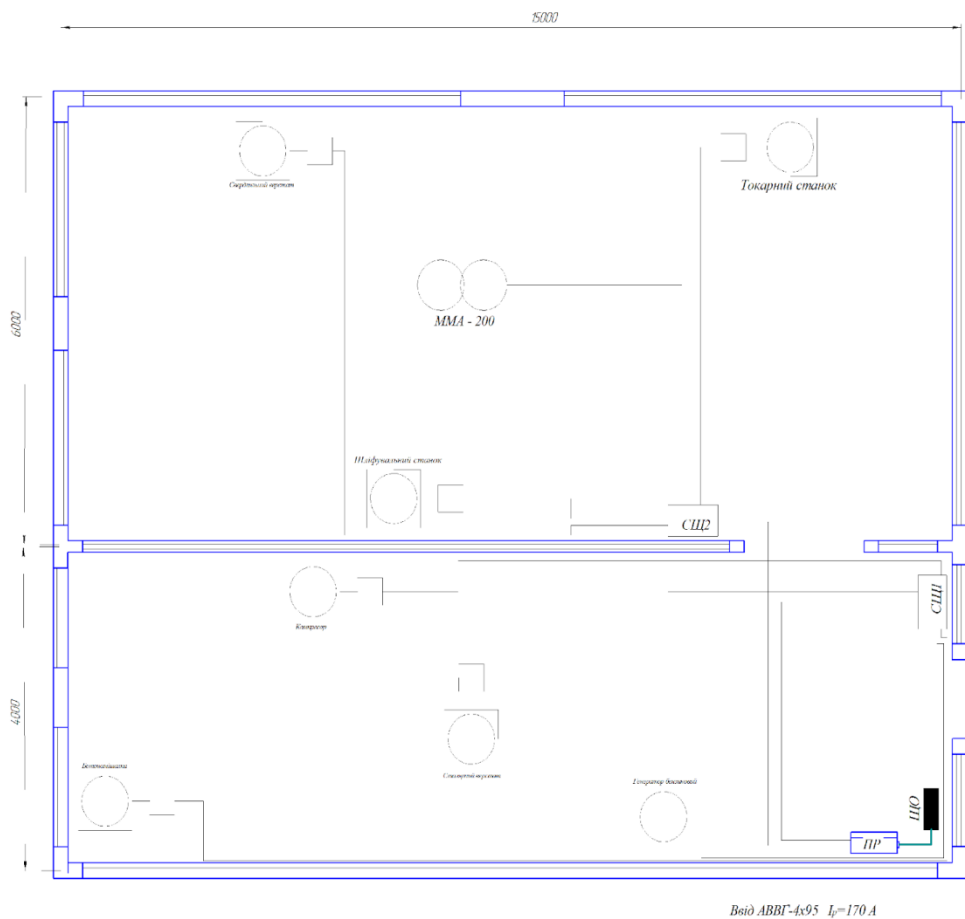


Рисунок 3.1 -. Схема силової мережі та розміщенням обладнання.

3.2 Розрахунок мережі освітлення

3.2.1 Розрахунок освітлення з світлодіодними лампами для першого приміщення

Розміри приміщення: 15 м (довжина) x 4 м (ширина) x 4 м (висота)

Система освітлення: загальна, рівномірна

Світильник: ГСП17

Розрахункова висота підвісу світильників:

$$H_p = H - (h_z + h_p), \quad (4.1)$$

де H – висота приміщення, м;

h_z – висота звисання. Приймаємо $h_z = 0,2$ м;

h_p – рівень робочої поверхні від підлоги. Приймаємо $h_p = 0,8$.

$$H_p = 4 - (0,2 + 0,8) = 3 \text{ м}$$

Відносна відстань між світильниками для кривої К $\lambda = 0,7 \dots 0,8$ Приймаємо $\lambda = 0,75$. [2]

Оптимальна відстань між світильниками в сусідніх рядах:

$$L = \lambda \cdot H_p \quad (4.2)$$

$$L = 0,75 \cdot 3 = 2,2 \text{ м}$$

Кількість рядів світильників:

$$n_p = \frac{B}{L}, \quad (4.3)$$

де B – ширина приміщення, м.

$$n_p = \frac{4}{2,2} \approx 1,8 \text{ м}$$

Прийmemo $n_p = 2$.

Відстань від крайніх світильників до стін:

$$L_c = k_p \cdot L \quad (4.4)$$

де k_p - коефіцієнт, який враховує відстань світильників від стін. Згідно [1], якщо робочі місця розташовані біля стін то $k_p = 0,25 \dots 0,3$, якщо не біля стін – то $k_p = 0,4 \dots 0,5$.

Обираємо $k_p = 0,3$.

$$L_c = 0,3 \cdot 2,2 = 0,66 \text{ м}$$

Відстань між рядами:

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

$$L_B = \frac{4 - 2 \cdot 0,66}{2 - 1} = 2,68 \text{ м}$$

Оптимальна відстань між світильниками в ряду:

$$L_a = \frac{L^2}{L_B} \quad (4.6)$$

$$L_a = \frac{2,2^2}{2,68} = 1,81 \text{ м}$$

Кількість світильників у ряду:

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

де A – довжина приміщення, м

$$n_a = \frac{15 - 2 \cdot 0,66}{1,81} = 7,6$$

Прийmemo $n_a = 8$

Розрахункова відстань між світильниками в ряду:

$$L_A = \frac{A - 2L_c}{n_a - 1} \quad (4.8)$$

$$L_A = \frac{15 - 2 \cdot 0,66}{8 - 1} = 1,95 \text{ м}$$

Загальна кількість світильників:

$$N = n_p n_a \quad (4.9)$$

$$N = 2 \cdot 8 = 16$$

Порахуємо індекс приміщення:

$$i = \frac{AB}{H_p(A+B)} \quad (4.10)$$

$$i = \frac{15 \cdot 4}{3 \cdot (15 + 4)} = 1,053$$

Коефіцієнти відбивання: стеля $\rho_{ст} = 50\%$; стіна $\rho_c = 30\%$; підлога $\rho_{п} = 10\%$. [1]

Вибираємо коефіцієнт використання світлового потоку $\eta = 0,53$ [1]

Нормовану освітленість прийmemo $E_n = 200$ лк.

Коефіцієнт запасу візьmemo $K = 1,4$.

Визначимо розрахунковий світловий потік світильника за формулою:

$$\Phi_{p.c} = \frac{E_n ABKZ}{N\eta}, \quad (4.11)$$

де Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення, $Z = 1,15$.

$$\Phi_{p.c} = \frac{200 \cdot 15 \cdot 4 \cdot 1,4 \cdot 1,15}{16 \cdot 0,53} = 2278,3 \text{ лм.}$$

Підбір лампи:

- Лампа: світлодіодна LUXEL A95 25W
- Потужність: $P_n = 25 \text{ Вт}$
- Світловий потік: $\Phi_l = 2350 \text{ лм}$
- Час роботи: більше 40000 год

Вибираємо світильник ГСП17.[2]

Порахуємо фактичну освітленість:

$$E_\phi = E_n \frac{\Phi_l \cdot m}{\Phi_{p.c}}, \quad (4.12)$$

де m – кількість ламп у світильнику.

$$E_\phi = 200 \cdot \frac{2350 \cdot 1}{2278,3} = 206,3 \text{ лк.}$$

Відхилення освітленості:

$$E = \frac{E_\phi - E_n}{E_n} \cdot 100 \quad (4.13)$$

$$E = \frac{206,3 - 200}{200} \cdot 100 \approx 0,03 \%$$

Відхилення освітленості у межах $+20 \dots -10\%$ і є допустимим.

Порахуємо установлену потужність освітлювальної установки:

$$P_y = P_l m N \quad (4.14)$$

$$P_y = 25 \cdot 1 \cdot 16 = 400 \text{ Вт.}$$

3.2.2 Розрахунок освітлення з світлодіодними лампами для другого приміщення

Розміри приміщення: 15 м (довжина) x 6 м (ширина) x 4 м (висота)

Система освітлення: загальна, рівномірна

Світильник: ГСП 17

Визначимо розрахункову висоту підвісу світильників:

$$H_p = H - (h_z + h_p), \quad (4.15)$$

де H – висота приміщення, м;

h_z – висота звисання. Приймаємо $h_z = 0,2$ м;

h_p – рівень робочої поверхні від підлоги. Приймаємо $h_p = 0,87$.

$$H_p = 4 - (0,2 + 0,87) = 2,9 \text{ м}$$

Відносна відстань між світильниками для кривої К $\lambda = 0,7 \dots 0,8$ Приймаємо $\lambda = 0,7$. [2]

Оптимальна відстань між світильниками в сусідніх рядах:

$$L = \lambda \cdot H_p \quad (4.16)$$

$$L = 0,75 \cdot 2,9 = 2,18 \text{ м}$$

Кількість рядів світильників:

$$n_p = \frac{B}{L}, \quad (4.17)$$

де B – ширина приміщення, м.

$$n_p = \frac{6}{2,18} \approx 2,75$$

Прийmemo $n_p = 3$.

Визначаємо відстань від крайніх світильників до стін за формулою:

$$L_c = k_p \cdot L \quad (4.18)$$

де k_p - коефіцієнт, який враховує відстань світильників від стін. Згідно [1], якщо робочі місця розташовані біля стін то $k_p = 0,25 \dots 0,3$, якщо не біля стін – то $k_p = 0,4 \dots 0,5$.

Виберemo $k_p = 0,3$.

$$L_c = 0,3 \cdot 2,18 = 0,65 \text{ м}$$

Відстань між рядами:

$$L_B = \frac{B - 2L_c}{n_p - 1} \quad (4.19)$$

$$L_B = \frac{6 - 2 \cdot 0,65}{3 - 1} = 2,35 \text{ м}$$

Оптимальна відстань між світильниками в ряду:

$$L_a = \frac{L^2}{L_B} \quad (4.20)$$

$$L_a = \frac{2,18^2}{2,35} = 2,02 \text{ м}$$

Кількість світильників у ряду:

$$n_a = \frac{A - 2 \cdot L_c}{L_a}, \quad (4.21)$$

де A – довжина приміщення, м

$$n_a = \frac{15 - 2 \cdot 0,65}{2,02} = 6,78 \text{ м}$$

Прийmemo $n_a = 7$

Розрахункова відстань між світильниками в ряду:

$$L_A = \frac{A - 2L_c}{n_a - 1} \quad (4.22)$$

$$L_A = \frac{15 - 2 \cdot 0,65}{7 - 1} = 2,28 \text{ м}$$

Загальна кількість світильників:

$$N = n_p n_a \quad (4.23)$$

$$N = 3 \cdot 7 = 21$$

Індекс приміщення:

$$i = \frac{AB}{H_p (A + B)} \quad (4.24)$$

$$i = \frac{15 \cdot 6}{2,9 \cdot (15 + 6)} = 1,49$$

Коефіцієнт відбивання: стеля $\rho_{\text{ст}} = 50\%$; стіни $\rho_{\text{с}} = 30\%$; підлога $\rho_{\text{п}} = 10\%$. [1]

Оберемо коефіцієнт використання світлового потоку $\eta = 0,8$ [1]

Нормована освітленість $E_{\text{н}} = 200$ лк.

Коефіцієнт запасу $K = 1,4$.

Розрахунковий світловий потік світильника:

$$\Phi_{p.c} = \frac{E_n \cdot ABKZ}{N\eta}, \quad (4.25)$$

де Z – коефіцієнт нерівномірності освітлення, $Z = 1,15$ [1].

$$\Phi_{p.c} = \frac{200 \cdot 15 \cdot 6 \cdot 1,4 \cdot 1,15}{21 \cdot 0,8} = 1725 \quad \text{лм}$$

Вибираємо світлодіодну лампу типу "PREMIER - 18" 18W E27 з $P_n = 18$ Вт, $\Phi_n = 1700$ лм [3]. Вибираємо світильник ГСП 17.[2]

Розраховуємо фактичну освітленість за формулою:

$$E_\phi = E_n \frac{\Phi_n \cdot m}{\Phi_{p.c}}, \quad (4.26)$$

де m – кількість ламп у світильнику.

$$E_\phi = 200 \cdot \frac{1700 \cdot 1}{1725} = 197,1 \quad \text{лк}$$

Відхилення освітленості:

$$E = \frac{E_\phi - E_n}{E_n} \cdot 100 \quad (4.27)$$

$$E = \frac{197,1 - 200}{200} \cdot 100 \approx -0,01 \quad \%$$

Відхилення освітленості знаходиться у межах допустимих +20...-10%.

Встановлена потужність освітлювальної установки становить

$$P_y = P_n m N \quad (4.28)$$

$$P_y = 18 \cdot 1 \cdot 21 = 378 \quad \text{Вт}$$

3.2.3 Підбір пуско-захисної апаратури для освітлювальної мережі

Розташування щитів

Живильні й групові щити бажано встановлювати у вузлах з'єднання відповідних мереж, максимально близько до центру навантаження та в місцях, доступних для огляду й обслуговування.

Розподілення навантаження

Під час поділу освітлювальної електропроводки на групи необхідно враховувати такі вимоги:

Рівномірність навантаження: навантаження між фазами повинно розподілятися якомога рівномірніше.

Обмеження за струмом: номінальний струм розчіплювача групового автоматичного вимикача має бути не більшим ніж 25 А.

Групування освітлювальної мережі доцільно оформлювати у табличному вигляді.

3.5 - Розподіл освітлювальної електропроводки на групи

Номер та тип щитка	Номер групи	Номер приміщення на плані	Кількість ламп	Установлена потужність ламп, кВт	Примітка
ЩО ОП-34ХЛ4	1	1	16	0,400	Технологічне освітлення
	2	2	21	0,378	Технологічне освітлення

Для однофазних груп з лампами розжарювання розрахунковий струм (I_p) групи визначається за формулою:

$$I_{sp} = \frac{P_{sp} \cdot 10^3}{U_{\phi}}, \quad (4.29)$$

де U_{ϕ} - фазна напруга групи, В;

P_{sp} - розрахункова потужність групи, кВт;

Розрахуємо струм групи освітлювального щитка:

$$I_{sp1} = \frac{0,400 \cdot 10^3}{220} = 1,82 \text{ А}$$

$$I_{sp2} = \frac{0,378 \cdot 10^3}{220} = 1,72 \text{ А}$$

Тип освітлювального щитка обирається залежно від кількості груп:

ОП-34ХЛ4 – на 3 групи [2].

Номінальні струми розчіплювачів автоматичних вимикачів обираються з урахуванням розрахункових струмів груп та наступних умов:

$$I_{ном.р} \geq I_{розр}$$

$$I_{y.e} \geq 1,4 \cdot I_{розр}$$

Оберемо автоматичні вимикачі для груп 1, 2 освітлювального щитка серії ВА 2006 з $I_{ном.p1} = 1,82$ А, $I_{ном.p2} = 1,72$ А [2].

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

Вибір перерізу проводів

У кузні з пожежонебезпечним середовищем електропроводку рекомендується прокладати закритим способом під штукатуркою.

Площа поперечного перерізу проводу визначається за формулою:

$$I_{доп} \geq I_{p.max}, \quad (4.30)$$

де $I_{p.max}$ - робочий максимальний струм групи, А.

Для всіх груп освітлювального щитка обираємо провід типу ППВ 2×2,5 у якого $I_{доп} = 17$ А [5]. Допустимий струм цього проводу більший за робочий струм кожної групи:

Група 1: – $1,82 < 17$ А;

Група 2: – $1,09 < 17$ А;

Таким чином, обраний переріз проводів відповідає всім вимогам.

Перевірка втрат напруги

Втрата напруги на ділянці проводу розраховується за формулою:

$$\Delta U = \frac{Pl}{CF}, \quad (4.31)$$

де C – постійна для даного проводу, $C = 6,8$;

F – поперечний переріз проводу (мм^2);

l – довжина групи (м).

Розрахунок для груп освітлювального щитка ОП-34ХЛ4:

$$\Delta U_1 = \frac{0,400 \cdot 32}{6,8 \cdot 2,5} = 0,8 \%$$

$$\Delta U_2 = \frac{0,378 \cdot 48}{6,8 \cdot 2,5} = 1,06 \%$$

Втрати напруги для всіх груп не перевищують допустимих 2,5%, тому провід ППВ 2×2,5 можна використовувати без змін.

План силової майстерні з нанесеною освітлювальною проводкою для світлодіодних ламп зображений на рисунку 4.1. На ньому чітко позначено розташування світильників, груп освітлення, а також траси прокладання проводів.

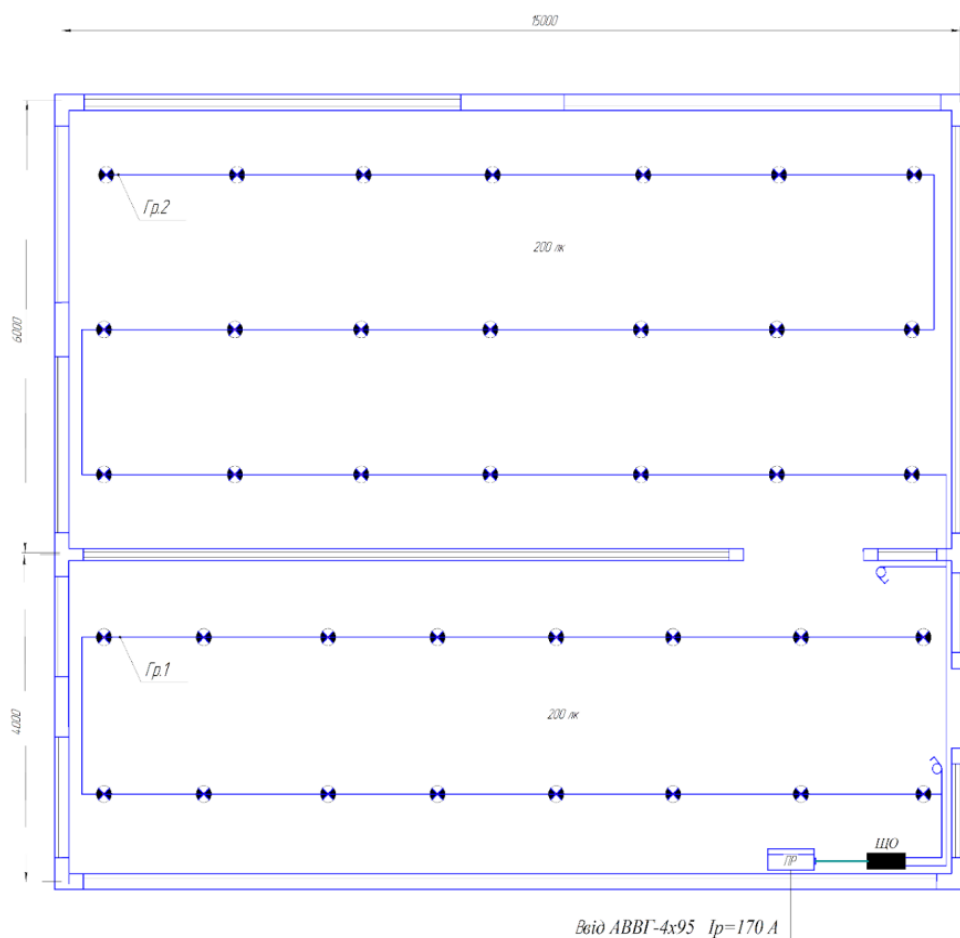


Рисунок 3.2 - План силової майстерні з нанесенням освітлювальної проводки для світлодіодних ламп.

4 ТЕХНІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ТА РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ГЕК

4.1 Аналіз споживання та розрахунок критичного навантаження

Детальний розрахунок параметрів гібридного енергетичного комплексу (ГЕК) для майстерні починається з глибокого аудиту споживачів. На відміну від житлових об'єктів, виробнича майстерня характеризується високою динамікою навантаження та наявністю пускових струмів асинхронних двигунів. Для розрахунку прийнято встановлену потужність обладнання 21 кВт. Профіль споживання розділено на три категорії: критичне навантаження (системи керування, освітлення, охорона — 2 кВт), основне технологічне навантаження (верстати, компресори — 15 кВт) та допоміжне навантаження (вентиляція, побутові прилади — 4 кВт). Добове споживання енергії ($E_{\text{добове}}$) при 8-годинному робочому дні становить 96 кВт·год. Важливим аспектом є врахування пускових коефіцієнтів ($k_{\text{пуск}} = 3-5$) для верстатів, що вимагає від системи здатності витримувати короточасні перевантаження до 60 кВт.

4.2 Розрахунок та обґрунтування системи накопичення енергії (СНЕ)

Відповідно до поставленого завдання, система повинна забезпечувати 48 годин повної автономної роботи ($T_{\text{автоном}} = 2$ доби) у разі відсутності сонячної генерації. Розрахунок необхідної корисної ємності проводиться з урахуванням глибини розряду (DoD) та ККД перетворення інвертора ($\eta_{\text{інв}}$). Використовуємо формулу (2.1), де $\eta_{\text{інв}} = 0.94$ та $\text{DoD} = 0.9$ для сучасних літій-залізо-фосфатних (LiFePO_4) систем.

$$E_{\text{АКБ_необх}} = (96 \text{ кВт}\cdot\text{год} * 2 \text{ доби}) / (0.94 * 0.9) \approx 226.9 \text{ кВт}\cdot\text{год}.$$

Для реалізації обрано модульні блоки **Pylontech US3000C** номінальною ємністю 3.55 кВт·год (корисна — 3.2 кВт·год). Для досягнення цільового показника необхідно 72 модулі, згруповані у 6 стійок. Обраний тип LiFePO_4

забезпечує понад 6000 циклів, що при циклічному використанні в режимі резерву гарантує термін експлуатації понад 15 років.



Basic Parameters	US3000C	US3000C-	US3000C-3
Nominal Voltage (V)	48	48	48
Nominal Capacity (Ah)	2400	2150	2400
Usable Capacity (Ah)	2080	2074.4	2000
Dimension (mm)	442*140*90	440*140*110	440*140*90
Weight (kg)	21	22	24
Discharge Voltage (V)	44.5 - 33.5	44.5 - 33.5	44.5 - 33.5
Charge Voltage (V)	52.5 - 53.5	52.5 - 53.5	52.5 - 53.5
Charge / Discharge Current (A)	20 (Recommend)	20 (Recommend)	20 (Recommend)
	30 (Max:40)	24 (Max:40)	30 (Max:40)
	60 (Peak:80)	90 (Peak:100)	100 (Peak:120)
Constructional Cell	FM30, CAN	FM30, CAN	FM30, CAN
Single string over/protect	14	16	5
Working Temperature(°C)	0-50	0-50	0-50
Shelf Temperature(°C)	-20-60	-20-60	20-60
Humidity	20-95%	20-95%	20-95%
Affixes (kg)	<2000	<2000	<2000
Design life	10 ⁴ Years (25°C/100%)	10 ⁴ Years (25°C/100%)	10 ⁴ Years (25°C/100%)
Cycle life	4000, 25°C	4000, 25°C	4000, 25°C
Authentication Level	ICCAN HVCE (A40B03)	V0000 00000000 HVCE HVCE 100000000000000000000000	ICCAN HVCE (A40B03)
Feature	Pre-Charge Dual-cell protection Passive current sleep Dry contact wake-up	Pre-Charge Dual-cell protection Passive current sleep Dry contact wake-up	



Рисунок 4.1 - Pylontech US3000C



Рисунок 4.2 - Модульні блоки Pylontech US3000C

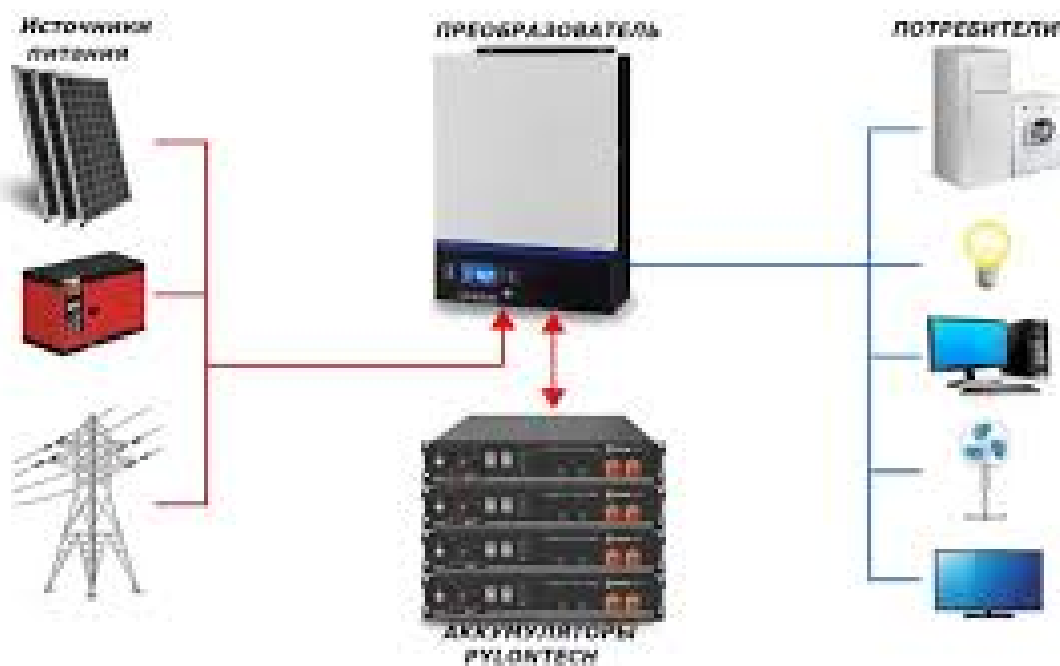


Рисунок 4.3 – Інтеграція модульних блоків Pylontech US3000C

$$E_{\text{АКБ}} = (E_{\text{добове}} * T_{\text{автоном}}) / (\eta_{\text{інв}} * \text{DoD}) \quad (4.1)$$

Для розрахунку використано наступні параметри: $\eta_{\text{інв}} = 0.9$ (ККД інвертора) та $\text{DoD} = 0.8$ (глибина розряду для LiFePO_4). Таким чином,

$$E_{\text{АКБ}} = (96 * 1) / (0.9 * 0.8) = 133.33 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

З урахуванням конфігурації стандартних модулів LiFePO_4 , прийнята встановлена ємність становить **133.12 кВт}\cdot\text{год}**. Обрано літій-залізо-фосфатні батареї через їхній ресурс понад 6000 циклів та високу пожежну безпеку.

4.3 Розрахунок та вибір фотоелектричного масиву

Потужність фотоелектричного масиву повинна не лише покривати поточне споживання, а й встигати зарядити АКБ після глибокого розряду. Для розрахунку обрано монокристалічні модулі **Longi Solar Hi-MO 6 Explorer 570W**. Параметри модуля: $P_{\text{max}} = 570$ Вт, ККД = 22.1%, площа модуля $S_{\text{mod}} = 2.58$ м². Необхідна встановлена потужність масиву P_{PV} розраховується за формулою (2.2), де враховується середньодобова інсоляція (H_{ins}) для даного регіону в найгірший місяць (листопад-грудень — 1.2 кВт}\cdot\text{год/м}^2/\text{день}).

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

Це вимагає встановлення 214 панелей. Загальна площа масиву

$$S_{\text{total}} = 214 * 2.58 \approx 552 \text{ м}^2.$$

Таке розміщення потребує використання як основної покрівлі майстерні, так і фасадних конструкцій або навісів для паркування.

$$P_{\text{PV}} = (E_{\text{добове}} * k) / (\eta_{\text{сист}} * H_{\text{ins}}) \quad (4.2)$$

де $k = 1.2$ (коефіцієнт запасу), $\eta_{\text{сист}} = 0.85$ (втрати в кабелях та інверторі), H_{ins} — показник сонячної інсоляції. Необхідна потужність складає **115 кВт}**. Обрано монокристалічні модулі Mono-Si PERC/Half-Cut (550+ Вт), які забезпечують максимальний виробіток на обмеженій площі даху промислового об'єкта.



Рисунок 4.4 – Longi Solar Hi-MO 6 Explorer

Longi Solar - на 1 місці в 2022 та 2 місце в 2024, 2025 роках серед виробників сонячних панелей за результатами продажів у світі!

Монокристалічна двостороння сонячна панель N-типу - 610Вт Longi Solar LR8-66HGD-610M застосовується в системах мережевих, гібридних чи автономних сонячних електростанцій. Має потужність 610 Вт, що є дуже високим показником на 2025 рік. Коефіцієнт корисної дії сонячної панелі є дуже високим і складає 22,60 % в парі з інвертором, дозволяє її ефективно використовувати для отримання прибутку за «зеленим тарифом» або автономного енергозабезпечення.

При створенні моделі використані найкращі матеріали та компоненти ринку фотовольтаїки. Поверхня панелі надійно захищена **3,2-міліметровим загартованим склом**.

Сонячна батарея **пройшла випробування градом розміром 25мм** про швидкості вітру 23м/с. Конструкція здатна витримувати снігове навантаження до 5200Па та вітрове навантаження до 2400Па. Стійка до впливу солоної вологи, аміаку та пилу, що підтверджено незалежним тестуванням.

Клас захисту приладу IP68 означає, що він повністю захищений від проникнення пилу та витримує короткочасне занурення у воду на глибину до 1-го метра. Випадковий контакт електричних елементів з людиною виключається.

Модель сертифікована за системами управління ISO 9001:2008, ISO 14001:2004. Відповідність галузевим стандартам IEC61215, IEC61730 забезпечує високу якість та безпечність обладнання. Незалежне підтвердження відповідності здійснила компанія TUV Rheinland.

Пристрій має стандартні габаритні розміри **2382x1134x30 мм** та вагу **33,5 кг**.

Тип поверхні	Альbedo	Приріст генерації
Вода	5-8%	4-6%
Зелена трава	15-25%	7-9%
Бетон/білий гравій	25-35%	8-10%
Сухий пісок	35-45%	10-15%
Старий сніг	40-70%	15-22%
Відбиваюче покриття	80-90%	23-25%
Свіжий сніг	80-95%	25-30%

Завдяки задній поверхні, середньостатистичний приріст потужності становить 10%, що робить сонячну панель **Longi Solar 610 Вт** більш вигідною, ніж звичайні фотополя. Застосування спеціальних відбивних покриттів під сонячними електростанціями з **двосторонніми** панелями може підвищити енергоефективність **до 25% (740 Вт)**

Номинальна потужність	610 Вт
Допуск по потужності	0 - +3%
Напруга в точці максимальної потужності	40.51 В
Струм в точці максимальної потужності	15.06 А
Напруга розімкнутого кола	48.38 В
Струм короткого замикання	15.95 А
Коефіцієнт корисної дії	22.60%
Температурний коефіцієнт напруги	-0.23 %/°C

4.4 Обґрунтування вибору гібридних інверторів

Центральним вузлом ГЕК є кластер із трьох трифазних гібридних інверторів (наприклад, **Victron Quattro 15kVA** або **Deye SUN-20K-SG01HP3**), що працюють у паралельному режимі. Вибір зумовлений потребою в чистій синусоїді та наявності двох незалежних входів АС (мережа та дизель-генератор). Швидкість перемикавання на резерв становить менше 10 мс, що є непомітним для ЧПК-верстатів. Система підтримує функцію "PowerAssist", яка дозволяє додавати потужність від АКБ до потужності мережі під час пікових

навантажень (наприклад, при пуску важкого компресора), що запобігає спрацюванню вхідних автоматів мережі.



Рисунок 4.5 – інвертор Victron Quattro 15kVA

Характеристики інвертора Victron Quattro 15kVA

Напруга акумуляторної батареї	48 В
Тип	Гібридний (Off-grid / On-grid)
Кількість фаз	1
Діапазон вхідної напруги	187-265 В
Форма вихідного сигналу	Чиста синусоїда
Номінальна вихідна напруга	230 В
Номінальна напруга поля	30-80 В
Особливі властивості	<u>Можливість віддаленого керування/моніторингу</u> <u>Можливість паралельної роботи</u> <u>Підключення генератора</u> <u>Функція ДБЖ</u> <u>Функція вибору сили зарядного струму</u> <u>Функція керування джерелами електроенергії</u> <u>Функція підмішування</u>
Номінальна потужність	12 кВт
Інтерфейси	1 x CAN
Допустима потужність	15000 Вт
Розміри (ВхШхГ)	810 x 405 x 217 мм

Вага _____	80 кг
Максимальний струм заряджання батареї _____	220 А
Час перемикання (AC-Battery) _____	20 мс
Діапазон максимальних температур _____	-40 - +65 °С
Діапазон робочих температур _____	-40 - +65 °С
Захист _____	Від короткого замикання Від перевантажень Від перегрівання
Ступінь захисту _____	IP22
Частота _____	50 Гц
ККД _____	>95 %
Додаткові характеристики _____	З зарядним пристроєм, Режим ДБЖ, PowerControl, PowerAssist, Можливість підключення до 6 інверторів у паралель або 3 інвертори для 3-фазного виходу (при додатковому АС перемикачі), Захист від перевантаження, короткого замикання та перегріву
Гарантія _____	12 місяців

Висновки до розділу

У другому розділі виконано технічне та економічне обґрунтування параметрів гібридного енергетичного комплексу для резервного електропостачання майстерні. На підставі аналізу навантаження встановлено, що пікова потужність обладнання становить 21 кВт, а добове споживання за прийнятим графіком роботи - близько 96 кВт·год. Для забезпечення автономності й покриття пускових струмів запропоновано використовувати трифазний інверторний кластер із чистою синусоїдою та можливістю короткочасного перевантаження.

Розрахунок системи накопичення енергії показав необхідність використання LiFePO₄ акумуляторів корисною ємністю близько 227-230 кВт·год. Така ємність забезпечує резервування критичних і технологічних споживачів протягом тривалого аварійного періоду та має високий ресурс циклів, що є важливим для промислового використання.

Для заряджання акумуляторів і часткового покриття денного споживання обґрунтовано фотоелектричний масив потужністю близько 122 кВт на основі монокристалічних модулів PERC/Half-Cut. Орієнтовна площа розміщення модулів становить близько 552 м², тому для практичної реалізації можуть бути використані покрівля майстерні, фасадні конструкції або сонячні навіси.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТУ НАСЕЛЕННЯ

Метою планування заходів з охорони праці є визначення необхідних вкладень у заходи з охорони праці для ефективного впливу на стан охорони праці.

Система планів з охорони праці окремого підприємства може включати:

- перспективне планування (на період, більший одного року) ;
- поточне планування (на рік) ;

оперативне планування (детальні плани, спрямовані на вирішення конкретних питань працезахоронної діяльності на підприємстві в короткостроковому, до одного року, періоді).

Планування в охороні праці може включати:

- визначення цілей діяльності з охорони праці на підприємстві та засобів їх досягнення;
- вибір методів і базових показників, за допомогою яких може здійснюватися оцінка необхідних вкладень в охорону праці;
- розрахунок суми вкладень у заходи з охорони праці та раціональний розподіл цієї суми за напрямками діяльності;
- забезпечення організації контролю виконання плану (при необхідності здійснення коригування запланованих показників) ;
- здійснення постійного контролю умов і безпеки праці на підприємстві та оперативне реагування на відхилення від нормативних вимог.

Перспективне планування вміщує найбільш важливі, трудомісткі і довгострокові за терміном виконання заходи з охорони праці, виконання яких, як правило, вимагає сумісної роботи кількох підрозділів підприємства. Можливість виконання заходів перспективного плану повинна бути підтверджена обґрунтованим розрахунком необхідного матеріально-технічного забезпечення і фінансових витрат з зазначенням джерел фінансування.

До перспективних планів належить комплексний план покращення умов праці і санітарно-оздоровчих заходів, що передбачає створення, відповідно до нормативних актів з охорони праці, умов праці, пов'язаних з перспективними змінами підприємства. Таке планування, як правило, розраховане на термін від 2 до 5 років. Реалізація цих планів забезпечується через річні плани номенклатурних заходів з охорони праці, які вносяться до угоди, що є невід'ємною частиною колективного договору.

Поточні плани передбачають реалізацію заходів із покращення умов праці, створення кращих побутових і соціальних умов на виробництві. Ці плани обов'язково забезпечуються фінансуванням згідно з розробленими кошторисами.

Питання охорони праці можуть віддзеркалюватися в інших поточних планах, які підприємства та організації можуть скласти на вимогу трудових колективів:

- план соціального розвитку колективу;
- наукової організації праці;
- механізації важких і ручних робіт;
- охорони праці жінок;
- підготовки підприємства до робіт в осінньо-зимовий період;
- підвищення культури виробництва та ін.

Оперативне планування роботи з охорони праці здійснюється за підсумками контролю стану охорони праці в структурних підрозділах і на підприємстві в цілому.

6 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Комплексне економічне обґрунтування та окупність

Економічна частина проекту має на меті визначити загальну вартість упровадження гібридного енергетичного комплексу, оцінити щорічний економічний ефект та встановити строк повернення інвестицій. На відміну від звичайної побутової сонячної електростанції, резервна система для майстерні оцінюється не тільки за економією купленої електроенергії, а й за здатністю запобігати виробничим простоям під час аварійних відключень.

Для розрахунків прийнято конфігурацію, визначену в технічній частині: фотоелектричний масив потужністю близько 122 кВт, система накопичення енергії корисною ємністю близько 227-230 кВт·год та трифазний інверторний кластер, здатний забезпечити роботу критичного й основного технологічного навантаження майстерні. Усі грошові значення наведено в доларах США, оскільки більшість компонентів системи імпортується та закуповується за валютними контрактами.

Вихідні економічні припущення

Основні припущення наведено в таблиці 6.1. Вони потрібні для уніфікованого розрахунку CAPEX, OPEX, річної економії та строку окупності. Прийнято консервативний сценарій: частина виробленої сонячної енергії може не використовуватися безпосередньо в майстерні через нерівномірність графіка роботи та обмеження за потужністю навантаження, тому для фінансової моделі враховано лише корисну самоспожиту енергію.

Таблиця 6.1 - Вихідні припущення для економічного розрахунку

Показник	Прийняте значення	Пояснення
Встановлена потужність ФЕ-масиву	122 кВт	214 модулів по 570 Вт із запасом на втрати та сезонне зниження генерації

Показник	Прийняте значення	Пояснення
Корисна ємність СНЕ	227-230 кВт·год	Достатньо для забезпечення 48 годин автономності за прийнятим профілем навантаження
Добове споживання майстерні	96 кВт·год/добу	8-годинний робочий день із середнім фактичним навантаженням близько 12 кВт
Тариф на електроенергію	0,18 \$/кВт·год	Середня вартість електроенергії для комерційного споживача з урахуванням розподілу
Корисне самоспоживання РВ	72 400 кВт·год/рік	Частина річної генерації, яка реально заміщує купівлю електроенергії з мережі
Оцінка втрат від простою	1 500 \$/год	Втрачена маржа, оплата персоналу та невиконані виробничі операції
Запобігнутий простій	18 год/рік	Консервативна оцінка кількості годин, коли система дозволяє продовжити роботу
Горизонт аналізу	25 років	Відповідає типовому строку служби фотоелектричних модулів

Розрахунок капітальних витрат CAPEX

Капітальні витрати (CAPEX) включають закупівлю основного обладнання, захисно-комутаційних пристроїв, кабельної продукції, монтажних конструкцій, проектування, пусконаладжувальні роботи та первинне налаштування системи моніторингу. Розрахунок ведеться за формулою:

$$CAPEX = C_{PV} + C_{AKB} + C_{INV} + C_{MOUNT} + C_{PROT} + C_{INST}, \quad (6.1)$$

де C_{PV} - вартість сонячних модулів; C_{AKB} - вартість акумуляторних батарей; C_{INV} - інвертори та автоматика; C_{MOUNT} - монтажні конструкції; C_{PROT} - кабелі, захист і комутація; C_{INST} - монтаж, проектування та пусконаладження.

Таблиця 6.2 - Структура капітальних витрат на впровадження ГЕК

Стаття витрат	Кількість / параметр	Орієнтовна вартість, \$	Частка CAPEX, %
Сонячні модулі Longi Solar Hi-MO 6 570 Вт	214 шт., 121,98 кВт	38 000	20,8
Акумуляторні модулі LiFePO4	72 модулі, $\approx 255,6$ кВт·год номінально	92 000	50,4
Гібридні інвертори та АВР	3-фазний кластер 45-60 кВт	32 000	17,5
Монтажні конструкції для даху/навісу	Площа масиву ≈ 552 м ²	7 500	4,1
Кабелі, автомати, запобіжники, SPD, шафи DC/AC	Повний комплект захисту	5 200	2,9
Проектування, монтаж і пусконаладження	Електромонтажні роботи та налаштування EMS	7 700	4,2
Разом CAPEX	-	182 400	100,0

Найбільшу частку інвестицій становить система накопичення енергії - понад 50 % загального бюджету. Це пояснюється високою вимогою до автономності: саме акумулятори забезпечують живлення вночі та під час тривалого блекауту. Сонячні модулі мають меншу частку, однак визначають довгострокову економію, оскільки протягом строку служби 25 років виробляють електроенергію з мінімальними змінними витратами.

Розрахунок операційних витрат OPEX

Операційні витрати (OPEX) є відносно невеликими порівняно з традиційними дизель-генераторними системами, оскільки ГЕК не потребує постійної закупівлі пального. До регулярних витрат віднесено сервісне обслуговування, перевірку контактних з'єднань, очищення модулів, оновлення програмного забезпечення інверторів та моніторинг стану АКБ.

Таблиця 6.3 - Річні операційні витрати системи

Стаття OPEX	Періодичність	Вартість, \$/рік	Призначення
Профілактичне обслуговування інверторів і АВР	1 раз на рік	450	Перевірка режимів, протоколів захисту, журналів аварій
Огляд АКБ та BMS	2 рази на рік	250	Контроль температури, балансування, перевірка кабельних з'єднань
Очищення сонячних модулів	2-3 рази на рік	300	Підтримання генерації та зменшення втрат від забруднення
Система моніторингу та зв'язок	Постійно	150	Передавання даних, дистанційна діагностика
Резерв на дрібні матеріали	За потреби	350	Запобіжники, клеми, дрібні ремонтні матеріали
Разом OPEX	-	1 500	-

Отже, річні експлуатаційні витрати прийнято на рівні 1 500 \$/рік. Для порівняння, дизель-генератор аналогічної потужності за 18 годин роботи на рік потребував би не лише витрат на пальне, а й регулярного технічного обслуговування двигуна, мастила, фільтрів та зберігання пального. Тому за довгострокового використання ГЕК має нижчу сукупну вартість володіння.

Розрахунок економії електроенергії

Річна економія від заміщення мережевої електроенергії визначається за формулою:

$$E_{sav} = E_{self} \cdot T_{el}, \quad (6.2)$$

де E_{self} - річна кількість сонячної енергії, використаної майстернею для власних потреб; T_{el} - тариф на електроенергію. Для розрахунку прийнято $E_{self} = 72\,400$ кВт·год/рік та $T_{el} = 0,18$ \$/кВт·год.

$$E_{sav} = 72\,400 \cdot 0,18 = 13\,032 \text{ \$/рік.}$$

Отримане значення не враховує потенційного продажу надлишкової електроенергії або компенсації за механізмами підтримки ВДЕ. Такий підхід є обережним, адже головним призначенням системи є резервування, а не комерційна генерація в мережу.

Оцінка запобігання збиткам від простою

Для виробничої майстерні основний фінансовий ефект часто формується не тільки за рахунок дешевшої електроенергії, а й через уникнення втрат від зупинки обладнання. Якщо під час блекауту майстерня не може виконувати замовлення, виникають прямі та непрямі збитки: оплата простою персоналу, порушення строків виконання робіт, штрафні санкції, втрата клієнтів та додаткові витрати на повторний запуск технологічного процесу.

Річний ефект від запобігання простою розраховується за формулою:

$$C_{stop} = t_{stop} \cdot C_{hour}, \quad (6.3)$$

де t_{stop} - кількість годин простою, яких вдається уникнути завдяки системі; C_{hour} - вартість однієї години простою. За консервативного сценарію

$$t_{stop} = 18 \text{ год/рік, } C_{hour} = 1\,500 \text{ \$/год.}$$

$$C_{stop} = 18 \cdot 1\,500 = 27\,000 \text{ \$/рік.}$$

Таблиця 6.4 - Річний економічний ефект від роботи системи

Джерело ефекту	Формула підхід /	Розрахунок	Ефект, \$/рік
Економія електроенергії	$E_{self} \cdot T_{el}$	$72\,400 \cdot 0,18$	13 032

Джерело ефекту	Формула підхід /	Розрахунок	Ефект, \$/рік
Запобігання простою	$t_{stop} \cdot C_{hour}$	$18 \cdot 1\,500$	27 000
Валовий річний ефект	$E_{sav} + C_{stop}$	$13\,032 + 27\,000$	40 032
Операційні витрати	OPEX	Сервіс моніторинг ⁱ	-1 500
Чистий річний ефект	$40\,032 - 1\,500$	-	38 532

Розрахунок строку окупності

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

$$T_{payback} = CAPEX / (E_{sav} + C_{stop} - OPEX), \quad (6.4)$$

$$T_{payback} = 182\,400 / 38\,532 = 4,73 \text{ року.}$$

Отже, за прийнятих припущень проєкт окупається приблизно за 4,7 року. Оскільки строк служби фотоелектричних модулів становить до 25 років, а ресурс LiFePO₄ батарей за резервного режиму експлуатації перевищує 15 років, система формує позитивний економічний ефект протягом значної частини життєвого циклу.

Таблиця 6.5 - Спрощений прогноз грошового потоку

Рік експлуатації	Чистий ефект за рік, \$	Накопичений ефект, \$	Залишок до окупності, \$
0	-182 400	-182 400	182 400
1	38 532	-143 868	143 868
2	38 532	-105 336	105 336
3	38 532	-66 804	66 804
4	38 532	-28 272	28 272
5	38 532	10 260	0

З таблиці видно, що точка беззбитковості досягається між четвертим і п'ятим роком експлуатації. Після цього ГЕК працює як актив, що зменшує залежність підприємства від зовнішньої мережі, підтримує безперервність виробництва та знижує ризики втрат від аварійних відключень.

2.5.7. Порівняння з дизель-генераторним резервуванням

Для обґрунтування доцільності вибору саме гібридного комплексу доцільно порівняти його з альтернативним рішенням - дизель-генератором відповідної потужності. Дизель-генератор має нижчу початкову вартість, проте потребує пального, створює шум, викиди та має вищі змінні витрати при кожному запуску.

Таблиця 6.6 - Якісне порівняння ГЕК та дизель-генератора

Критерій	Гібридний енергетичний комплекс PV+АКБ	Дизель-генератор
Початкові інвестиції	Вищі через вартість АКБ та інверторів	Нижчі на етапі закупівлі
Витрати під час роботи	Мінімальні, без постійного споживання пального	Залежать від ціни та доступності дизельного пального
Швидкість перемикання	Мілісекунди, режим UPS для чутливого обладнання	Потрібен час запуску або додатковий UPS
Якість електроенергії	Стабільна чиста синусоїда, контроль напруги й частоти	Залежить від навантаження та стану двигуна
Екологічність	Відсутні локальні викиди під час роботи	CO ₂ , NO _x , шум і вихлопні гази
Стратегічна цінність	Підвищення енергонезалежності та часткове покриття денного споживання	Тільки аварійне джерело без щоденної економії електроенергії

Таким чином, дизель-генератор може бути доцільним як додаткове джерело для екстремально тривалих відключень, однак базовим рішенням для

майстерні доцільно обрати саме ГЕК. Він забезпечує не лише резервування, а й щоденне зниження витрат на електроенергію.

Чутливість строку окупності до кількості блекаутів

Оскільки частота та тривалість аварійних відключень можуть змінюватися, проведено спрощений аналіз чутливості. Він показує, як змінюється строк окупності залежно від кількості годин простою, яких вдається уникнути.

Таблиця 6.7 - Аналіз чутливості окупності до кількості запобігнутих годин простою

Запобігнутий простій, год/рік	Економія від простою, \$/рік	Чистий річний ефект, \$/рік	Строк окупності, років
8	12 000	23 532	7,75
12	18 000	29 532	6,18
18	27 000	38 532	4,73
24	36 000	47 532	3,84
36	54 000	65 532	2,78

Аналіз чутливості підтверджує, що проєкт залишається економічно обґрунтованим навіть за помірної кількості аварійних відключень. За умов зростання частоти блекаутів окупність суттєво пришвидшується, оскільки кожна година збереженої роботи майстерні має значну фінансову цінність.

ВИСНОВКИ

В даній роботі була розрахована силова схема силової майстерні, а також було розраховане освітлення з використанням різних типів ламп, а саме: компактних люмінесцентних ламп та світлодіодних ламп. Після розрахунків силової мережі для верстатів були вибрані кабелі та ПЗА.

У другому розділі виконано технічне та економічне обґрунтування параметрів гібридного енергетичного комплексу для резервного електропостачання майстерні. На підставі аналізу навантаження встановлено, що пікова потужність обладнання становить 21 кВт, а добове споживання за прийнятним графіком роботи - близько 96 кВт·год. Для забезпечення автономності й покриття пускових струмів запропоновано використовувати трифазний інверторний кластер із чистою синусоїдою та можливістю короткочасного перевантаження.

Розрахунок системи накопичення енергії показав необхідність використання LiFePO₄ акумуляторів корисною ємністю близько 227-230 кВт·год. Така ємність забезпечує резервування критичних і технологічних споживачів протягом тривалого аварійного періоду та має високий ресурс циклів, що є важливим для промислового використання.

Для заряджання акумуляторів і часткового покриття денного споживання обґрунтовано фотоелектричний масив потужністю близько 122 кВт на основі монокристалічних модулів PERC/Half-Cut. Орієнтовна площа розміщення модулів становить близько 552 м², тому для практичної реалізації можуть бути використані покрівля майстерні, фасадні конструкції або сонячні навіси.

Економічний розрахунок показав, що загальні капітальні витрати на систему становлять близько 182 400 \$, а річні операційні витрати - близько 1 500 \$. Чистий річний економічний ефект, сформований за рахунок економії електроенергії та запобігання простоям, становить близько 38 532 \$/рік.

Простий строк окупності проєкту дорівнює приблизно 4,7 року, що є прийнятним показником для системи зі строком служби основних компонентів 15-25 років.

Отже, запропонована конфігурація ГЕК є технічно реалізованою та економічно доцільною. Вона підвищує енергетичну незалежність майстерні, зменшує ризики виробничих втрат під час блекаутів, забезпечує якісне резервне живлення та створює основу для подальшої модернізації системи електропостачання підприємства.

СПИСОК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Алексеев Б.А. Міжнародна конференція по вітроенергетиці / Електричні станції. 1996. №2.
2. Безруких П.П. Економічні проблеми нетрадиційної енергетики / Енергія: Екон., техн., екол. 1995. №8.
3. Богуславский Е.И., Виссарионов В.И., Елистратов В.В., Кузнецов М.В. Умови ефективності і комплексного використання геотермальної сонячної і вітрової енергії // Міжнародний симпозиум "Паливно-енергетичні ресурси Росії й ін. країн СНД". Санкт-Петербург, 1995.
4. Дьяков А.Ф., Прокурорів Н.С., Перминов Е.М. Калмицька досвідчена вітрова електростанція / Електричні станції 1995. № 2.
5. Логинов В.Б. Новак Ю.И. Високоєфективні вітроенергетичні установки / Проблеми машинобудування й автоматизації. 1995. №1-8.
6. Селезньов И.С. Стан і перспективи робіт МКБ "Веселка" в області вітроенергетики / Конверсія в машинобудуванні. 1995. №5.
7. Соболев Я.Г. "Вітроенергетика" в умовах ринку (1992-1995 р.) / Енергія: Екон., техн. екол. 1995. №11.
8. Ципльонков П. С. Організація і планування електрифікації сільськогосподарського виробництва / П. С. Ципльонков. – К. : Вища школа 1980. – 544 с.
9. Романюк Ю. В. Електричні системи та мережі : навч. посіб. / Ю. В. Романюк. – Івано-Франківськ : Факел, 1997. – 248 с.
10. Саенко, Ю. Л. Реактивна потужність в системах електропостачання і нелінійним навантаженням / Ю. Л. Саенко// Автореф. дис. на здобуття наук, ступеня д-ра техн. наук, спец. 05.09.05 - теоретична електротехніка, НУ «Львівська політехніка», Львів, 2003.– 36 с.
11. Сегеда М. С. Електричні мережі та системи: підручник / М. С. Сегеда. – Львів : Вид-во НУ "Львівська політехніка", 2007.– 488 с
12. Костін, М. О. Миттєва реактивна потужність у системах електричного транспорту постійною струму / М. О. Костін, О. І. Саблін, О. Г. Шейкіна, А. В. Петров // Гірничя електромеханіка та автоматика : наук.-техн. зб., 2007. – С. 3-8.
13. Щербина О. Енергія для всіх : технічний довідник / О. Щербина – Ужгород, вид-во В. Падяка, 2000. – 200 с.
14. Якимець В. Т. Методичні рекомендації до дипломного проектування для студентів напрямку підготовки "Енергетика та електротехнічні системи в АПК" ОКР "Бакалавр" / В. Т. Якимець, С. В. Сиротюк. – Львів: Львівський НАУ, 2009. – 40 с.
15. Добровольська Л. Н. Про стан автоматизації компенсуювальних установок і перспективи їх оснащення пристроями нового технічного рівня / Л. Н.

Добровольська, І. О. Віт, І. П. Сосенко // Промелектро : Пром.
електроенергетика та електротехніка. – 2008. – № 4. – С. 26 – 30.