

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
другого (магістерського) рівня освіти

на тему:

«Модернізація мережі електропостачання приватного підприємства
«Львівпласт» з використанням сонячних батарей»

Виконав: студент VI курсу
групи Ен – 62 спеціальності
141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

(підпис) Процишин А.І.
(прізвище та ініціали)

Керівник: _____
(підпис) Марущак Я.Ю.
(прізвище та ініціали)

Рецензент: _____
Коробка С.

ДУБЛЯНИ 2025

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) рівень

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

(підпис)

к.т.н., доцент Левонюк В. Р.
(вч. звання, прізвище, ініціали)

З А В Д А Н Н Я НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Процишин Андрій Іванович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Модернізація мережі електропостачання приватного підприємства «Львівпласт» з використанням сонячних батарей»

керівник роботи д.т.н., професор Марущак
Я.Ю.

(наук.ступінь, вч. звання, прізвище, ініціали)

затверджені наказом Львівського НУП № 140 / к - с від 28.02.2025 р.

2. Строк подання студентом роботи 12.12.2025

р.

3. Вихідні дані

технічна документація, науково-технічна і довідкова література

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ПІДПРИЄМСТВА

2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ

3 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Графічний матеріал подається у вигляді презентації

6. Консультанти розділів

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
1,2,3,5	Гошко М.О., старший викладач			
4	Городецький І. М., к.т.н., доцент			

7. Дата видачі завдання 28.02.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<u>1 ХАРАКТЕРИСТИКА ПІДПРИЄМСТВА</u>	28.02.2025 – 1.05.2025	
2	<u>2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ</u>	2.05.2025 – 1.08.2025	
3	<u>3 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ</u> ³⁴	2.08.2025 – 1.10.2025	
4	<u>4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ</u>	2.10.2025 – 1.11.2025	
5	<u>5 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ</u>	2.11.2025 – 1.12.2025	
6	Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та презентації	2.12.2025 – 6.12.2025	
7	Завершення роботи в цілому	7.12.2025 – 11.12.2025	

Студент _____ Процишин А.І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Марущак Я.Ю.

УДК 631.01

Процишин А.І. Модернізація мережі електропостачання приватного підприємства «Львівпласт» з використанням сонячних батарей. 2025. Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ІМ. С.З.ГЖИЦЬКОГО, 2025 р. 54 с. текстової частини, 14 таблиця, 12 рисунків, 18 джерел.

У кваліфікаційній роботі представлено результати оптимізації системи резервного електропостачання приватного підприємства «Львів-Пласт» з використанням сонячної енергії. Представлено теоретичні аспекти розрахунку мережі електропостачання з використанням сонячної енергії. Представлено теоретичні аспекти розрахунку силової мережі електропостачання. Розраховано основні параметри силової мережі електропостачання майстерні. Розраховано основні параметри резервного електропостачання на базі сонячних батарей. Здійснено економічний аналіз.

МЕРЕЖІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, СОНЯЧНІ БАТАРЕЇ,
ВІДНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ

ВСТУП

Сучасний розвиток промислових підприємств безпосередньо пов'язаний із надійністю, ефективністю та енергоощадністю систем електропостачання. Зростання вартості електричної енергії, зношеність існуючих електричних мереж, а також підвищені вимоги до безперебійності електропостачання зумовлюють необхідність модернізації електроенергетичної інфраструктури підприємств. Особливо актуальним це питання є для приватних виробничих підприємств, які значною мірою залежать від стабільної роботи електрообладнання та не мають резервів, характерних для великих промислових об'єктів.

Додатковим критичним чинником для України в умовах сьогодення є повномасштабна війна з російською федерацією. Масовані ракетні та дроніві обстріли об'єктів електроенергетичної інфраструктури призводять до аварійних та планових відключень електроенергії, коливань напруги, зниження якості електропостачання та повної зупинки виробничих процесів. За таких умов підприємства змушені шукати альтернативні та резервні джерела електричної енергії, які забезпечать мінімально необхідний рівень енергетичної незалежності та стійкості до надзвичайних ситуацій.

Одним із найбільш перспективних напрямків модернізації систем електропостачання є використання відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячних електростанцій. Сонячні батареї дозволяють не лише зменшити споживання електроенергії з централізованої мережі, але й забезпечити часткове або повне автономне електропостачання в разі аварійних відключень. Для приватного підприємства це означає зменшення фінансових втрат, підвищення надійності роботи технологічного обладнання та покращення загальної енергетичної безпеки.

Підприємство «Львів-Пласт», як об'єкт дослідження даної кваліфікаційної роботи, характеризується значним споживанням електричної енергії для

забезпечення виробничих процесів, освітлення, вентиляції та допоміжного обладнання. Існуюча система електропостачання підприємства була спроектована без урахування сучасних вимог до енергоефективності та резервування живлення, що в умовах нестабільної роботи енергосистеми України є суттєвим недоліком. Тому модернізація мережі електропостачання з інтеграцією сонячних батарей є технічно обґрунтованим та економічно доцільним рішенням.

Впровадження сонячної електростанції дозволить підприємству «Львів-Пласт» знизити навантаження на зовнішню електромережу в пікові години, зменшити втрати електроенергії, покращити показники якості електропостачання та створити резервне джерело живлення для критично важливих споживачів. Окрім цього, використання відновлюваних джерел енергії відповідає сучасним тенденціям сталого розвитку, зменшує негативний вплив на навколишнє середовище та сприяє виконанню енергетичної стратегії України.

Таким чином, тема кваліфікаційної роботи є актуальною з технічної, економічної та соціальної точок зору. Модернізація мережі електропостачання приватного підприємства «Львів-Пласт» з використанням сонячних батарей спрямована на підвищення надійності електропостачання, забезпечення енергетичної незалежності в умовах воєнного стану та оптимізацію витрат на електричну енергію.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ПІДПРИЄМСТВА

1.1 Загальна характеристика приватного підприємства «Львів-Пласт»

Підприємство – основна організаційна ланка народного господарства України. Підприємство – самостійний господарюючий статутний об’єкт, який має права юридичної особи та здійснює виробничу, науково-дослідницьку і комерційну діяльність з метою одержання відповідного продукту (доходу). Підприємство не має у своєму складі інших юридичних осіб. Підприємство має самостійний баланс, поточні та вкладні (депозитні) рахунки в установах банків, печатку зі своїм найменуванням, а також знак для товарів і послуг. Підприємство не має у своєму складі інших юридичних осіб. Підприємство здійснює будь-які види господарської діяльності, якщо вони не заборонені законодавством України і відповідають цілям, передбаченим статутом підприємства. Підприємства мають право на добровільних засадах об’єднувати свою виробничу, наукову, комерційну та інші види діяльності, якщо інше не передбачено законодавством України.

Підприємство, засноване понад 25 років тому в результаті плідної праці у взуттєвій сфері, яка виросла разом з бажанням досягати нових висот і головне – стали лідером по виготовленні взуттєвої підошви, колодок, устілок, каблуків в Україні.

Починаючи з 1995 року, невеличке підприємство перетворилось на величезне виробництво з територією близько 6000 кв.м., де невпинно працювало та вдосконалювались і на даний момент, може запропонувати вам більш ніж 500 моделей підошви, виготовленої на сертифікованому італійському обладнанні з використанням високоякісних матеріалів. Цей асортимент представлений ексклюзивною продукцією, яка спроектована професійною командою дизайнерів.

Дизайнери LP орієнтуються на останні світові тенденції, що дозволяє Вам випускати (виготовляти) ексклюзивні та й водночас актуальні моделі взуття.

Для виготовлення виробів та деталей із пластмас та гуми застосовуються: новітні технології, сучасне обладнання європейських виробників, якісні матеріали, сировина та комплектуючі українських та іноземних постачальників.

Вимогливе дотримання технологічного процесу, використання тільки якісної сировини провідних світових брендів, тестування і контроль продукції, високий рівень підготовки кадрів є основними компонентами, що дозволяють створювати незмінно якісний і оригінальний продукт.

Lviv-Plast завжди робить ставку на найкращі технології та якість, інновації у рішеннях, техніках та ресурсах, а також матеріалізації ідей та концепцій для своїх клієнтів, адже нашою основною метою є задоволення клієнтів, сприяння їх комфорту та добробуту.

За певний час активної та творчої роботи підприємство Lviv-Plast зарекомендувало себе як успішного та надійного виробника і гідного партнера для співпраці.

Нові тенденції моди та високі стандарти якості, великий досвід, тривале співробітництво з відомими виробниками взуття України та кращими компаніями з країн Європи (Польща; Румунія; Білорусії; Болгарії; Литви; Італії та ін,) дозволила компанії «Львів-Пласт» зайняти лідерські позиції і стати одним з найбільших постачальників якісних комплектуючих для виробництва взуття .

Широкий спектр послуг – від дизайну до виробництва – робить нас лідером на ринку, що відрізняється технологічним прогресом, реалізацією дій з екологічними проблемами та міцними відносинами з клієнтами.

Щиро дякуємо нашим партнерам та клієнтам за визнання та плідну співпрацю! Наше підприємство має за мету не зупинятися на досягнутому, докладаючи максимум зусиль для виробництва якісного вітчизняного продукту.

Тісна співпраця з клієнтами, швидке реагування на зміни ринку, новаторський підхід та відвідування міжнародних виставок дозволяє дизайнерам розробляти різноманітний модельний ряд

І вже станом на 2025 рік, може гордитися багатьма заслугами, що значно виділяють нас серед маси конкурентів:

Потужне виробництво, що забезпечує щоденне підошви понад 1500 пар.

Товарний ряд, розроблений за всіма стандартами якості.

Відповідність сьогоденним віянням моди, постійне оновлення асортименту.

Пріоритетний напрямок розробки колекцій – комфортний «casual» – стильно, сучасно, зручно.

Високопродуктивне обладнання та найсучасніші технології розробки.

Тільки якісна шкіра та комплектуючі, що постачаються провідними португальськими, італійськими та польськими виробників.

Бездоганний фірмовий стиль, досконалі форми, естетичність та ергономічність кожної пари.

Економічні показники підприємства:

Фінансова стабільність за даними OpenDataBot, ПП «Львів-Пласт» має загальну систему оподаткування (є платником ПДВ) та позитивні фінансові показники (детальні баланси доступні через їх звітність), статутний капітал, розмір якого становить ~ 9 000 000 ₪ свідчить про досить значну інвестицію та серйозність бізнесу.

Персонал організації за даними Work.ua, складає приблизно 50–250 працюючих осіб.

Висновок ПП «Львів-Пласт» — це добре налагоджене українське підприємство у взуттєвій промисловості, яке спеціалізується на виробництві

високоякісних комплектуючих для взуття (підшви, колодки, устілки, каблуки). Завдяки своїм потужностям, інвестиціям в технології, команді дизайнерів і строгому контролю якості, компанія утримує лідерські позиції на внутрішньому ринку та успішно експортує продукцію в європейські країни.

1.2 Характеристика майстерні

Основні завдання які виконуються в майстерні - це ремонт і технічний сервіс машин, тракторів та механізмів. В майстерні знаходиться таке обладнання як: компресорна установка; свердлильний верстат; зварка півавтомат; підйомник; 3 стенди для діагностики паливної системи; стенд для обкатки двигунів. Дана майстерня відноситься до сухого приміщення в якому вологість не перевищує 60%. Площа майстерні становить 110 м², висота приміщення складає 5 м.. Приміщення розташоване зі західної сторони, тому добре освітлюється лише в другій половині дня.

Майстерня має одне приміщення в якому безпосередньо розташовано вищезгадане обладнання, з потужністю: компресорна установка 2.2 кВт; свердлильний верстат 1.5 кВт; підйомник 5.5 кВт; 3 стенди для діагностики паливної системи по 4 кВт; зварка інвентарна 5.5 кВт та стенд для обкатки двигунів 20 кВт.

Таблиця 1.1 - Обладнання та їх потужності які знаходяться в майстерні

№	Обладнання	Потужність Р, кВт
1	Свердлильний	1.5
2	Підйомник	5.5
3	3 Стенди паливної системи	4
4	Компресор	2.2
5	Зварка інвентарна	5.5
6	Стенд обкатки	20

2 РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНОЇ МЕРЕЖІ

2.1 Розрахунок силової мережі

2.1.1 Вибір пуско - захисного обладнання та розподільних пристроїв

Вибирають апарати за величиною напруги, родом і величиною струму, кліматичним виконанням, умовами захисту від впливу навколишнього середовища, його відносності технологічним вимогам та іншими показниками.

Таблиця 2.1 - Паспортні дані електродвигунів

№ п/п	Марка двигуна	P, кВт	η, %	cosφ	K _i	U, В
1	АИР80 А2	1.5	82	0.85	6.5	220
2	АИР100 L2	5.5	88	0.88	7.5	380
3	АИС100 LB2	4	86	0.86	7.5	380
4	АИС100 LB2	4	86	0.86	7.5	380
5	АИС100 LB2	4	86	0.86	7.5	380
6	АИС100 LA4	2.2	81	0.83	6	380
7	ДАЗО 12-42-6/8 МУ1	20	91	0.88	2.8	380

Розміщення верстатів зображено на рисунку 2.1

Визначаємо номінальний робочий струм електродвигуна:

$$I_n = \frac{P}{U \cdot \cos\varphi \cdot \sqrt{3}}, \text{А} \quad (2.1)$$

де U – напруга живлення двигуна, В

P – потужність двигуна, Вт

$\cos\varphi$ – коефіцієнт потужності.

$$I_n = \frac{1500}{220 \cdot 0.82 \cdot \sqrt{3}} = 4.8, \text{ A}$$

Визначаємо пускові струми електродвигунів за формулою:

$$I_{\pi} = I_n \cdot K_i, \text{ A} \quad (2.2)$$

де I_n - номінальний робочий струм двигуна, А

K_i – кратність пускового струму.

$$I_{\pi} = 4.8 \cdot 6.5 = 31.2, \text{ A}$$

Вибираємо автоматичний вимикач QF1 за умовами:

$$U_{\text{а.ном}} \geq U_{\text{мер}}$$

$$I_{\text{а.ном}} \geq I_n$$

$$I_{\text{р.ном}} \geq I_n$$

Відповідно приведених умов вибираємо автоматичний вимикач УкрЕМ ВА-2001:

$$380 > 220 \text{ В}$$

$$6000 > 4.8 \text{ А}$$

$$6 > 4.8 \text{ А}$$

Визначаємо кількість поділок не спрацювання теплового розчіплювача за формулою:

$$n = \frac{I_n}{I_{\text{р.ном}}} \quad (2.3)$$

$$n = \frac{4.8}{6} = 0.8$$

Вибираємо електромагнітний пускач КМ1 за умовами:

$$U_{\text{п.ном}} \geq U_{\text{мер}}$$

$$I_{\text{р.ном}} \geq I_n$$

$$I_{\text{р.ном}} \geq \frac{I_n}{6}$$

Вибираємо електромагнітний пускач серії ПМ1 – 0.9

$$380 > 220 \text{ В}$$

$$9 > 4.8 \text{ А}$$

$$9 > 4.8 \text{ А}$$

Вибираємо електротеплове реле за умовами:

$$U_{\text{р.ном}} \geq U_{\text{мер}}$$

$$I_{p.ном} \geq I_n$$

$$I_{н.б} \geq I_{н.дв}$$

Вибираємо електротеплове реле РТ-1310 ($I_n=4...6$ А)

Аналогічно вибираємо інше пуско-захисне обладнання та заносимо його у таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 - Пуско-захисне обладнання для двигунів

Марки електродвигу нів	P, кВт	I _н , А	Марк и елект ромаг нітни х пуска чів	I _н , А	Марки автоматичн их вимикачів	I _{н.а.} , А	I _{н.} р., А
АИР80 А2	1.5	4.8	ПМ1 – 0.9	9	УкрЕМ ВА- 2001	6000	6
АИР100 L2	5.5	9.5			УкрЕМ ВА- 2010-S	10000	10
АИС100 LB2	4	7.07	ПМ1 – 0.9	9	УкрЕМ ВА- 2001	10000	10
АИС100 LB2	4	7.07					10
АИС100 LB2	4	7.07					10
АИС100 LA4	2.2	4.1				6000	6
ДАЗО 12-42- 6/8 МУ1	20	35.18	ПМ – S-38	38	УкрЕМ ВА- 2010-S	40000	40

Продовження таблиці 2.2

Марки електродвигунів	Марки електр отепло вих реле	I_H , А	$I_{\max}$, А
АИР80 А2	РТ-1307	4...6	25
АИР100 L2		7...10	
АИС100 LB2		7...10	
АИС100 LB2		7...10	
АИС100 LB2		7...10	
АИС100 LA4		4...6	
ДАЗО 12-42-6/8 МУ1	ПМ2-25	32...40	45

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

Електропроводку в сталевих трубах застосовують лише тоді, коли за умовами навколишнього середовища або місця прокладання недопустима або недоцільна. Тому вся електропроводка силової мережі буде прокладена у сталевих трубах, щоб уникнути механічних пошкоджень ізоляції і жил провідників.

Площу перерізу жил провідників або кабелів в кожному випадку вибираємо так, щоб тривало допустимий для нього за нагрівом струм навантаження $I_{\text{доп}}$ був не меншим максимального тривалого робочого струму електричного кола $I_{\text{макс.р}}$, тобто

$$I_{\text{доп}} \geq I_{\text{макс.р}}$$

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

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

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

$$I_{\text{доп}} \geq K_z I_z$$

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

I_z - сила номінального струму або струму спрацювання захисного апарату.

Вибираємо кабель, який буде жити двигун свердлильного верстата, від мережі ПРП 4х1 з $I = 14\text{А}$

$$I_{\text{макс.р}} = 1 \cdot 4.8 = 4.8 \text{ А}$$

$$I_{\text{доп}} = 1 \cdot 14 = 14 \text{ А}$$

$$14 > 4.8$$

Даний кабель задовільняє умови живлення всього обладнання, тому використовуємо даний кабель.

Таблиця 2.3 - Кабелі для живлення верстатів

Верстат	Кабель
Свердлильний	ПРП 2х1
Підйомник	ПРП 4х1
3 стенда паливної системи	
Компресор	ПРП 2х1
Стенд обкатки	ПРП 4х2

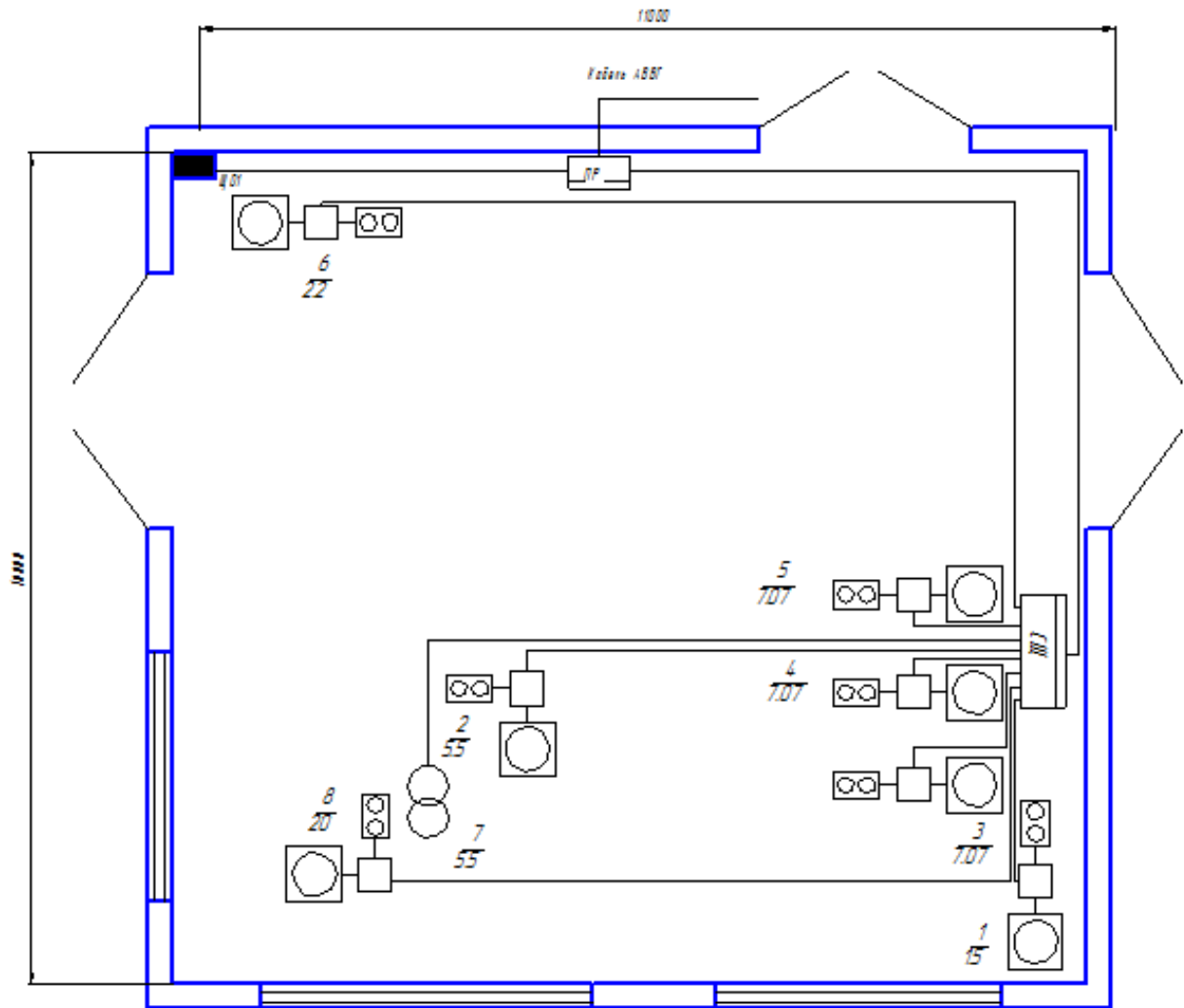


Рисунок 2.1 - Схема розміщення верстатів в майстерні

2.2. Розрахунок мережі освітлення

Світлодіодні лампи споживають від 3% до 60% потужності, необхідної для звичайних ламп розжарювання, аналогічної яскравості. Удароміцна конструкція твердотілих випромінювачів (світлодіодів), дозволяє використовувати світлодіодні лампи при підвищених вібраціях. Світлодіоди не бояться частих вмикань і вимикань.

2.2.1 Розрахунок світлодіодних ламп

Визначаємо розрахункову висоту підвісу світильника за формулою:

$$H_p = H - (h_z + h_p), \text{ м}$$

де H – висота приміщення, м;

h_z – висота звисання світильників, м (приймаємо 1 м);

h_p – висота робочої поверхні над рівнем підлоги, м (приймаємо 1 м).

$$H_p = 5 - (1 + 1) = 3 \text{ м.}$$

Далі вибираємо світильник НСР01-100 з кривою сили світла (КСС) - «Г».
Відстань між сусідніми світильниками визначають за формулою:

$$L = \lambda \cdot H_p \text{ м}$$

де λ - найвигідніша відносна відстань між світильниками (додаток 1);

H_p - розрахункова висота підвісу світильника, м.

$$L = 0.8 \cdot 3 = 2.4 \text{ м}$$

Число рядів світильників визначаємо за формулою:

$$R = \frac{B-2 \cdot l}{L} + 1,$$

де B – ширина приміщення, м;

l – відстань від крайніх світильників до стін (приймається $(0,3-0,5)L$), м.

$$l = 0.3 \cdot 2.4 = 0.72 \text{ м}$$

$$R = \frac{10 - 2 \cdot 0.72}{2.4} + 1 = 4.57$$

Приймаємо число рядів рівним 2, після чого визначаємо число світильників в ряді за формулою:

$$N_R = \frac{A-2 \cdot l}{L},$$

де A – довжина приміщення, м.

$$N_R = \frac{11 - 2 \cdot 0.72}{2.4} + 1 = 4.98.$$

число світильників приймаємо рівним 4. Після чого перераховуємо реальні відстані:

між рядами світильників

$$L_B = \frac{B-2 \cdot l}{R-1},$$

$$L_B = \frac{10-2 \cdot 0.72}{5-1} = 2.14 \text{ м}$$

між центрами світильників в ряді

$$L_A = \frac{A-2 \cdot l}{N_R-1},$$

$$L_A = \frac{11-2 \cdot 0.72}{5-1} = 2.39 \text{ м}$$

Загальне число світильників визначаємо добутком (5.3) на (5.4), що буде рівним:

$$N = R \cdot N_R,$$

$$N = 5 \cdot 5 = 25.$$

Розрахункове значення світлового потоку одної лампи в кожному світильнику визначають за формулою:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot K_3 \cdot F \cdot z}{N \cdot \eta_{oy}}, \text{ лм}$$

де E_n – нормованне значення освітлення для даного приміщення (150), лк;

F – площа освітлення (110), м²;

η_{oy} – коефіцієнт використання світлового потоку (0.82);

z – відношення середньої освітленості до мінімальної (для світлодіодних ламп приймаємо – 1.15);

K_3 – коефіцієнт запасу (додаток 2, $K_3 = 1.4$).

$$\Phi = \frac{150 \cdot 1.4 \cdot 110 \cdot 1.15}{25 \cdot 0.82} = 1296 \text{ лм.}$$

індекс приміщення визначається:

$$i_n = \frac{A \cdot B}{H_p \cdot (A + B)},$$

$$i_n = \frac{11 \cdot 10}{3 \cdot (11 + 10)} = 1.746.$$

За знайденим значенням Φ вибирається лампа найближчої стандартної потужності, значення світлового потоку якої відрізняється від Φ не більше ніж на -10...+20%.

Вибираємо лампу «О п т о л ю к с -П о і н т -200л» з такими параметрами:

напруга живлення: $U=220\text{ В}$;

потужність $P=20\text{Вт}$;

світловий потік $\Phi_{\text{л}}=1350\text{ лм}$.

Визначаємо фактичну освітленість за формулою:

$$E_{\text{ф}} = E_{\text{н}} \cdot \frac{\Phi_{\text{л}}}{\Phi},$$

$$E_{\text{ф}} = 150 \cdot \frac{1350}{1296} = 156.268\text{ лк}.$$

Після проведених розрахунків визначаємо відхилення освітленості за формулою:

$$E = \frac{E_{\text{ф}} - E_{\text{н}}}{E_{\text{н}}} \cdot 100,$$

$$E = \frac{156.268 - 150}{150} \cdot 100 = 4.178\%,$$

з цього слідує, що відхилення є допустимим так як знаходиться в межах $+20\ldots-10\%$.

Визначаємо установлену потужність освітлювальної установки за формулою:

$$P_{\text{у}} = P \cdot N, \text{Вт}$$

$$P_{\text{у}} = 20 \cdot 25 = 500\text{ Вт}.$$

2.2.2 Вибір пуско-захисної апаратури освітлювальної установки

Розрахунковий струм групи з лампами розжарювання визнаємо за формулою:

$$I_{\text{гр}} = \frac{P_{\text{у}}}{U}, \text{А}$$

де $P_{\text{у}}$ – розрахункова потужність групи, Вт;

U – фазна напруга групи, В.

$$I_{\text{гр}} = \frac{500}{220} = 2.273\text{ А}$$

Номінальні струми розчіплювачів автоматичних вимикачів вибираємо, виходячи з таких умов:

$$I_{ном.р} \geq I_{розр},$$

$$I_{у.е} \geq 1,4 \cdot I_{розр}.$$

Вибираємо автоматичний вимикач освітлювального щитка серії УкрЕМ ВА-2010-S з $I_{ном.р} = 3 \text{ А}$

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

Площу поперечного перерізу проводу з якого буде виконуватись електропроводка вибираємо за формулою:

$$I_{доп} \geq I_{р.мах},$$

де $I_{р.мах}$ - робочий максимальний струм групи, А.

Для груп освітлювального щитка вибираємо провід типу ПВ-1 2×0.5 у якого $I_{доп} = 2.5 \text{ А}$.

$$2.5 > 2.273 \text{ А}$$

Умова виконується.

Розрахунок втрати напруги проводимо за формулою:

$$\Delta U = \frac{Pl}{CF},$$

де C – постійна для даного проводу, $C = 12,8$;

F – поперечний переріз проводу, мм^2 ;

l – довжина групи, м.

Визначаємо втрату напруги для груп освітлювального щитка ОП-3УХЛ4:

$$\Delta U_1 = \frac{0.5 \cdot 38,32}{12,8 \cdot 0.5} = 2.34 \%$$

Таблиця 2.6 - Результати вибору ламп, проводів та автоматів

№ групи	Освіт. щиток	К-ть ламп	Пот. лампи, Вт	Марка та переріз провода	Автомат. вимикач
1	ОП-3У ХЛ4	25	20	ПВ-1 2х0.5	УкрЕМ ВА-2010-S 3А

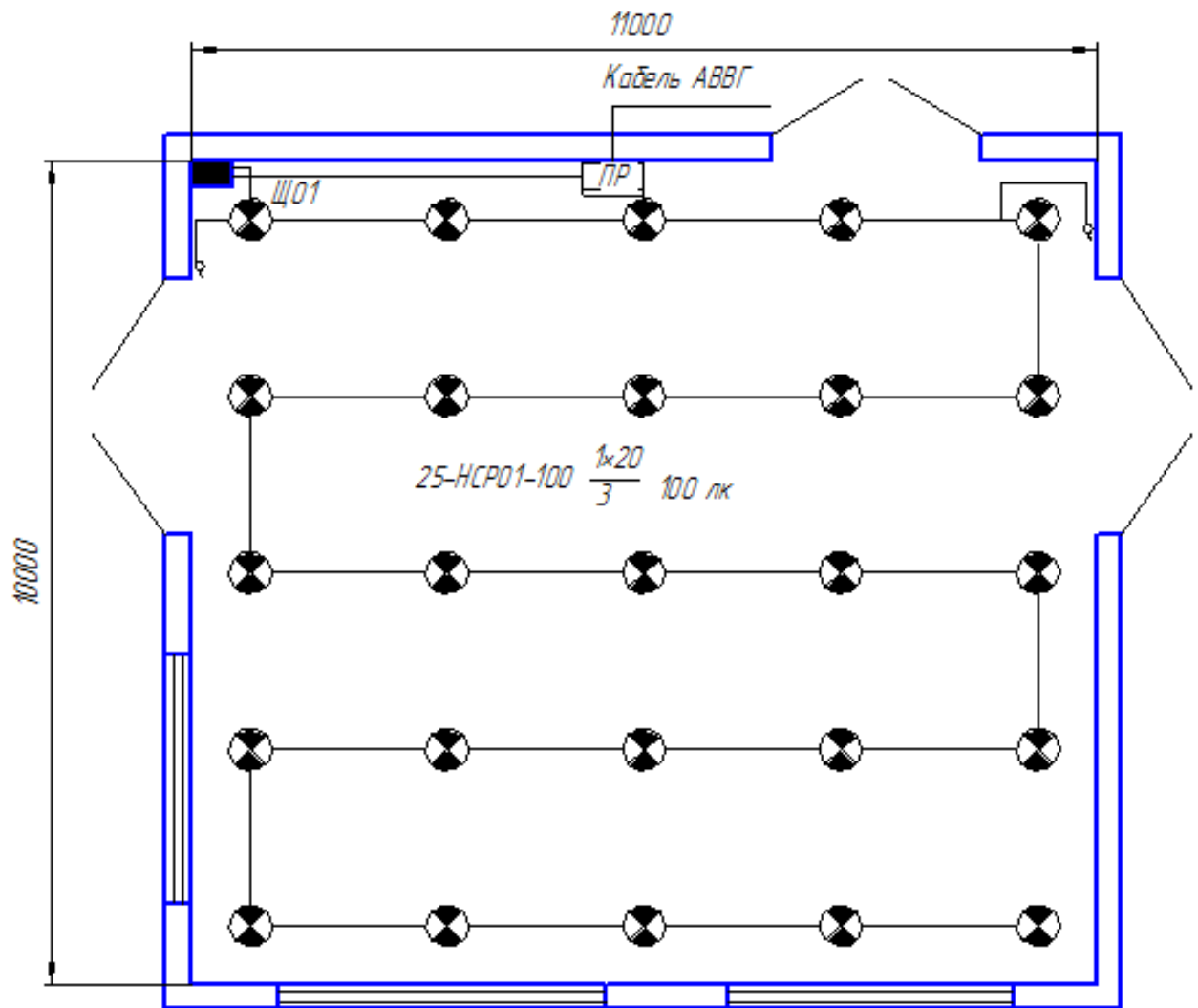


Рисунок 2.2 - Схема розміщення електроосвітлювальних установок

2.3 Підбір та розрахунок сонячних батарей для електропостачання

Модернізація системи електропостачання підприємства шляхом впровадження фотоелектричної станції (ФЕС) має на меті зниження витрат на купівлю електроенергії з мережі та забезпечення часткової автономності критичних вузлів виробництва (наприклад, ліній екструзії пластмас, де зупинка через збій живлення призводить до застигання сировини та пошкодження обладнання).

2.3.1 Типи та характеристика фотоелектричних модулів (ФЕМ)

Ефективність функціонування сонячної електростанції для ПП «Львів-Пласт» безпосередньо залежить від фізико-технічних властивостей фотоелектричних модулів (ФЕМ). В основі їх роботи лежить явище внутрішнього фотоелектричного ефекту, що виникає в напівпровідникових структурах під дією квантів світла (фотонів). При поглинанні фотона енергія передається електронам, що призводить до їх переходу у вільний стан і виникнення електричного струму в межах $p - n$ переходу.

Класифікація за типом кристалічної структури

Сучасний ринок фотоенергетики базується на використанні кремнію (Si), який, залежно від способу отримання, поділяється на кілька основних типів:

1. Монокристалічні кремнієві модулі (Mono-Si)

Це найбільш технологічний тип панелей. Їх виготовляють із високочистого кремнію за методом Чохральського. У процесі виробництва з розплаву витягується одиничний кристал циліндричної форми, який потім нарізається на тонкі пластини.

- Особливості: Монокристалічні комірки мають однорідну структуру та темний (майже чорний) колір. Кути комірок зазвичай зрізані (псевдоквадрат), що зумовлено формою вихідного злитка.

- Переваги: Найвищий ККД серед серійних зразків (до 23%), низький рівень деградації та стабільна робота протягом 25–30 років. Завдяки високій питомій потужності на квадратний метр, вони ідеально підходять для дахових систем промислових підприємств, де площа встановлення обмежена.

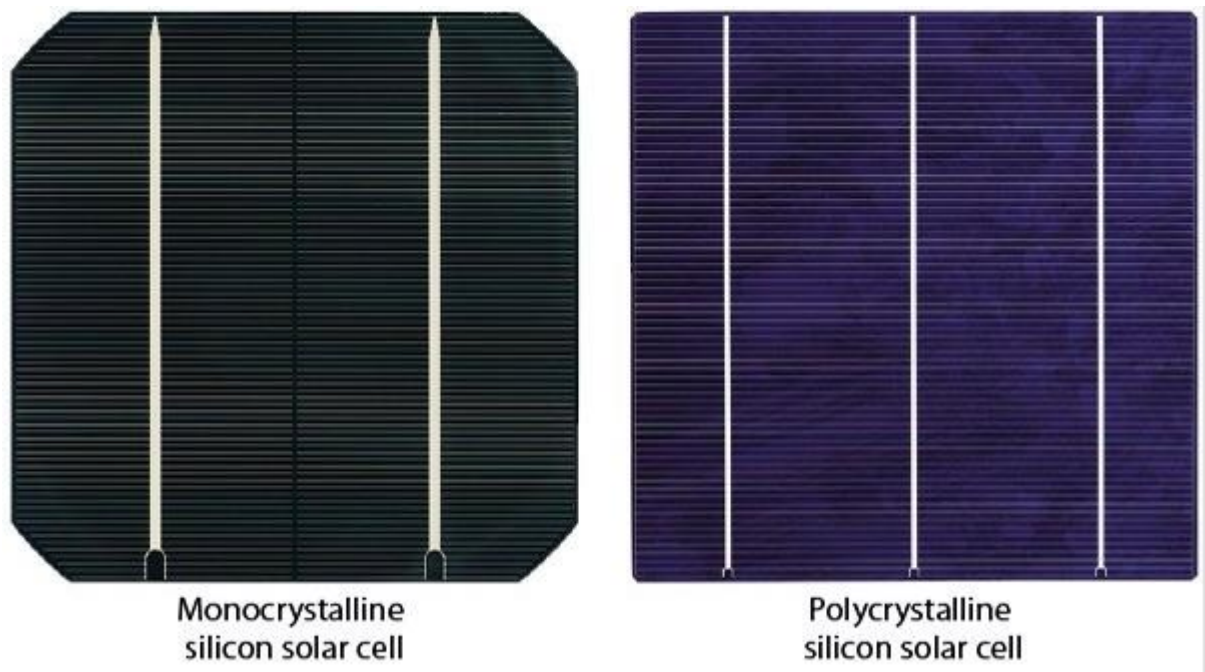


Рисунок 2.3 - структура монокристалічної сонячної комірки (зрізані кути) та вигляд цілої монокристалічної панелі чорного кольору

2. Полікристалічні кремнієві модулі (Poly-Si)

Процес виробництва полягає у повільному охолодженні розплавленого кремнію, внаслідок чого утворюється велика кількість різноорієнтованих кристалів.

- Особливості: Такі панелі мають яскраво-синій колір та характерний «мармуровий» візерунок кристалів.
- Недоліки: Через неоднорідність структури електрони зазнають більшого опору, що знижує ККД (до 16-18%). Для проекту модернізації ПП «Львів-Пласт» цей тип не рекомендується, оскільки він потребує значно більшої площі даху для генерації аналогічної потужності 42 кВт.

Новітні технології побудови комірок (N-type та TOPCon)

При виборі ФЕМ для промислового об'єкта критично важливо враховувати тип легування кремнію, що визначає довговічність системи:

- P-type (традиційний): Кремній легується бором. Такі панелі дешевші, але піддаються ефекту LID (Light Induced Degradation) — втрати потужності в перші місяці експлуатації через реакцію бору з киснем.
- N-type (інноваційний): Кремній легується фосфором. Такі комірки (технологія TOPCon — Tunnel Oxide Passivated Contact) позбавлені ефекту LID, мають вищу ефективність при низькому освітленні та нижчий температурний коефіцієнт. Для Львова, де часто спостерігається хмарність, використання N-type панелей дозволить отримати на 3-5% більше енергії на рік.

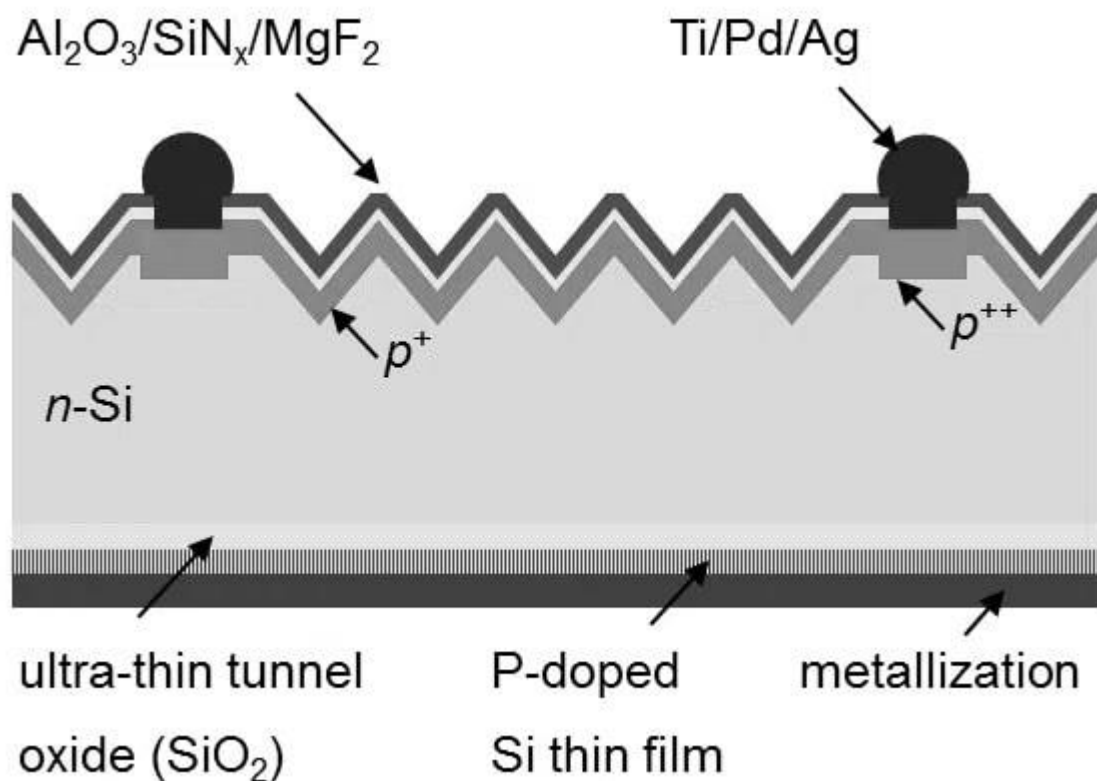


Рисунок 2.4 - Схема внутрішньої структури комірки TOPCon

Конструктивні особливості сучасних модулів

Для досягнення максимальної ефективності в проєкті застосовуються панелі з такими технологічними рішеннями:

1. Half-cut Cell (Половинчасті комірки): Фотоелемент стандартного розміру розрізається навпіл за допомогою лазера. Це дозволяє вдвічі зменшити силу струму, що протікає через кожну частину комірки, і, відповідно до закону Джоуля-Ленца, у чотири рази знизити втрати на нагрівання провідників. Крім того, якщо нижня частина панелі затінена, верхня продовжує працювати на 100% потужності.

2. Multi-Busbar (MBB): Використання великої кількості тонких струмознімальних шин (від 9 до 16) замість 4-5 товстих. Це скорочує шлях електрона до шини, зменшує внутрішній опір та робить панель стійкішою до мікротріщин.

3. PERC (Passivated Emitter and Rear Cell): Технологія нанесення діелектричного шару на задню поверхню комірки. Цей шар відбиває світло, яке пройшло крізь кристал, назад у напівпровідник, даючи йому другий шанс згенерувати електрику.



Рисунок 2.5 - Зовнішній вигляд фотоелектричної комірки з технологіями Half-cut та Multi-Busbar (MBB)

Технічні параметри та вплив температури

Основними характеристиками, що визначають вибір ФЕМ, є:

- Номінальна потужність (P_{max}): Потужність при стандартних умовах (STC: 1000 Вт/м², 25°C).
- Температурний коефіцієнт потужності (γ): Показує, на скільки відсотків падає потужність при нагріванні панелі на 1°C вище норми. Для обраних панелей він становить близько -0.29%/°C.
- ККД модуля: Відношення згенерованої електричної енергії до енергії сонячного випромінювання, що падає на поверхню модуля.

Таблиця 2. 7 - Порівняльна таблиця характеристик ФЕМ для проекту

Характеристика	Полікристал (застарілий)	Моно PERC (стандарт)	Моно TOPCon (обраний)
ККД модуля	16-17.5%	20-21.3%	22.2-22.8%
Температурний коеф.	-0.41%/°C	-0.34%/°C	-0.29%/°C
Ефект LID (деградація)	Присутній	Присутній	Відсутній
Гарантія потужності	20 років	25 років	30 років
Робота в туман/хмари	Слабка	Середня	Висока

Обґрунтування для ПП «Львів-Пласт»

Виходячи з проведеного аналізу, для модернізації мережі електропостачання підприємства обрано монокристалічні модулі N-type TOPCon потужністю 570–600 Вт. Це зумовлено необхідністю отримання стабільної генерації в умовах західного регіону України та високими вимогами

до довговічності обладнання в промисловому секторі. Використання технології Half-cut Cell додатково захищає систему від втрат потужності при можливому затіненні від димоходів чи інших інженерних споруд на даху цеху.

2.3.2 Типи сонячних енергетичних систем та їх порівняльна характеристика

Вибір конфігурації сонячної електростанції (СЕС) для промислового підприємства залежить від поставлених завдань: лише економія коштів, забезпечення енергонезалежності або комбінація цих факторів. У сучасній енергетиці виділяють три основні типи систем.

1. Мережева сонячна система (On-Grid)

Це найбільш розповсюджений тип систем для бізнесу, орієнтований виключно на економію. Система складається з сонячних панелей та мережевого інвертора. Вона працює паралельно з централізованою мережею.

- **Принцип роботи:** Вся енергія від панелей перетворюється інвертором і спрямовується в локальну мережу підприємства. Якщо генерації більше, ніж споживання, надлишок може віддаватися в загальну мережу (за механізмом Net Billing).

- **Особливість:** Мережевий інвертор не має входу для акумуляторів. Він синхронізується з частотою зовнішньої мережі.

- **Критичний недолік:** Якщо в зовнішній мережі зникає напруга, інвертор миттєво вимикається (функція Anti-Islanding). Це означає, що під час відключень світла підприємство «Львів-Пласт» залишиться без енергії, навіть якщо на вулиці яскраве сонце.

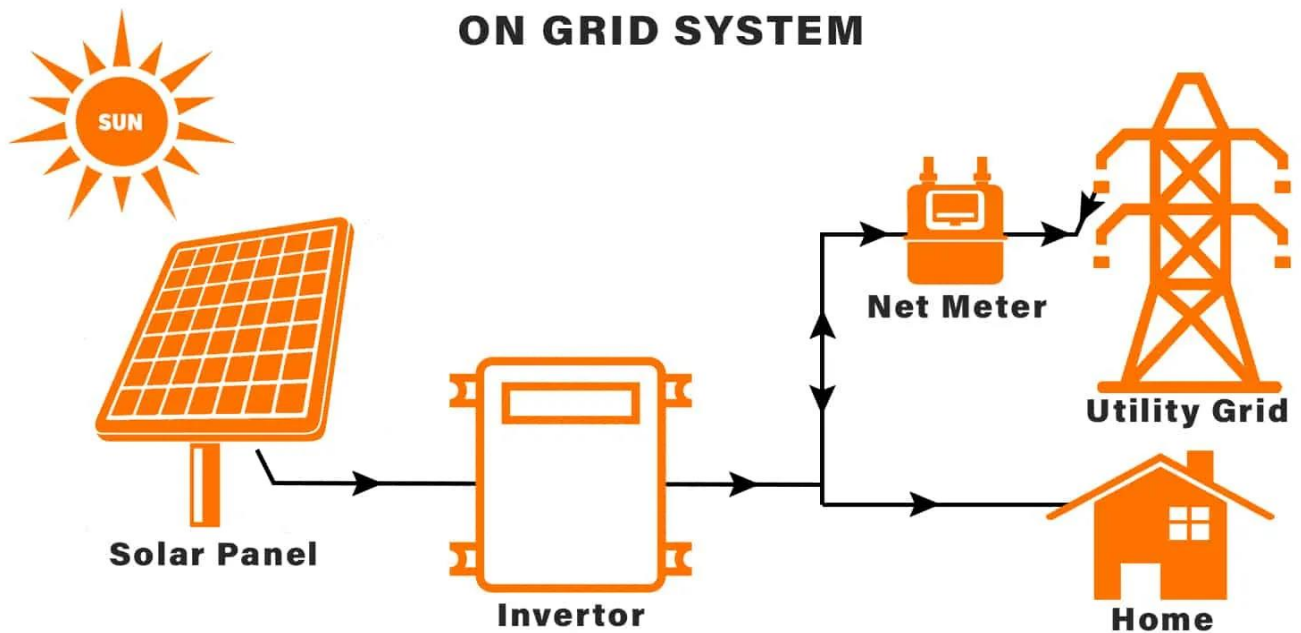


Рисунок 2.5 - Схема On-Grid системи.

2. Автономна сонячна система (Off-Grid)

Призначена для об'єктів, які взагалі не мають підключення до централізованих мереж.

- **Принцип роботи:** Сонячна енергія заряджає акумуляторні батареї через контролер заряду, а автономний інвертор перетворює постійний струм з АКБ у змінний для споживачів.
- **Недоліки для виробництва:** Така система вимагає величезного запасу ємності акумуляторів, щоб забезпечити роботу цеху вночі або в похмурі дні. Для підприємства з потужним обладнанням (екструдери, компресори) це економічно недоцільно через надвисоку вартість АКБ та неможливість покрити пускові струми двигунів.

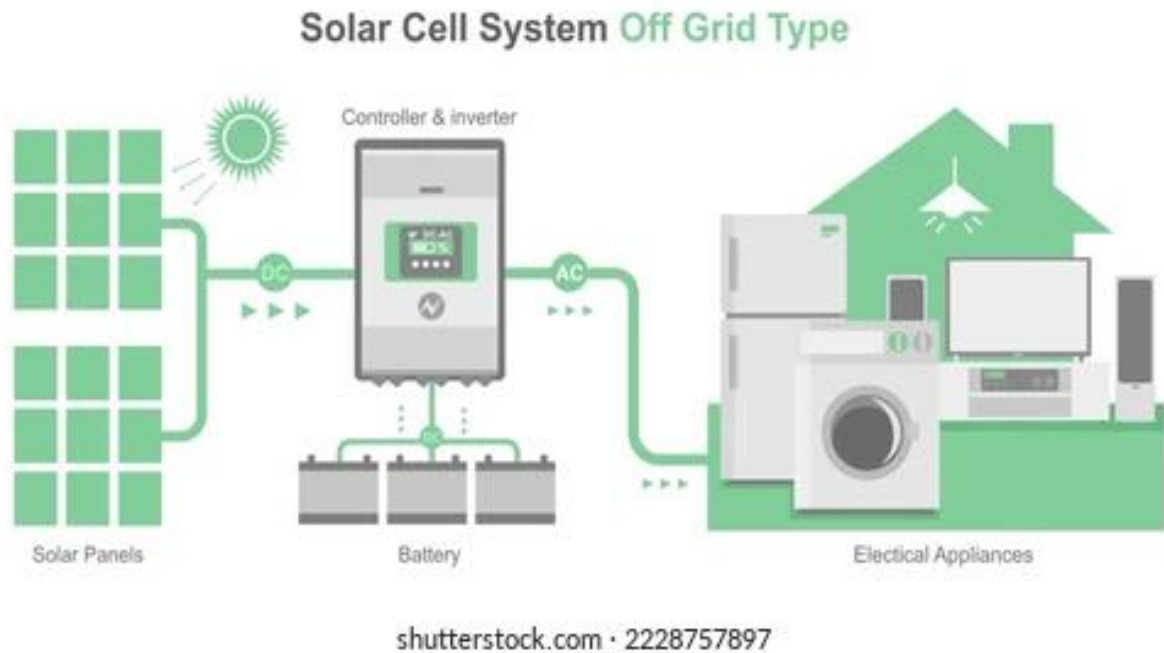


Рисунок 2.6 - Схема Off-Grid системи.

3. Гібридна сонячна система (Hybrid)

Це найбільш прогресивне та гнучке рішення, яке інтегрує в собі переваги мережевої та автономної систем. Саме цей тип системи розглядається як оптимальний для модернізації ПП «Львів-Пласт».

- **Принцип роботи:** Гібридний інвертор має інтелектуальну систему управління, яка може одночасно брати енергію з трьох джерел: сонячних панелей, акумуляторів та зовнішньої мережі.
- **Функція ДБЖ (UPS):** У разі аварійного відключення зовнішньої мережі, інвертор за 10-20 мс перемикає критичне навантаження на роботу від сонця та акумуляторів. Це дозволяє уникнути зупинки ліній переробки пластмас та браку продукції.
- **Режим Smart Load:** Дозволяє автоматично керувати другорядним навантаженням залежно від рівня генерації.

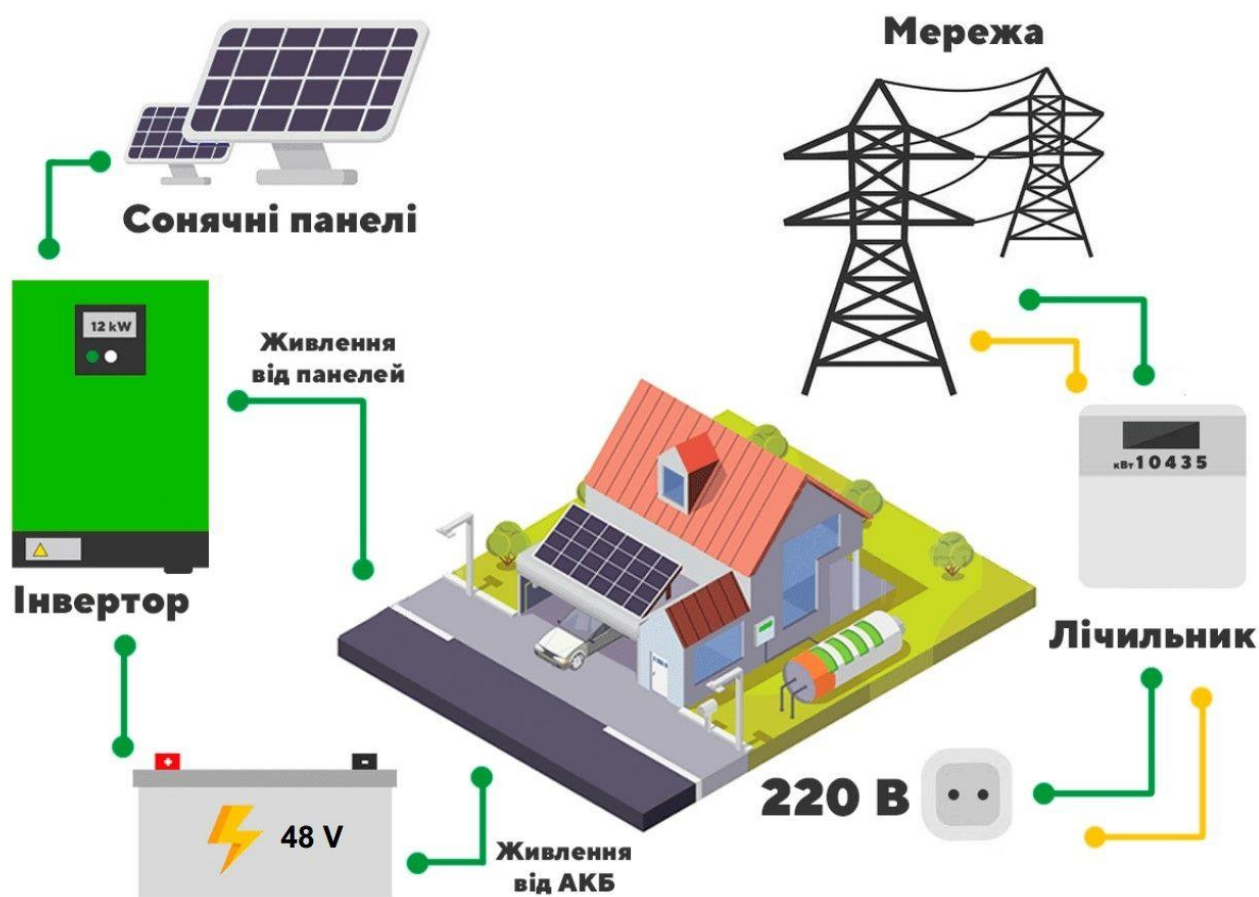


Рисунок 2.7 - Блок-схема гібридної системи, що демонструє потоки енергії між панелями, АКБ, інвертором, мережею та заводом.

Порівняльний аналіз типів сонячних систем

Для наочного обґрунтування вибору проведемо порівняння систем за ключовими для промислового об'єкта критеріями.

Таблиця 2.8 — Порівняння конфігурацій СЕС для ПП «Львів-Пласт»

Критерій порівняння	Мережева (On-Grid)	Автономна (Off-Grid)	Гібридна (Hybrid)
Економія коштів	Максимальна	Низька (через ціну АКБ)	Висока

Енергонезалежність	Відсутня	Повна	Висока (резервування)
Робота при відключенні мережі	Ні	Так	Так
Можливість продажу надлишків	Так	Ні	Так
Складність обладнання	Низька	Висока	Висока
Окупність	3-4 роки	10+ років	4-6 років

Обґрунтування вибору гібридної системи для об'єкта дослідження

Вибір гібридної системи потужністю 42 кВт для ПП «Львів-Пласт» обумовлений наступними факторами:

1. **Специфіка виробництва:** Процес екструзії та лиття пластмас потребує безперервного теплового режиму. Раптові відключення призводять до застигання сировини в шнеках, що вимагає тривалого часу на очищення та спричиняє фінансові збитки. Гібридна система забезпечує безперебійність процесу.
2. **Оптимізація споживання:** Можливість налаштувати систему на пріоритетне використання сонячної енергії вдень, а накопиченої в АКБ — у періоди вечірнього піка (коли тарифи для підприємств можуть бути найвищими).
3. **Перспективність:** Гібридна система дозволяє в майбутньому легко збільшити ємність акумуляторів або кількість сонячних панелей без заміни інверторного обладнання.

Таким чином, впровадження саме гібридної моделі дозволяє підприємству не лише економити на рахунках за електроенергію, а й значно підвищити стійкість бізнесу до кризових явищ в енергосистемі України.

2.3.3 Обґрунтування вибору типу та потужності фотоелектричних модулів

Для кліматичних умов Львівської області, яка характеризується значною кількістю хмарних днів, критично важливим є вибір панелей з високою чутливістю до розсіяного випромінювання.

Обираємо фотоелектричні модулі (ФЕМ) типу n-type Monocrystalline Silicon з технологією TOPCon та Half-cut cells. Це забезпечує:

- Нижчий температурний коефіцієнт (краща робота при нагріванні).
- Вищий ККД (до 22.5%).
- Меншу деградацію панелей протягом 25 років.

Технічні дані обраної моделі (наприклад, Jinko Solar Tiger Neo 570W):

- Номінальна потужність (P_p): 570 Вт.
- Напруга при макс. потужності (V_{mpp}): 42.07 В.
- Струм при макс. потужності (I_{mpp}): 13.55 А.

Розрахунок кількості панелей для потужності 42 кВт:

Необхідно врахувати втрати в кабелях та на перетворення в інверторі (близько 3-5%), тому цільова потужність масиву панелей (DC) має бути трохи вищою за номінальну потужність інвертора (AC).

$$N = \frac{P_{total}}{P_p} = \frac{42000}{570} = 73.68 \text{ шт}$$

Приймаємо $N = 74$ шт. Модулі будуть згруповані у стринги (послідовні ланцюги) для забезпечення оптимальної вхідної напруги інвертора. Наприклад, 4 стринги: два по 18 панелей та два по 19 панелей.

2.3.4 Вибір та конфігурація інверторного обладнання

Для промислового об'єкта обираємо гібридний трифазний інвертор. На відміну від мережевого, він дозволяє не лише продавати надлишки або замінювати споживання, а й накопичувати енергію в АКБ та використовувати її під час вимкнень основної мережі.

Модель: Гібридний інвертор потужністю 40-50 кВт (наприклад, Deye SUN-40K-SG01HP3-EU-BM4).

- Кількість MPPT трекерів: 4 (це дозволяє розмістити панелі на різних схилах даху без втрати ефективності).
- Максимальний струм на трекер: 36 А.

Перевірка сумісності:

Сумарна напруга стринга з 19 панелей:

$$V_{string} = 19 \times 42.07 = 799.33 \text{ В}$$

Це входить в робочий діапазон MPPT інвертора (зазвичай 200–850 В).

2.3.5 Розрахунок системи накопичення енергії (АКБ)

Підприємству «Львів-Пласт» потрібен резерв для завершення технологічних процесів. Обираємо літій-залізо-фосфатні акумулятори (LiFePO₄), оскільки вони витримують понад 6000 циклів розряду.

Розрахунок необхідної ємності:

Припустимо, критичне навантаження цеху складає 20 кВт, яке потрібно підтримувати протягом 2.5 годин. Глибина розряду (DoD) для LiFePO₄ складає 80-90%.

$$E_{needed} = \frac{P_{crit} \times t}{DoD \times \eta} = \frac{20 \text{ кВт} \times 2.5 \text{ год}}{0.85 \times 0.95} \approx 61.9 \text{ кВт} \times \text{год}$$

Обираємо високовольтну систему (High Voltage), наприклад, 2 стійки Pylontech Force H2 загальною ємністю 64 кВт·год. Це забезпечить стабільну роботу обладнання та високу швидкість заряду/розряду.

3 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

Математичне моделювання є ключовим етапом проектування та модернізації систем електропостачання. Воно дозволяє дослідити поведінку системи в різних режимах роботи (нормальних, ремонтних, аварійних) без необхідності проведення високовартісних та ризикованих натурних експериментів на діючому обладнанні ПП «Львів-Пласт».

3.1 Види математичного моделювання

У задачах електроенергетики та електромеханіки математичне моделювання класифікують за декількома основними ознаками, залежно від мети дослідження та глибини опису фізичних процесів.

1. За способом представлення та розв'язання задач:

- **Аналітичне моделювання.** Процеси функціонування елементів СЕС (сонячних панелей, інверторів) описуються у вигляді математичних залежностей (алгебраїчних, диференціальних, інтегральних рівнянь). Аналітичні моделі дозволяють отримати явні залежності вихідних параметрів від вхідних, що зручно для швидкого оцінювання потужності. Проте для складних систем, таких як гібридна СЕС, аналітичний опис усіх перехідних процесів стає надто громіздким.

- **Імітаційне (чисельне) моделювання.** Це відтворення процесу функціонування системи у часі з дотриманням логіки взаємодії елементів. Для ПП «Львів-Пласт» імітаційне моделювання дозволяє прорахувати генерацію енергії щогодини протягом року, враховуючи реальні графіки інсоляції у Львові та графіки навантаження виробництва. Саме цей вид моделювання реалізується у спеціалізованому ПЗ (PVsyst, Helioscope, MATLAB/Simulink).

2. За часовою ознакою:

- **Статичне моделювання.** Використовується для опису системи в усталеному стані. У нашому випадку — це розрахунок балансу потужності в конкретний момент часу (наприклад, у момент піку сонячної активності). Статичні моделі є основою для вибору перерізу кабелів та номіналів захисного обладнання.

- **Динамічне моделювання.** Описує перехідні процеси в системі. Для СЕС це важливо при дослідженні роботи інвертора в моменти різкої зміни хмарності або при комутаційних операціях (перехід на роботу від АКБ при зникненні зовнішньої напруги). Динамічні моделі враховують інерційність електромагнітних процесів.

3. За характером параметрів:

- **Детерміноване моделювання.** Передбачає, що всі вхідні параметри (напруга мережі, ККД панелей) є точно відомими і не змінюються випадковим чином. Це спрощує розрахунок, але дає ідеалізований результат.

- **Стохастичне (імовірнісне) моделювання.** Враховує випадковий характер процесів. Сонячна генерація є стохастичною за своєю природою, оскільки залежить від метеорологічних умов, які неможливо передбачити зі 100% точністю. Використання імовірнісних моделей дозволяє оцінити ризики дефіциту потужності та правильно розрахувати ємність акумуляторних батарей.

4. За ступенем лінійності:

- **Лінійне моделювання.** Використовує лінійні залежності. В електроенергетиці лінійна модель допустима для розрахунків падіння напруги в мережах, але вона не підходить для опису сонячних панелей, оскільки їх вольт-амперна характеристика (ВАХ) є суттєво нелінійною.

- **Нелінійне моделювання.** Більш точний вид моделювання, що враховує нелінійність характеристик напівпровідникових елементів інвертора та фотоелектричних комірок. Розрахунок таких моделей потребує ітераційних методів (наприклад, методу Ньютона-Рафсона).

Обґрунтування для дипломної роботи: Для модернізації мережі ПП «Львів-Пласт» найбільш доцільним є поєднання імітаційного та стохастичного моделювання. Це дозволить врахувати змінний графік споживання електроенергії цехом (робота екструдерів, термопластавтоматів) та нерівномірність сонячної генерації протягом доби та сезонів.

3.2 Типи математичних моделей

Для аналізу та оптимізації системи електропостачання ПП «Львів-Пласт» використовується ієрархічний підхід до моделювання, який включає декілька основних типів моделей: від опису фізичних процесів у напівпровідниках до високорівневих моделей енергетичного балансу.

3.2.1 Математична модель фотоелектричної комірки (ФЕК)

Основою моделювання будь-якої СЕС є модель окремого сонячного елемента. Найбільш поширеною та точною для інженерних розрахунків є однодіодна модель (схема заміщення з п'ятьма параметрами).

Математично вольт-амперна характеристика (ВАХ) такої моделі описується рівнянням Шоклю:

$$I = I_{ph} - I_0 \left[\exp \left(\frac{q(V + I \times R_s)}{n \times k \times T} \right) - 1 \right] - \frac{V + I \times R_s}{R_{sh}}$$

Де:

- I_{ph} - фотострум, що генерується при освітленні;
- I_0 - струм насичення діода;
- q - заряд електрона;
- k - стала Больцмана;
- T - температура комірки;
- n - фактор ідеальності діода;
- R_s та R_{sh} - послідовний та шунтуючий опори відповідно.

Ця модель є нелінійною, оскільки струм I входить в обидві частини рівняння, що потребує використання чисельних методів розв'язання (наприклад, методу ітерацій).

3.2.2 Модель інверторного перетворювача

Для моделювання енергосистеми підприємства інвертор розглядається як функціональний блок з певним ККД, який залежить від вхідної потужності. Використовується модель ефективності (модель Зандмільера):

$$\eta = \frac{P_{AC}}{P_{DC}} = \frac{P_{AC}}{P_{AC} + P_{loss}}$$

Втрати потужності P_{loss} в інверторі поділяються на:

1. Статичні втрати (на власне живлення контролерів).
2. Лінійні втрати (падіння напруги на напівпровідниках).
3. Квадратичні втрати (джоулеві втрати в обмотках та провідниках).

3.2.3 Модель акумуляторної батареї (АКБ)

Для ПП «Львів-Пласт» критично важливо моделювати стан заряду (State of Charge — SoC). Використовується кінетична модель акумулятора (KiBaM) або модель Шеферда, яка описує напругу на клемі залежно від ступеня розряду:

$$V_{bat} = E_0 - R \times i - K \frac{Q}{Q - \int i dt} + A \times \exp(-B \times \int i dt)$$

Ця модель дозволяє прогнозувати, як довго акумулятори Pylontech зможуть підтримувати роботу ліній екструзії при раптовому вимкненні зовнішньої мережі.

3.2.4 Режимні (балансові) моделі

Це найвищий рівень моделювання, який описує взаємодію всіх компонентів системи (Мережа – СЕС – Навантаження – АКБ). Основне рівняння балансу потужності для об'єкта виглядає так:

$$P_{grid}(t) + P_{pv}(t) \pm P_{bat}(t) - P_{load}(t) = 0$$

- Якщо $P_{pv} > P_{load}$, надлишок спрямовується на заряд АКБ ($+P_{bat}$).
- Якщо $P_{pv} < P_{load}$, дефіцит покривається за рахунок АКБ ($-P_{bat}$)

або мережі (P_{grid}).

Резюме до розділу 3.2

Таким чином, використання вищезгаданих типів математичних моделей дозволяє:

1. Точно розрахувати виробітку енергії при різних рівнях інсоляції у Львові.
2. Оптимізувати алгоритми перемикання між сонячною генерацією та АКБ для мінімізації пікових навантажень на мережу.
3. Забезпечити стабільну роботу двигунів та нагрівальних елементів обладнання ПП «Львів-Пласт» шляхом моделювання перехідних процесів у гібридній системі.

3.3 Моделювання. Дослідження роботи підприємства при живленні від сонячної панелі та акумуляторної батареї

У середовищі MATLAB/Simulink буде виконано імітаційне моделювання функціонування підприємства, яка отримує живлення від сонячної панелі та акумуляторної батареї. Схема моделі подана на рисунку 2.8. До її складу входять сонячна панель SB, споживач PN, акумулятор із відповідним контролером (Controller+AB), Scope для аналізу сигналів, а також екран Display, призначений для відображення контрольованих параметрів системи. Підсистема акумуляторної батареї з контролером, позначена як Controller+AB, показана на рисунку 2.9. Її компонентами є суматор і блок постійного значення, що моделює початковий заряд акумулятора, який дорівнює 20 кВт.

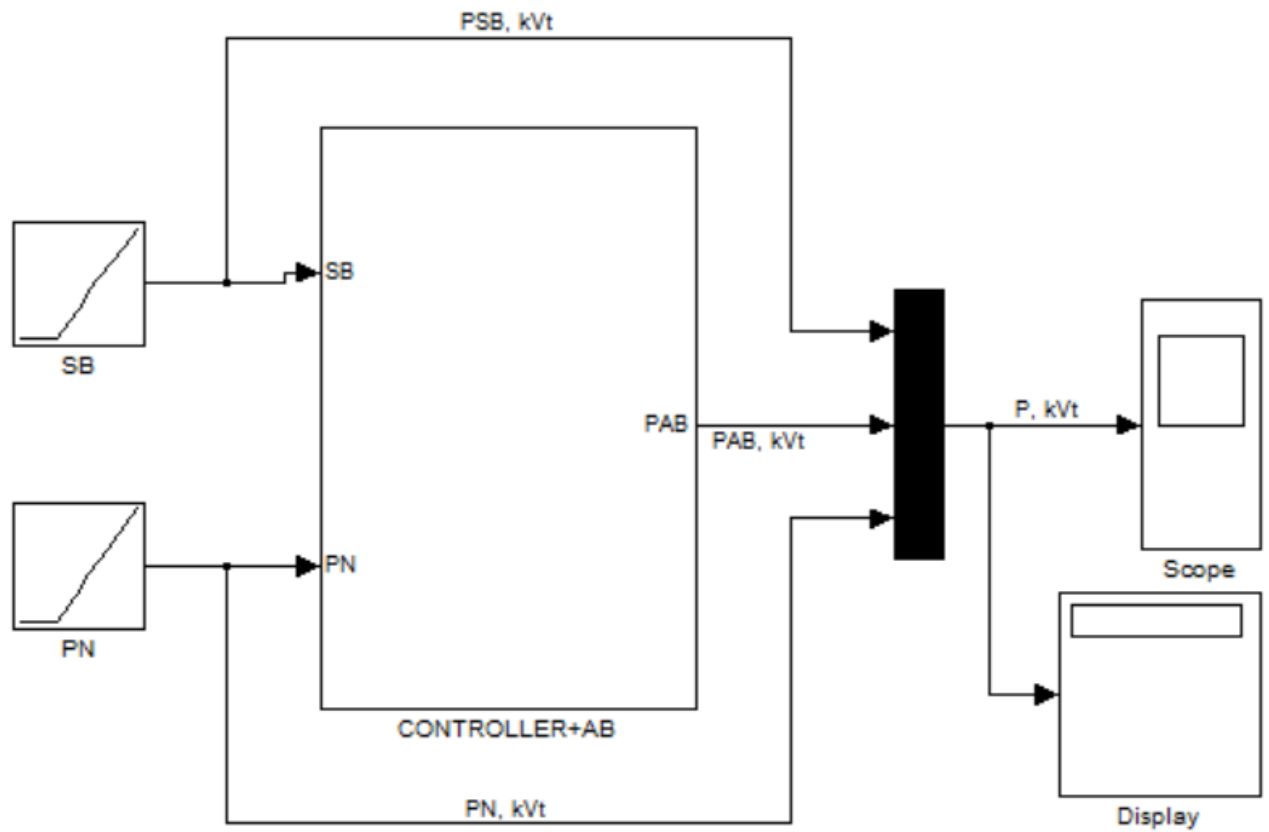


Рисунок 2.8 – Імітаційна модель живлення підприємства від сонячної батареї та акумуляторної батареї

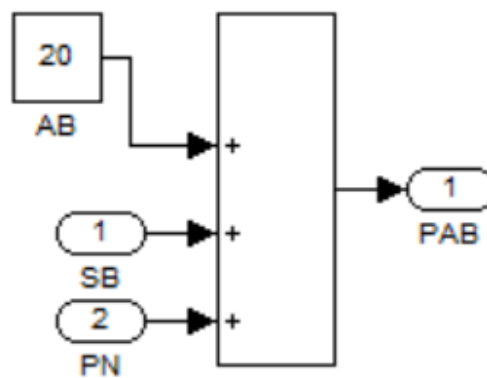


Рисунок 2.9 – Імітаційна модель підсистеми акумулятора та контролера Controller+AB

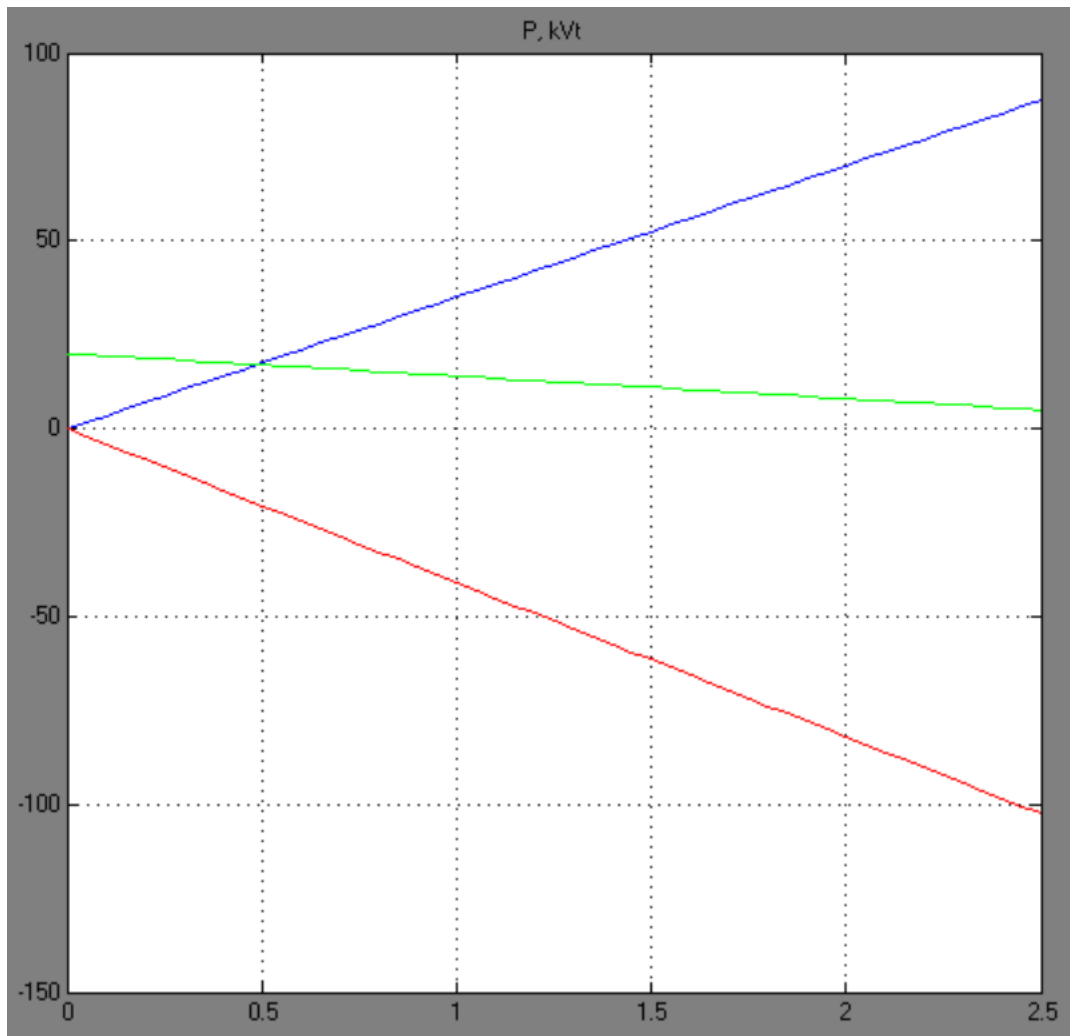


Рисунок 2.10 – Графічні залежності сонячної генерації потужності навантаження, потужність акумуляторної батареї

Навантаження становить 41 кВт, тоді як встановлена потужність сонячної батареї дорівнює 42 кВт. За ідеальних умов, таких як оптимальний кут падіння сонячного світла та ясне небо, батарея здатна генерувати максимальну потужність у 42 кВт. Моделювання проводилось для роботи протягом 2,5 години. Графіки, що демонструють динаміку споживання потужності, вироблення сонячної енергії та рівень заряду акумулятора, наведено на рисунку 2.10. З метою зручності всі три графічні залежності поєднано на одній координатній площині.

Дослідження проведемо при зміні інтенсивності генерації електроенергії, яка залежить від рівня освітленості. Для цього змінюємо потужність генерації

сонячної батареї та проводимо фіксацію досліджуваних параметрів. Результати дослідження зведено у таблицю 1. Графічні залежності отриманих результатів показано на рисунку 4.

Таблиця 1 – Результати дослідження

PSB, %	PSB, кВт	PN, кВт	PAB, кВт
100	105	102,5	22,5
95	99,75	102,5	17,25
90	94,5	102,5	12
85	89,25	102,5	6,75
80	84	102,5	1,5

Перший дослід при 100% генерації енергії видно, що сонячні панелі повністю покривають споживання енергії, а її надлишок іде на підзарядження акумуляторних батарей. Цей режим є теоретичним, оскільки має бути строго перпендикулярне падіння сонячного проміння на поверхню батареї, що практично не можливо. Оскільки нахил панелей переважно є фіксований, а відповідно кут падіння на поверхню постійно змінюється в залежності від пори року та часу доби.

Другий дослід проведено при освітленості близько 95% що є практично ідеальними умовами освітленості. Ми бачимо що така конфігурація резервного живлення повністю задовільняє умови роботи системи електропостачання. Оскільки батарея розряджається до 17,25 кВт, що становить 0,86РАВ.

Третій дослід та четвертий, при освітленості 90 та 85 % також забезпечують повністю належне електропостачання, оскільки розрядження батареї становить 12 кВт а 6,75 кВт, що становить 0,6РАВ та 33,75РАВ.

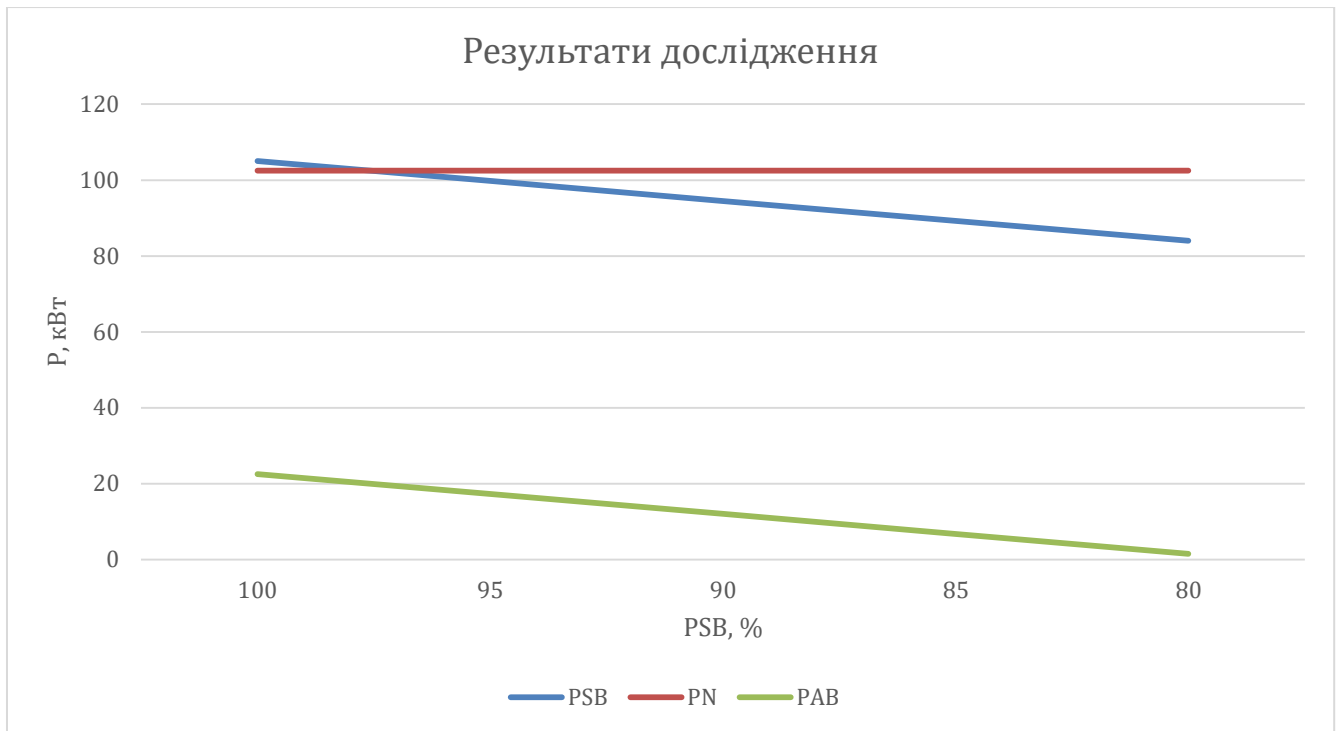


Рисунок 2.11 – Графічні залежності результатів дослідження

У четвертому досліді при освітленості 80% через 2,5 години залишкова потужність батарей акумуляторів становить лише 1,5 кВт, що становить лише 7,5РАВ. Даний випадок показує вже глибокий розряд акумуляторів. А тому дана конфігурація вже не зможе забезпечити необхідні умови.

Подальше зменшення освітленості відповідно вже, зрозуміло, не зможе справитись із поставленим завданням. За такої конфігурації при низькому рівні освітленості необхідно зменшувати споживання електроенергії або збільшувати потужність акумуляторних батарей.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Аналіз стану охорони праці на підприємстві

4.1.1 Організація роботи служби з охорони праці

Система управління охороною праці (СУОП)– це сукупність органів управління підприємством, які на підставі комплексу нормативної документації проводять цілеспрямовану, планомірну діяльність щодо здійснення завдань і функцій управління з метою забезпечення здорових безпечних і високопродуктивних умов праці. Створення цієї системи здійснюється шляхом послідовного визначення мети і об'єкта управління, завдання і заходів щодо охорони праці, функцій і методів управління, побудови організаційної структури управління, складання нормативно-методичної документації. Головна мета управління охороною праці є створення здорових, безпечних і високопродуктивних умов праці, покращення виробничого побуту, запобігання травматизму і профзахворюванням .

Заходи для забезпечення створення СУОП:

- розробити і затвердити на підприємстві положення про організацію управління охорони праці;
- щорічно оформляти наказ про призначення осіб відповідальних за стан охорони праці в галузях і на дільницях, а також безпечне використання об'єктів підвищеної небезпеки (котлів і посудин, що працюють під тиском, експлуатація вантажопідйомних машин, газового господарства, пестицидів);
- оформлення наказу про визначення персональних обов'язків з охорони праці усіх спеціалізацій, керівників дільниць та інших службових осіб;
- щорічне проведення паспортизації умов праці, технічних засобів безпеки і технічного стану робочих місць;

- складання планів роботи з охорони праці, комплексне, річне і оперативне планування;
- організація заходів матеріально і морального стимулювання щодо охорони праці;
- впровадження державних, галузевих стандартів, а також розроблення на їх основі стандартів підприємства;
- проведення розслідування і вивчення причин травм, пожеж їх аналіз і облік, а також розробка заходів щодо їх застосування;
- вивчення узагальнення, впровадження передового досвіду з охорони праці;
- організація аудиту охорони праці, лабораторні дослідження умов праці, оцінку технічного стану виробничого плану, атестація робочих місць.

Суб'єктом управління в СУОП на підприємстві в цілому є керівник, а в цехах, на виробничих дільницях і в службах – керівники відповідних структурних підрозділів і служб. Організаційно - методичну роботу по управлінню охороною праці, підготовку управлінських рішень і контроль за їх своєчасною реалізацією здійснює служба охорони праці підприємства, що підпорядкована безпосередньо керівнику підприємства. Суб'єкт управління аналізує інформацію про стан охорони праці на структурних підрозділах підприємства та приймає рішення спрямовані на проведення фактичних показників охорони праці у відповідність з нормами. Об'єктом управління СУОП є діяльність структурних підрозділів та служб підприємства по забезпеченню безпечних і здорових умов праці на робочих місцях, виробничих дільницях, цехах та підприємства в цілому.

4.1.2 Фінансування заходів з охорони праці

Згідно Закону України „Про охорону праці” фінансування охорони праці здійснюється власником підприємства. Працівник не несе ніяких витрат на заходи щодо охорони праці. У господарстві створенні фонди охорони праці відповідно до Положення про державний, галузеві, регіональні фонди охорони праці та фонди охорони праці.

Власники підприємства визначає порядок управління фондами підприємства, призначає відповідальних за це осіб. Кошти фондів підприємства використовуються на виконання комплексних заходів, що забезпечують досягнення встановлених нормативів з охорони праці, а також на подальше підвищення рівня охороною праці на виробництві відповідно до визначеного переліку.

Фінансування профілактичних заходів з охорони праці, виконання загальнодержавної, галузевих та регіональних програм поліпшення стану безпеки, гігієни праці та виробничого середовища, інших державних програм, спрямованих на запобігання нещасним випадкам та професійним захворюванням, передбачається, поряд з іншими джерелами фінансування, визначеними законодавством, у державному і місцевих бюджетах, що виділяються окремим рядком. Фінансування заходів по охороні праці здійснюється у відповідності нормам і зображено у таблиці 4. 1.

Таблиця 4. 1 - Фінансування заходів з охорони праці

Показники	Рік	
	2023	2024
Загальні витрати по господарству, грн.:	1922	2150
- на ЗІЗ	620	755
- на лікувально-профілактичне оздоровлення	1302	1495

Виходячи з даних таблиці 4.1 можна зробити висновок, що фінансування охорони праці за останні роки збільшується на 15%, це пов'язано із

збільшенням реалізованої продукції, оскільки щорічно від суми реалізованої продукції господарство виділяє 0,8% коштів на фінансування заходів з охорони праці. Отже, згідно чинного законодавства ця сума не повинна бути меншою 0,5%.

4.1.3 Аналіз умов праці та профілактики травматизму

Аналіз умов праці, побуту і профілактики травматизму дозволяє виявити причини і визначити закономірності їх виникнення. На основі такої інформації розробляються заходи та засоби щодо профілактики виробничого травматизму. Для аналізу виробничого травматизму застосовують такі основні методи: статистичний, топографічний, монографічний, економічний, метод анкетування, метод експертних оцінок.

На основі даних показників визначають динаміку виробничого травматизму, професійної та загальної захворюваності за відповідний період, яка дозволяє оцінити стан охорони праці на підприємстві, правильність обраних напрямків щодо забезпечення здорових та безпечних умов праці.

Таблиця 4. 2 - Аналіз умов праці та травматизму

Показники	2022	2023	2024
Середньомісячна кількість працівників, чол	324	335	352
Число потерпілих з втратою працездатності, чол	2	1	1
Число потерпілих з смертельним наслідком, чол	-	-	-
Кількість днів непрацездатності, днів	80	40	35
Показник частоти травматизму	6,17	2,99	2,84
Показник важкості травматизму	40	40	35
Показник непрацездатності	246,9	119,4	99,43

У господарстві на відповідному рівні організовані всі виробничі процеси та побут працівників для підвищення продуктивності праці. Для безпечної роботи персоналу з працівниками проводяться інструктажі по охороні праці. На

кожному об'єкті та на робочих місцях розміщено інструктажі з вимогами техніки безпеки.

Для профілактики виробничого травматизму у господарстві впроваджують нові технології які сприяють охороні праці. На відповідних об'єктах впроваджують автоматичні блокуючі пристрої, створюють місцеву вентиляцію і систему кондиціонування повітря, освітлення окремих робочих місць на даний момент перебуває у належному стані, за рахунок модернізації освітлювального обладнання. Аналіз стану виробничого травматизму проводиться щорічно і за остання три роки наведені у таблиці 4.2.

4.2 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 місць;
- 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.

4.3 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.

4.4 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 довкіллям, 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 .

5 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

5.1 Розрахунок вартості модернізації

Для розуміння економічної ефективності розробки необхідно визначити загальну вартість сонячної системи.

Таблиця 5.1 - Техніко-економічні показники

Етап / Обладнання	Опис	Кількість	Вартість (USD)
ФЕМ Jinko Solar 570W	Панелі (DC потужність 42.18 кВт)	74 шт.	7,400
Інвертор Deye 40kW	Гібридний, 3-фазний	1 шт.	5,800
АКБ Pylontech 64kWh	Система накопичення енергії	1 компл.	18,500
Металоконструкції	Алюмінієва система кріплення на дах	1 компл.	2,100
Електротехнічне обладнання	Сонячний кабель, АС/DC захист, щити	1 компл.	1,600
Монтажні та пусконаладжувальні роботи	Встановлення, налаштування ПЗ	-	4,500
ЗАГАЛОМ	-	-	39,900

5.2 Аналіз ефективності та окупності

Середньорічна генерація у Львові для станції 42 кВт становить приблизно 41,000–44,000 кВт·год на рік.

1. Заміщення власного споживання: при тарифі для підприємств ~10 грн/кВт·год (з ПДВ та розподілом), річна економія складе:

$$42,000 \times 10 \text{ грн} = 420,000 \text{ грн/рік} (\sim 1010 \text{ USD})$$

2. Простий термін окупності:

$$T = \frac{39,900}{10,120} = 3,94 \text{ роки}$$

Враховуючи постійне зростання тарифів на електроенергію для бізнесу та ризику простою виробництва, реальний термін окупності з урахуванням збереженої продукції може скоротитися до 4–4.5 років.

ВИСНОВКИ

В даній роботі ми розрахували силову мережу, мережу освітлення за допомогою світлодіодними лампами.

Були підібрані автоматичні вимикачі, реле, магнітні пускачі для обладнання.

Проведно математичне моделювання в у середовищі MATLAB/Simulink. Модель зображено на рисунку 1. Модель складається із сонячної батареї SB, споживача PN, акумуляторної батареї із контролером AB+Controller, двох осцилографів Scope та Scope1, екрана Display для виведення контрольованих параметрів.

Таким чином, використання вищезгаданих типів математичних моделей дозволяє:

- Точно розрахувати виробітку енергії при різних рівнях інсоляції у Львові.
- Оптимізувати алгоритми перемикання між сонячною генерацією та АКБ для мінімізації пікових навантажень на мережу.
- Забезпечити стабільну роботу двигунів та нагрівальних елементів обладнання ПП «Львів-Пласт» шляхом моделювання перехідних процесів у гібридній системі.

Середньорічна генерація у Львові для станції 42 кВт становить приблизно 41,000–44,000 кВт·год на рік.

Заміщення власного споживання: при тарифі для підприємств ~10 грн/кВт·год (з ПДВ та розподілом), річна економія складе: 420,000 грн/рік (~1010 USD)

Простий термін окупності: 4 роки

Враховуючи постійне зростання тарифів на електроенергію для бізнесу та ризику простою виробництва, реальний термін окупності з урахуванням збереженої продукції може скоротитися до 4–4.5 років.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Притака І.П., Мозирський В.В. Електропостачання сільського господарства. – К.: Урожай. 1995. – 343 с.
2. Щоквартальний журнал “Зелена енергетика”(www.zelena.energetyka.lviv.ua).
3. Щомісячний журнал “Ринок інстиляцій”. (www.ri.lviv.ua.)
4. М.А. Яцун. Електричні машини. Навчальний посібник. – Львів. Видавництво НУ “Львівська політехніка”, 2001. – 428 с.
5. П. Якобчук, В. Лозбін, П. Гащук, В. Маляр, А. Лозинський, В. Волинець. МікроТЕЦ як засіб оптимізації систем енергопостачання. Львів, 2000.
6. ДСТУ 3008-95. Документація, звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. – К.: Держстандарт України, 1995. – 275 с.
7. Стандарт підприємства (СТП) 049373.01-87. Дипломні і курсові проекти (роботи). Загальні вимоги до оформлення. – Дубляни, ЛСПІ, 1987. – 38 с.
8. Корчемний М., Федорейко В., Щербань В. Енергозбереження в агро-промисловому комплексі. – Тернопіль: Підручники і посібники, 2001, 984с.
9. Варецький Ю.О. Методичні настанови та завдання до курсового проекту для студентів спеціальності 6.091.900. – Львів, 2004.
10. Єрмолаєв С.О., Мунтян В.О., Яковлев В.Ф. Експлуатація енергообладнання та засобів автоматизації в системі АПК. Підручник / За ред. С.О. Єрмолаєв. – К.: Мета, 2003. – 543 с. іл.
11. Поновлювальні джерела енергії. Посібник для слухачів навч.курсів з енергоменеджменту. Укладач М.О.Боярчук В.М. – Львів, в-во “Львівська політехніка”, 2001. – 68 с.
12. Василега П.О. Електропостачання: Навчальний посібник. – Суми: ВТД «Університетська книга», 2008
13. Інтернет сайт - <http://electrostyle.com.ua>
14. Каталог СВ АЛЬТЕРА 2010р
15. Каталог МІК Ukraine – Джерела світла
16. Каталог електротехнічної продукції АСКО УкрЕМ
17. Інтернет сайт - <http://www.aliexpress.com/>
18. Каталог електродвигателів підприємства РУП «Полесьєелектромаш»