

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

першого (бакалаврського) рівня освіти

на тему:

**“ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ГІБРИДНОЇ СИСТЕМИ
ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АДМІНІСТРАТИВНОЇ БУДІВЛІ
ПІДПРИЄМСТВА З ВИКОРИСТАННЯМ ОБЛАДНАННЯ
ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ”**

Виконав: студент IV курсу групи Ен-41
спеціальності 141 “Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка”
(шифр і назва спеціальності)

_____ Петречко А.П.
(Прізвище та ініціали)

Керівник: _____ к.т.н., доцент Бабич М.І.
(Прізвище та ініціали)

Рецензент: _____
(Прізвище та ініціали)

ДУБЛЯНИ 2025

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

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський) рівень

Спеціальність 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

“ЗАТВЕРДЖУЮ”
Завідувач кафедри _____
доцент, к.т.н., С. В. Сиротюк
“ _____ ” _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Петречку Андрію Петровичу

1. Тема роботи: “ Обґрунтування параметрів гібридної системи електрозабезпечення адміністративної будівлі підприємства з використанням обладнання відновлюваної енергетики”.

Керівник роботи Бабич Михайло Іванович, кандидат технічних наук, доцент
затверджені наказом по університету від 25 лютого 2025 року № 123 / к-с.

2. Строк подання студентом роботи 30.05.2025 р.

3. Вихідні дані до роботи: науково-технічна і довідкова література, наукові статті, навчальні посібники, онлайн-бібліотеки та технічна документація пов'язані з сонячною енергетикою та іншими джерелами відновлювальної енергії.

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

Вступ

1. Характеристика об'єкта дослідження

2. Визначення і доцільність використання різних видів відновлювальних джерел енергії .

3. Розрахунок і вибір сонячних панелей

4. Охорона праці та довкілля

5. Техніко-економічне обґрунтування розробок кваліфікаційної роботи

Висновки

Список використаних джерел

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

6. Консультанти з розділів:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
4	Городецький І. М., к.т.н., доцент	25.02.25 р.	25.02.25 р.	

7. Дата видачі завдання

25 лютого 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Написання першого розділу	25.02.25-10.03.25	
2	Виконання другого розділу	11.03.25-24.03.25	
3.	Виконання третього розділу	25.03.25-07.04.25	
4.	Написання розділу: «Охорона праці та довкілля»	08.04.25-21.04.25	
5.	Розрахунок економічної ефективності розробок кваліфікаційної роботи	22.04.25-05.05.25	
6.	Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та ілюстративної частини	06.05.25-19.05.25	
7.	Завершення кваліфікаційної роботи в цілому	20.05.25-30.05.25	

Студент _____ Петrenchко А.П.
(підпис)

Керівник роботи _____ Бабич М. І.
(підпис)

Петречко А. П. «Обґрунтування параметрів гібридної сонячної електростанції для енергозабезпечення адміністративної будівлі з використанням обладнання відновлюваної енергетики». Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького, 2025 р.

48 стор. текстової частини, 8 таблиць, 10 рисунків, 35 джерел посилання.

У роботі проаналізовано потенціал сонячної енергетики та обґрунтовано доцільність використання гібридної сонячної електростанції для забезпечення електропостачання адміністративної будівлі. Розглянуто типи сонячних енергетичних систем, проведено енергетичні та економічні розрахунки для вибору основного обладнання (сонячні панелі, інвертор, система захисту, акумуляторні батареї). Визначено річну генерацію, окупність та ефективність запропонованої системи. Надано заходи з охорони праці та довкілля під час експлуатації СЕС. Запропонована система дозволяє забезпечити надійне та екологічне електропостачання з можливістю роботи в мережевому та автономному режимах.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1. ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ’ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ.....	7
1.1. Загальні відомості про об’єкт дослідження	7
1.2. Аналіз системи електрозабезпечення адміністративної будівлі підприємства...8	
1.3. Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи	10
2. ВИЗНАЧЕННЯ І ДОЦІЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ РІЗНИХ ВИДІВ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ.....	12
2.1. Види відновлювальних джерел енергії.....	12
2.2. Потенціал сонячної енергетики для електрозабезпечення споживачів.17	
2.3. Аналіз систем електрозабезпечення на базі сонячної енергетики.....	19
3. РОЗРАХУНОК І ВИБІР СОНЧНИХ ПАНЕЛЕЙ.....	25
3.1. Розрахунок потужності підприємства.....	25
3.2. Розрахунок потенціалу сонячної енергетики.....	30
3.3. Вибір типу та обґрунтування параметрів обладнання гібридної сонячної електростанції.....	33
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ.....	37
4.1. Основні потенційні небезпеки на робочому місці.....	37
4.2. Засоби забезпечення безпеки.....	38
4.3. Протипожежна безпека.....	39
4.4. Вплив СЕС на довкілля.....	39
4.5. Нормативні документи.....	40
5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБґРУНТУВАННЯ РОЗРОБОК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ.....	41
ВИСНОВКИ.....	44
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	46

ВСТУП

У сучасних умовах забезпечення надійного та ефективного електропостачання є актуальною проблемою через постійне зростання енергоспоживання, нестабільність енергомереж і залежність від викопних ресурсів. Використання традиційних джерел електроенергії, таких як ТЕС та АЕС, супроводжується вичерпністю паливних ресурсів та значним забрудненням навколишнього середовища парниковими викидами. Часті обриви ліній електропередачі і неможливість сталого електрозабезпечення віддалених об'єктів теж є серйозною проблемою, особливо за умов несприятливої роботи енергосистеми. Хоча в таких випадках можуть застосовуватись дизель-генератори як резервні джерела живлення, вони характеризуються високим рівнем шуму, необхідністю регулярного постачання пального та шкідливими викидами в атмосферу. Отже, існує нагальна потреба у впровадженні ресурс ефективних і нешкідливих технологій енергопостачання. Сонячна енергетика, як одне з найбільш перспективних відновлюваних джерел, дозволяє істотно підвищити енергоефективність об'єктів та зменшити екологічне навантаження[36].

З огляду на це робота в якій розглядається обґрунтування параметрів гібридної сонячної електростанції для енергозабезпечення об'єкта, є важливою і актуальною.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Загальні відомості про об'єкт дослідження

Комунальне підприємство "Служба муніципального управління" Дрогобицької міської ради засноване на власності територіальної громади м. Дрогобича в особі Дрогобицької міської ради. У своїй діяльності підприємство підпорядковується Дрогобицькій міській раді, її виконавчому комітету, підзвітне та підконтрольне департаменту міського господарства Дрогобицької міської ради. Підприємство є юридичною особою і користується правом господарського відання щодо закріпленого за ним майна.

Рішенням сесії Дрогобицької міської ради основні засоби і матеріальні ресурси КП"КМГ" передані на баланс КП "Служба муніципального управління" ДМР .

КП "Служба муніципального управління " – багатогалузеве підприємство, в складі якого є наступні структурні підрозділи:

1. Дільниця зовнішнього освітлення
2. Дільниця благоустрою з підрозділом з утримання безпритульних тварин
3. Дільниця з утримання м. Стебника
4. Дільниця зеленого господарства
- 5.Шляхово-ремонтна дільниця і АБУ
6. Дільниця ритуальних послуг
- 7.Автотранспортна дільниця
- 8.Підрозділ з забезпечення функціонування паркування ТЗ у м. Дрогобичі.

Дільниця зовнішнього освітлення

В штаті дільниці зовнішнього освітлення налічується 11 чоловік, з них 9 електромонтерів та 1 електрослюсар, які обслуговують мережі зовнішнього освітлення, світлофорні об'єкти і фонтан "Водограй" в центрі міста. Фактична чисельність станом на 01.10.2024р. 4 електромонтери.

Роботи з утримання і поточного ремонту мереж включають в себе заміну непрацюючих світло точок, ліквідацію пошкоджень електромереж, освітлювальної арматури та устаткування, пошкоджень опор, підвісок, кронштейнів, заміну дроселів та відбивачів, ремонт і заміну кінцевих та з'єднувальних муфт на кабелях усіх марок, інші роботи згідно Номенклатури робіт Порядку проведення ремонту та утримання об'єктів благоустрою.

Загальна протяжність електричних мереж вуличного освітлення міста, які знаходяться на балансі КП " Служба муніципального управління ", складає 241,1 км, в т. ч. кабельні мережі – 32 км, повітряні – 215,1 км. Загальна кількість електричних підстанцій - 86, світильників - 8306 одиниць з різними типами джерел світла.

З 2021 року до ділянки долучено обслуговування мереж вуличного освітлення населених пунктів ОТГ.

На балансі підприємства знаходиться 14 світлофорних об'єктів, значна частина яких є морально застарілі, часто ламаються, потребують заміни вузлів, що вже зняті з виробництва.

У 2023-2024 роках силами спеціалістів ділянки, окрім поточних робіт, проводилися роботи із заміни світильників вуличного освітлення з використанням енергозберігаючих технологій.

В 2024р. для утримання мереж зовнішнього освітлення виконано робіт на суму 3482,3 тис. грн.

1.2 Загальна характеристика системи електрозабезпечення підприємства

Забезпечення електроенергією на Комунальному підприємстві "Служба муніципального управління" Дрогобицької міської ради здійснюється від трансформатора 10/0.4 кВт розміщеного на території підприємства.

Обсяги використаної електроенергії за рік становлять 59 тис. кВт · год

з цього 41 тис. кВт · год використовується для цеху а решта 18 кВт тис. кВт · год споживає адміністративна будівля.

На території підприємства знаходиться :

1. Трансформатор 10/0.4кВ
2. Адміністративний будівля
3. Цеховий корпус

Разом з трансформатором знаходиться шафа релейного захисту і



керування.

Рисунок 1.1 - Шафа керування



Рисунок 1.2 - Адміністративна будівля

Адміністративна будівля оснащена такими споживачами як: комп'ютери (400Вт), принтери (700Вт), холодильник (250Вт), мікрохвильові печі (800Вт), монітори (100Вт), освітлення (10Вт)

В адміністративній частині енергія використовується в основному в основному для виконання робіт з бухгалтерією тому електроспоживання там є меншим ніж в цеховому корпусі.

В свою чергу в цеховому корпусі електроспоживання використовується для силових приладів таких як токарні верстати, тельфер, різні менш потужні прилади (болгарки, шуруповерти, дрилі, паяльні станції).Ці всі прилади використовують для підготовки або ремонту обладнання, машин підприємства, або надання послуг іншим підприємствам.

Цеховий корпус включає в себе такі споживачі як: токарний верстат (1100Вт), тельфер (1300Вт), болгарки (2000кВ).

1.3. Обґрунтування теми кваліфікаційної роботи

У сучасних умовах зростання тарифів на електроенергію, загроз енергетичної нестабільності та актуалізації завдань з енергоефективності особливої важливості набувають питання впровадження відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) в діяльність комунальних підприємств. КП «Служба муніципального управління» Дрогобицької міської ради, як багатoproфільна структура з різнотипними енергоспоживачами, є типовим прикладом об'єкта, для якого актуальним є оптимізація системи електропостачання та зниження енергетичної залежності.

Річне електроспоживання підприємства становить близько 17 000 кВт · год, з яких значну частину складає навантаження від офісних приладів, освітлення. При цьому енергопостачання здійснюється від трансформаторної підстанції 10/0,4 кВ, що забезпечує централізоване живлення.

З огляду на це, вибір теми кваліфікаційної роботи — "Обґрунтування параметрів гібридної системи електрозабезпечення адміністративної будівлі

підприємства з використанням обладнання відновлюваної енергетики" - є обґрунтованим і актуальним. Така система дозволить:

- зменшити витрати на оплату електроенергії за рахунок власної генерації;
- підвищити енергетичну автономність об'єкта;
- забезпечити резервне живлення для критично важливих споживачів;
- знизити викиди вуглекислого газу та екологічне навантаження;
- запровадити сучасну технологію моніторингу та керування енергоспоживанням.

Об'єктом дослідження виступає електрозабезпечення адміністративної будівлі підприємства. Предметом дослідження — розробка техніко-економічного рішення щодо використання гібридної системи з фотоелектричними панелями, інвертором та акумуляторним модулем.

У роботі проаналізовано локальні кліматичні умови, технічні характеристики обладнання, оцінено енергоспоживання підприємства, проведено розрахунок необхідної кількості сонячних панелей, підібрано гібридний інвертор та накопичувач, що у сукупності утворює цілісну систему на базі ВДЕ з можливістю генерації та передачі надлишків до мережі.

Таким чином, обрана тема спрямована на практичну реалізацію сучасних принципів енергоефективності, енергетичної стійкості та екологічної відповідальності для типового муніципального підприємства, що робить її актуальною як у технічному, так і в економічному аспекті.

2 ВИЗНАЧЕННЯ І ДОЦІЛЬНІСЬ ВИКОРИСТАННЯ РІЗНИХ ВИДІВ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

2.1 Види відновлювальних джерел енергії

В даному розділі буде розказано про види відновлювальних джерел енергії і доцільність їх використання на розглянутому підприємстві.

Відновлювальні джерела енергії (ВДЕ) — це джерела, енергетичний потенціал яких поновлюється природним шляхом у короткостроковому або постійному циклі. Їх використання не призводить до виснаження природних ресурсів, а також має значно менший екологічний слід порівняно з традиційними (викопними) джерелами енергії. У контексті кліматичних викликів, енергетичної безпеки та стратегії декарбонізації економіки, ВДЕ відіграють ключову роль у глобальній енергетичній трансформації [3].

Оцінка кліматичних та природних умов місцевості. Сонячна радіація. Львівська область характеризується помірним рівнем сонячної радіації. Середньодобова радіація у м. Львів становить близько $2,9 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^2$ на день. За рік це накопичується приблизно до $1000\text{--}1150 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^2$ (на оптимально орієнтовану панель), що відповідає середньорічному ресурсному $\sim 1070 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^2$ у Львові [4]. Це дещо менше, ніж на півдні України (де до $1300\text{--}1400+ \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^2$), але все ж достатній ресурс. Отже, сонячне випромінювання на ділянці є помірним: найвищі значення в літні місяці ($\sim 4,5\text{--}4,8 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^2/\text{день}$ в червні-липні) і найнижчі взимку ($\sim 0,8\text{--}1,1 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^2/\text{день}$ в грудні-січні). На Графіку 2.1 показано розподіл середньодобової радіації по місяцях для Львівщини.

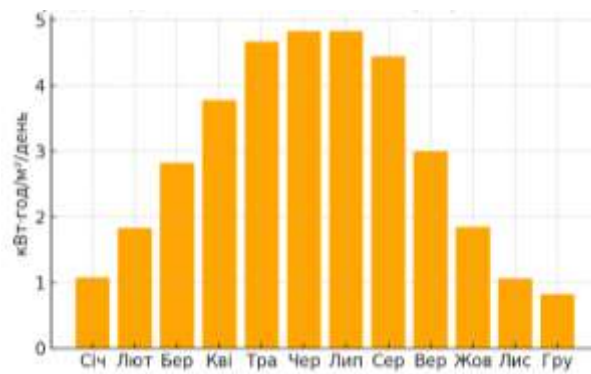


Рисунок 2.1 - Середньомісячна сонячна радіація у Львівській області (кВт · год/м²/день).

Вітровий потенціал. Вітрові ресурси в регіоні є середніми. За даними досліджень, середня швидкість вітру на висоті 100 м в різних районах Львівщини коливається від $\approx 6,6$ м/с (у найменш вітряних районах, наприклад Стрийському) до $\approx 7,2$ м/с (у найбільш вітряних, зокрема Золочівському). На відкритій місцевості біля Карпат швидкості можуть досягати 6–7 м/с, але в середньому по області $\sim 5,5$ –6 м/с на 100 м [9]. На Графіку 2.2 наведено середню місячну швидкість вітру на висоті 100 м для умов Львівщини: взимку вітри сильніші (січень $\sim 6,8$ м/с), влітку слабші (липень $\sim 4,5$ м/с). Такі показники свідчать про наявність помірного вітрового ресурсу, достатнього для генерації електроенергії вітротурбінами, хоча й нижчого, ніж у приморських чи степових регіонах України.

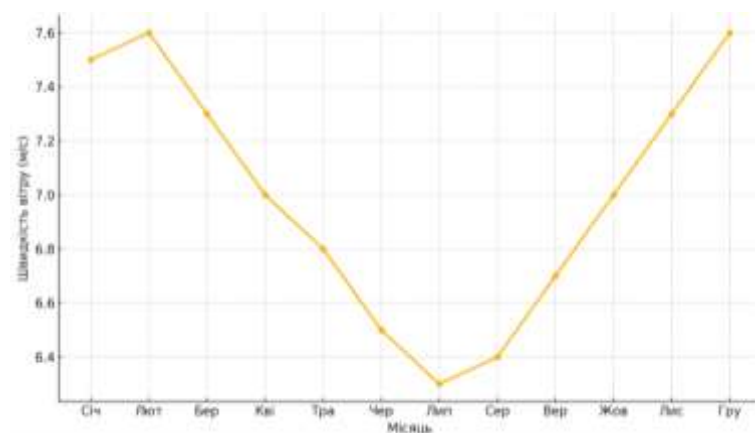


Рисунок 2.2 - Середня місячна швидкість вітру на висоті 100 м у Львівській області (м/с).

Ресурси біомаси. Львівська область має значну біомасовий потенціал завдяки лісам і сільському господарству. Ліси вкривають ~30% території області, що забезпечує великий обсяг деревної біомаси (приріст деревини, рубки та відходи деревообробки дають десятки тисяч тон палива щорічно). Агросектор генерує значну кількість відходів – солома (сотні тисяч тон щорічно), стебла кукурудзи, відходи тваринництва – які можуть бути використані для спалювання чи виробництва біогазу. За оцінками Біоенергетичної асоціації України, сумарний енергетичний потенціал біомаси Львівщини еквівалентний понад 2,6 млрд м³ природного газу на рік, що удвічі перевищує річне споживання газу в області. Це означає, що в регіоні є достатньо сировини для біоенергетичних проектів (деревина, агровідходи, органічні відходи). Проте безпосередньо на даній ділянці (560 м²) власних значних ресурсів біомаси немає – відсутні плантації енергетичних культур, ні великі обсяги відходів. Використання біомаси тут можливе лише за умови підвезення палива ззовні (наприклад, деревної тирси, тріски чи органічних відходів) [13].

Малі водні ресурси. Для малої гідроенергетики необхідна наявність річки або струмка з достатньою витратою води і перепадом висот. Львівщина багата на малі річки (другий показник в Україні) і має значний гідропотенціал Карпатських річок – за оцінками, щорічно можна виробляти до 500 млн кВт · год (0,5 млрд кВт · год) електроенергії на малих ГЕС регіону. Проте на самій вибраній ділянці немає придатного водотоку для побудови ГЕС. Без природної водойми площею 560 м² недостатньо для облаштування навіть малої дериваційної ГЕС. Таким чином, гідроенергетичний потенціал конкретної ділянки відсутній (нульовий) [25].

Геотермальний ресурс. Західна Україна (Передкарпаття) в цілому має певний геотермальний потенціал теплової енергії надр, але він значно поступається південним регіонам. Для генерації електрики з геотермальних джерел потрібні високотемпературні підземні води (70–100 °С і більше). Львівщина не вважається перспективним регіоном для класичної геотермальної

електростанції – глибокі горизонти з достатньою температурою не виявлені або розташовані на великій глибині. Технічно можливе використання геотермальної енергії в області обмежується теплонасосними системами (грунтові і водяні теплові насоси) та теплом шахтних вод колишніх шахт. Наприклад, у сусідній Закарпатській області вже опалюють теплиці водою 60–80 °С з геотермальних свердловин, але на Львівщині подібних проектів поки що немає. На ділянці 560 м² можна теоретично реалізувати тепловий насос для опалення (що зменшить споживання газу або електрики на тепло), але отримувати електроенергію з геотермального тепла на цій території неможливо (бракує гарячих джерел) [26].

Таблиця 2.1 - Орієнтовні показники встановленої потужності та річної генерації для різних ВДЕ.

Вид ВДЕ	Оцінка встановленої потужності	Очікувана генерація, кВт · год/рік (МВт · год)	Примітки / Умови реалізації
Сонячна (СЕС)	~70 кВт (≈350 м ² панелей)	60 000–70 000 (≈60–70 МВт · год)	Помірна радіація (≈1100 кВт · год/кВт · рік). Безкоштовне сонячне випромінювання, працює вдень.
Вітрова	~20 кВт (1 мала турбіна Н=30 м)	~30 000 (≈30 МВт · год)	Середня швидкість ~5–6 м/с на 30 м. Мінлива генерація, потребує стабілізації.
Біоенергетика	~100 кВт (міні-ТЕЦ або біогаз)	~800 000 (≈800 МВт · год)	Потенціал високий, але паливо ззовні (деревина ≈ 350 т/рік або органіка). Високі витрати на сировину.
Мала ГЕС	0 кВт	0	Немає водного потоку на ділянці – реалізація неможлива.
Геотермальна	0 кВт (електрична)	0	Відсутні термальні води високої температури; можна лише тепло насоси (тепло, не електрика).

Висновком з цієї інформації оптимальне рішення – сонячна електростанція.

Проаналізувавши всі основні типи ВДЕ з урахуванням локальних умов ділянки 560 м² у Львівській області, можна зробити такі висновки:

Сонячна енергетика виявилася найбільш придатною та практично реалізованою для даної ділянки. Попри середній рівень радіації регіону (близько 1070 кВт · год/м²/рік), сучасна СЕС може забезпечити ~60–70 МВт·год електроенергії на рік з площі півтисячі квадратних метрів. Це достатньо значний обсяг енергії, який можна використати для потреб виробництва або продати в мережу. Сонячна станція має модульність і масштабованість: можна встановити стільки панелей, скільки вміститься, і збільшувати потужність за потреби. Капітальні інвестиції в СЕС окуповуються за рахунок безкоштовного палива – сонця. Також важливо, що обслуговування СЕС відносно просте, а термін служби панелей 25+ років[27].

Вітрова енергетика на маленькій ділянці програє сонячній за сукупністю факторів. Хоча середня швидкість вітру 6–7 м/с на великій висоті, одна невелика турбіна (до 20–30 кВт) не зможе генерувати більше 20–30 МВт · год/рік. Для відчутного збільшення генерації потрібні кілька турбін або одна велика, що неможливо на 0,056 га землі [19]. До того ж, вітроустановки вимагають значних початкових інвестицій. На Львівщині вже працюють промислові ВЕС сумарно десятки МВт, але вони розташовані на великих відкритих територіях, часто на пагорбах. Наш формат майданчика для цього непридатний [17].

Біоенергетика теоретично може дати найбільше енергії (в рази більше за СЕС), але для неї бракує власної сировини. Проект міні-ТЕЦ чи біогазового модуля на привізній біомасі для такої малої потужності економічно сумнівний: потрібно постійно закуповувати паливо, організувати його доставку, зберігання, утилізувати золу чи відходи ферментації. Це суттєво ускладнює експлуатацію та призводить до значних операційних витрат. Біоенергетику доцільно розгортати там, де є надлишок дешевої біомаси (наприклад, біля

лісопилок, агропідприємств, полігонів ТПВ) – тоді вона дає подвійний ефект утилізації відходів і виробництва енергії. На нашій же ділянці таких переваг немає [22].

Мала гідро- та геотермальна енергетика в умовах даної локації практично неможливі. Немає річки, немає геотермального джерела – отже, ці опції відпадають. Можна розглядати хіба що встановлення теплового насосу для економії тепла, але це опосередковано стосується електроспоживання (зменшить навантаження в опалювальний сезон, але не дасть додаткової електричної генерації).

Зведений аналіз показує, що найоптимальнішим рішенням для цієї ділянки є встановлення сонячної електростанції (СЕС). Сонячна енергія – найбільш доступне та просте у впровадженні джерело: ділянка достатньої площі, хороший сонячний ресурс влітку і прийнятний взимку, відсутність рухомих частин та шкідливих викидів. СЕС масштабом десятки кіловат здатна покрити суттєву частку потреб в електроенергії підприємства.

2.2 Потенціал сонячної енергетики для електрозабезпечення споживачів

Львівська область характеризується помірним рівнем сонячної радіації порівняно з південними регіонами України. Середньодобова сумарна сонячна радіація у м. Львів становить близько $2,9 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^2$ на день. За рік на оптимально орієнтовану поверхню це накопичується приблизно $1000\text{--}1100 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^2$ (на південний схил з кутом, близьким до широти місцевості). Такий середньорічний ресурс ($\sim 1,07 \text{ МВт} \cdot \text{год}/\text{м}^2$) дещо менший, ніж у південній частині України (де показник сягає $1300\text{--}1400+$ $\text{кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^2$ за рік), проте все ж є достатньо значним для ефективного використання фотоелектричних станцій. На рис. 2.3 наведено картосхему сонячного ресурсу забезпеченості України, з якої видно, що Львівщина (показник порядку $1100\text{--}1200 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^2$) поступається півдню країни ($\sim 1400 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^2$) [16].



Рисунок 2.3 - Карта середньорічної сумарної сонячної радіації в регіонах України, кВт · год/м² на оптимально орієнтовану поверхню.

Львівська область має показник порядку 1180–1200 кВт · год/м², тоді як максимальні значення на півдні перевищують 1350–1400 кВт · год/м².

Розподіл сонячної енергії протягом року у Львівській області нерівномірний і має виражений сезонний характер. Найвищі рівні інсоляції спостерігаються в літні місяці: у червні-липні середньодобова радіація досягає 4,5–4,8 кВт · год/м²/день (у окремі дні при ясній погоді – ще більше). Навпаки, узимку (грудень-січень) цей показник мінімальний – лише близько 0,8–1,1 кВт · год/м²/день. Таким чином, різниця між літнім піком та зимовим мінімумом сягає понад 4-кратного рівня. В середньому за весняно-літній період один кіловат встановленої сонячної потужності у Львові може генерувати 5–6 кВт · год електроенергії на добу, тоді як восени ця величина знижується до 2,7 кВт · год/доба, а взимку – до 1,1 кВт · год/доба. Подібні сезонні коливання слід враховувати при плануванні електропостачання: влітку потенціал сонячної енергії великий, а взимку – обмежений через короткий світловий день, низький кут сонця та часту хмарність [20].

2.3 Аналіз систем електрозабезпечення на базі сонячної енергетики

У цьому підрозділі розглянуто основні типи сонячних енергетичних систем, що застосовуються для електропостачання споживачів в Україні: мережеві, автономні, гібридні та мікромережі із резервом. Проаналізовано принцип їх роботи, склад обладнання, приклади використання (для домогосподарств, підприємств, об'єктів критичної інфраструктури), а також наведено їхні переваги й недоліки (з точки зору вартості, надійності, масштабованості, автономності). [23].

Мережеві сонячні системи. Мережева сонячна електростанція працює паралельно із загальною енергосистемою (міською мережею). Вона не має акумуляторів і призначена для генерування електроенергії з фотоелектричних модулів у реальному часі з подачею прямо на потреби споживача та в електромережу. Сонячні панелі (фотомодулі), розміщені, як правило, на даху або на землі, виробляють постійний струм. Цей струм надходить на мережевий інвертор, який синхронізується з параметрами централізованої мережі (220/380 В, 50 Гц) і перетворює постійний струм у змінний. Електроенергія з інвертора подається у внутрішню мережу споживача і першочергово живить локальні навантаження. Якщо потужності сонця недостатньо, різниця автоматично добирається з зовнішньої мережі; якщо ж генерація перевищує споживання, надлишок спрямовується через лічильник у загальну електромережу. Таким чином, мережева СЕС дозволяє зменшити відбір електрики із зовнішньої мережі, а надлишкову енергію передавати в мережу. В Україні історично діяла система «зеленого» тарифу, за якою надлишкова електроенергія, віддана в мережу, викупувалася державою за підвищеним тарифом [21]. Це стимулювало розвиток мережевих СЕС у домогосподарствах і на комерційних об'єктах. Склад типової мережевої системи включає: сонячні панелі; мережевий інвертор; двонаправлений лічильник електроенергії (для обліку виробленої та спожитої енергії); комутаційне обладнання та захисну автоматику.

Переваги мережевих систем: низькі початкові витрати, економія на електроенергії, висока ефективність використання енергії, надійність за нормальних умов, масштабованість і гнучкість, низькі витрати експлуатації.

Недоліки мережевих систем: залежність від електромережі, відсутність автономності та накопичення, регуляторні обмеження, відсутність повного контролю над енергопостачанням.

Автономна сонячна система не підключена до централізованої електромережі і, як випливає з назви, призначена для повного забезпечення електроенергією об'єкта, де відсутнє зовнішнє живлення. Вона працює за рахунок власної генеруючої установки (фотомодулів) і накопичувачів енергії, що дозволяють згладжувати добові та погодні коливання генерації. Типова автономна СЕС містить такі основні компоненти: сонячні панелі; контролер заряду батарей; акумуляторні батареї (АКБ) достатньої ємності; автономний інвертор [11]. Протягом світлового дня фотоелектричні панелі виробляють постійний струм, який через контролер заряду заряджає акумулятори. Контролер відстежує рівень заряду, щоб запобігти перезаряду або глибокому розряду батарей, адже це критично для їх довговічності. Електроенергія, накопичена в АКБ через інвертор перетворюється в змінну напругу 220 В для живлення електроприладів споживача. В автономних інверторах часто інтегровано й функції контролера заряду, що спрощує систему. У разі, коли генерація перевищує потреби і батареї вже повністю заряджені, контролер відсікає зайву генерацію (працюючи у режимі холостого ходу або скидаючи енергію на баластове навантаження). Коли ж сонячної енергії недостатньо (ніч, кілька похмурих днів поспіль) – живлення споживачів здійснюється від батарей до їх розряду. Для захисту обладнання автономні системи оснащуються автоматичними вимикачами, запобіжниками, роз'єднувачами і пристроями захисту від перенапруги у розподільчому щиті. Крім того, жодна станція не обходиться без несучої конструкції для панелей, яка забезпечує надійну фіксацію та вентиляцію модулів.

Для забезпечення безперервності живлення в автономних системах часто додають резервний генератор – дизельний або бензиновий. Генератор автоматично запускається при низькому заряді батарей і тривалій відсутності сонця, щоб підживити систему: одночасно живити навантаження і заряджати АКБ. Як правило, потужність генератора підбирається з запасом для покриття максимального навантаження та заряду батарей. Таким чином, в зимовий період або в екстрених ситуаціях паливний генератор слугує останньою лінією резерву енергії.

Переваги автономних систем: енергетична незалежність. Головна перевага – повна незалежність від зовнішньої мережі і електропостачальників. Споживач самостійно виробляє всю необхідну електроенергію, гнучкість у розміщенні, нульові витрати на електроенергію з мережі, Екологічність.

Недоліки автономних систем: висока вартість та довгий період окупності. залежність від погоди та сезону. обмежена потужність і потреба в енергоефективності. Складність і обслуговування. Відсутність підтримки зовнішньої мережі.

Принцип роботи. Гібридна система поєднує можливості мережевої та автономної. Вона підключена до зовнішньої мережі і водночас має власні акумулятори. У нормальному режимі гібридна СЕС працює подібно до мережевої: сонячні панелі забезпечують навантаження, надлишок може йти в мережу. Але на відміну від простої мережевої станції, тут надлишкова енергія в першу чергу спрямовується на заряд акумуляторної батареї. Протягом дня, коли генерація висока, акумулятори накопичують невикористану енергію [12]. Ввечері або вночі ця енергія може бути використана для живлення будинку – таким чином, споживач менше бере з мережі в піковий вечірній час. Якщо ж власний запас в батареях виснажується, система автоматично переходить на живлення від мережі, тобто мережа виконує роль резерву. У випадку повного зникнення напруги в зовнішній мережі (аварія, відключення) гібридна станція здатна працювати в режимі автономного джерела для пріоритетних навантажень: інвертор швидко від'єднується від зовнішньої мережі і перемикає

живлення будинку на батареї та сонячні панелі. По суті, гібридний інвертор виконує функції джерела безперебійного живлення (ДБЖ) для критичних приладів. Відмінністю від чисто автономної системи є те, що в гібридній установці за потреби можна черпати енергію і з зовнішньої мережі – двосторонній інвертор може заряджати батареї від мережі у години дешевих нічних тарифів або просто забезпечувати живлення від мережі при тривалому відсутності сонця. Архітектура гібридних систем може бути різною: постійному струмі (панелі через контролер заряджають батарею на стороні постійного струму, інвертор бере енергію з батареї і мережі) або змінному струмі (панелі працюють через окремий мережевий інвертор, а батарея через інвертор-зарядний пристрій під'єднана до тієї ж внутрішньої мережі) [15]. Сучасні гібридні інвертори часто реалізують усі ці функції в одному блоці, що спрощує установку. Структуру типової гібридної системи показано на рисунку 2.4.



Рисунок 2.4 – Принципова схема гібридної сонячної енергосистеми

Фотомодулі генерують постійний струм, який надходить на гібридний інвертор. Інвертор перетворює енергію на змінний струм для живлення домашніх споживачів та паралельно заряджає акумулятор надлишковою енергією. У світлий час дня навантаження забезпечуються переважно від сонця; якщо виробітку недостатньо – різниця автоматично береться з зовнішньої мережі. При відключенні мережі інвертор миттєво переходить в автономний

режим, продовжуючи жити критичні прилади за рахунок батарей і сонячних панелей.

Переваги гібридних систем: резервне живлення при поломках мережі. максимальне використання сонячної енергії. Економія коштів при диференційованих тарифах (якщо діють двозонні/тризонні тарифи, гібридна СЕС може заряджати батареї дешевою нічною електроенергією і покривати споживання в дорогі денні години), гнучкість джерел живлення, можливість масштабування і модернізації, покращена якість електроенергії. (аккумулятори і інвертор можуть згладжувати перепади напруги, компенсувати короточасні провали живлення [7]. В результаті чутливе обладнання краще захищене від просідань і перенапруги, ніж при прямому живленні від нестабільної мережі.

Недоліки гібридних систем: вищі капітальні витрати, обмежений час автономної роботи, складність системи, необхідність заміни батарей [6].

Мікромережі та системи з резервом принцип роботи. Мікромережа – це локальна електрична мережа, що об'єднує різні джерела генерації, накопичувачі та споживачів на обмеженій території і здатна працювати як у складі зовнішньої енергосистеми, так і автономно (в режимі «острова»). Суть мікромережі – децентралізація: замість одного центрального джерела енергії багато менших генераторів розподілені безпосередньо біля споживачів. Мікромережа може автоматично від'єднуватись від зовнішньої електромережі при її аварійному відключенні і продовжувати жити свої локальні навантаження за рахунок власних ресурсів [2].

Переваги мікромереж: висока стійкість і надійність, локалізоване управління і гнучкість, економія за рахунок зниження втрат і піків, інтеграція відновлюваних джерел енергії, масштабованість і модульність.

Недоліки мікромереж: дуже високі впроваджувальні витрати, складність експлуатації і технологічні ризики, регуляторні та технічні обмеження інтеграції, необхідність надлишкових потужностей.

Таким чином, існують різні підходи до використання сонячної енергії для електропостачання споживачів, кожен з яких має свої особливості. Мережеві

СЕС оптимальні для максимальної економії на електроенергії при наявності стабільної мережі, автономні – для повної незалежності у віддалених місцевостях, гібридні – для збалансування економії та надійності, а мікромережі – як інноваційний шлях підвищення стійкості енергопостачання цілих об'єктів чи громад. Вибір системи залежить від умов та вимог: доступності мережі, допустимого бюджету, критичності безперебійного живлення та бажаного рівня енергетичної автономії. Комплексний аналіз показує, що для умов України з її енергетичними викликами найбільш доцільним рішенням для об'єктів, подібних до досліджуваного, є впровадження саме сонячної електростанції – зокрема, гібридного типу, яка забезпечить як економічний ефект, так і резервування на випадок збоїв мережі [1]. Це узгоджується і з загальносвітовою тенденцією до підвищення частки відновлюваних джерел та децентралізації енергосистем.

3 РОЗРАХУНОК І ВИБІР СОНЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

3.1 Розрахунок потужності підприємства

В даному розділі буде розглянуто розрахунок і вибір сонячних панелей. - Візьмемо сонячну панель TopSo для неї розрахуємо максимальну кількість панелей яку можна розмістити на даху підприємства :

$$S = a * b \quad (3.1)$$

де а - довжина панелі м; b - ширина м

$$S = 2.278 * 1.134 = 2.58 \text{ м}^2$$

Максимальна кількість панелей n_{max} :

$$n_{max} = \frac{S_d}{S} \quad (3.2)$$

де S_d - це площа даху м^2 :

$$n_{max} = \frac{560}{2.58} = 217.05$$

Тепер потрібно розрахувати потужність підприємства щоб дізнатись яка кількість панелей потрібна для ефективного електрозабезпечення.

Таблиця 3.1 - Розрахункова потужність підприємства

№	Обладнання	Кількість	Потужність (Вт/од.)	Сумарна потужність, Вт	Коеф. попиту (Кп)	Фактичне навантаження, Вт
1	Світлодіодні лампи	60	10	600	1	600
2	Принтери	12	100	1200	0,3	360
3	Комп'ютери	16	200	3200	0,8	2560
4	Холодильники	2	150	300	0,3	90
5	Кавоварка	1	1000	1000	0,5	500
6	Кондиціонер	1	1500	1500	0,7	1050
7	Мікрохвильова піч	2	1200	2400	0,3	720
8	Обігрівач	6	2000	12000	0,5	6000
9	Електричний чайник	6	1500	9000	0,2	1800
10	Бойлери	2	2000	4000	0,4	1600
	ЗАГАЛОМ			34200		16280

Вихідні дані споживання електроенергії. На основі наданої таблиці електроспоживання визначено сумарну встановлену потужність обладнання 34,2 кВт та розрахункове фактичне одночасне навантаження близько 16,28 кВт. Додатково оцінено типові добові споживання для кожної групи приладів:

- Освітлення (LED лампи) – 60 ламп по 10 Вт, ~4,8 кВт · год/доба.
- Комп'ютери – 16 шт. по 200 Вт, ~19–20 кВт · год/доба.
- Холодильники – 2 шт. по 150 Вт, ~2,2 кВт · год/доба.
- Принтери – 12 шт. по 100 Вт, ~0,5 кВт · год/доба.
- Кавоварка – 1 шт. 1000 Вт, ~1–1,5 кВт · год/доба.
- Електрочайники – 6 шт. по 1500 Вт, ~2–3 кВт · год/доба.
- Мікрохвильових – 2 шт. по 1200 Вт, ~0,5–1 кВт · год/доба.
- Кондиціонер – 1 шт. 1500 Вт, ~8–9 кВт · год/доба (у літній період).
- Обігрівачі – 6 шт. по 2000 Вт, ~48 кВт · год/доба (у зимовий період).
- Бойлери – 2 шт. по 2000 Вт, ~6–8 кВт · год/доба.

Таблиця – 3.2 Оцінке щомісячне споживання електроенергії

Місяць	Оцінке споживання, кВт · год
Січень	~2250
Лютий	~2040
Березень	~980
Квітень	~950
Травень	~980
Червень	~1130
Липень	~1160
Серпень	~1160
Вересень	~950
Жовтень	~980
Листопад	~2180
Грудень	~2250
Рік	~17 000

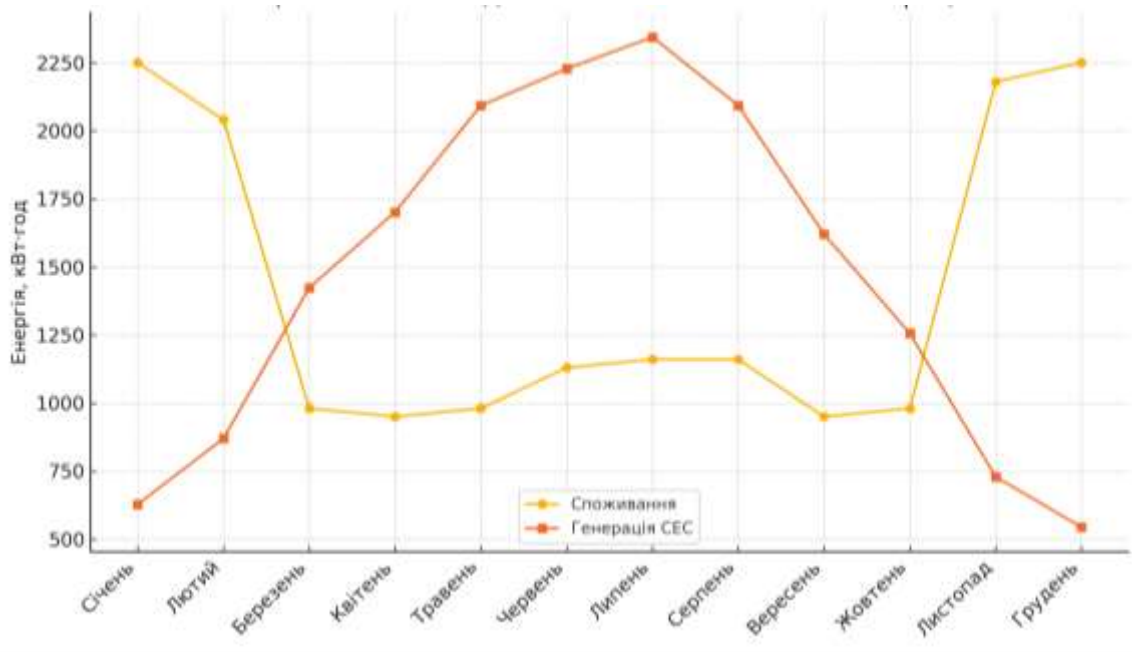


Рисунок 3.1 – Щомісячний баланс енергії

Рекомендована потужність СЕС. Середня річна радіація у Львівській області становить близько 1000–1100 кВт · год на 1 кВт встановлених сонячних панелей. Для покриття річного споживання ~17 000 кВт·год необхідна пікова потужність фотоелектричних модулів приблизно 17–18 кВт. Таким чином, при встановленій піковій потужності $P_{\text{вст}} = 18$ кВт (рекомендовано для покриття ~17 тис. кВт · год річного споживання), очікуваний річний виробіток можна оцінити за формулою:

$$W_{\text{річн}} = P_{\text{вст}} \cdot E_{\text{region}} \quad (3.3)$$

де E_{region} – середнє річне виробіток на 1 кВт (кВт·год/кВт).

Підставляючи дані:

$$W_{\text{річн}} = 18 \cdot 1050 = 18\,900 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

тобто близько 18–19 тис. кВт · год на рік. Цього достатньо, щоб покрити річне споживання об'єкта 17 тис. кВт · год з певним запасом.

Вибір та кількість сонячних панелей. Рекомендуються монокристалічні високоефективні панелі TopSo потужністю 450 Вт. Кількість фотоелектричних панелей визначається з вимоги до сумарної потужності масиву. Формула для розрахунку така:

$$N_{\text{пан}} = P_{\text{вст}} / P_{\text{пан}} \quad (3.4)$$

де $P_{\text{пан}}$ – номінальна потужність однієї панелі.

При $P_{\text{вст}} = 18 \text{ кВт}$, $P_{\text{пан}} = 0.45 \text{ кВт}$ (450 Вт):

$$N_{\text{пан}} = 18 / 0.45 = 40 \text{ шт.}$$

Загальна площа для встановлення панелей (S). $S_{\text{пан}}$ – площа однієї панелі

$$S_{\text{пан}} = a \cdot b$$

де a – ширина панелі ($1,134 \text{ м}^2$), b – довжина панелі ($1,722 \text{ м}^2$)

$$S_{\text{пан}} = 1,134 \cdot 1,722 = 1,95 \text{ м}^2 \quad (3.5)$$

Загальна площа:

$$S = N_{\text{пан}} \times S_{\text{пан}} = 40 \times 1,95 = 78 \text{ м}^2$$

Кут нахилу панелей і його вплив. Для стаціонарних панелей надзвичайно важливим є правильний кут нахилу відносно горизонту. В нашій широті максимально річне вироблення досягається при куті близько $40\text{--}45^\circ$ на південь. Зокрема, розрахунки для Львова дають оптимальний фіксований нахил $\approx 42^\circ$. Це дещо менше за географічну широту (49°), оскільки такий нахил враховує більший внесок літнього сонця. Якщо є можливість сезонно коригувати кут, то доцільно встановлювати панелі більш вертикально взимку ($\approx 60\text{--}65^\circ$) і більш полого влітку ($\approx 30\text{--}35^\circ$) – тоді в кожен сезон панелі будуть ближчі до перпендикулярного положення до сонця. На практиці більшість установок роблять з фіксованим кутом, тому важливо обрати його правильно при монтажі.

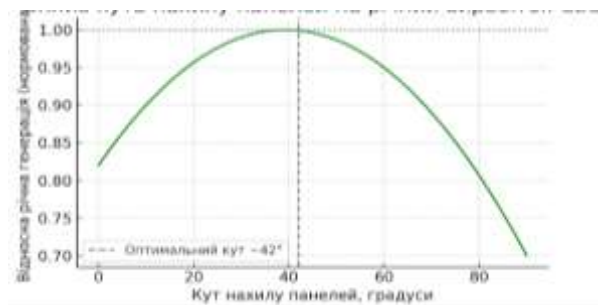


Рисунок 3.2 - Вплив кута нахилу на річний виробіток СЕС

На рисунку проілюстровано відносний річний виробіток СЕС у відсотках від максимального залежно від кута нахилу панелей. Крива має максимум $\sim 100\%$ при куті близько $40\text{--}45^\circ$. Якщо панелі встановити занадто плоско річна

генерація зменшиться до ~80–85% від максимального значення. Навпаки, при надто крутому нахилі (90° – вертикальна стіна) виробіток впаде до ~70% від максимуму. Таким чином, відхилення навіть на $\pm 15\text{--}20^\circ$ від оптимального кута призводить до втрати приблизно 10–15% енергії. Наш об’єкт має плоский дах з кутом близько 0° , що менше оптимального; однак, за рахунок кріплень панелі можуть бути встановлені під кутом 40° . Правильна орієнтація (азимут) теж має значення – ідеально, щоб панелі “дивились” точно на південь (відхилення на схід чи захід на $20\text{--}30^\circ$ знижує річну генерацію на 5–10%) [24].

Таблиця 3.3 – Річна кількість сонячної енергії під різними кутами нахилу

Monthly Averaged Radiation Incident On An Equator-Pointed Tilted Surface (kWh/m ² /day)													
Lat 49 Lon 23	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual Average
SSE HRZ	0	2,8	7,12 5	9,625	12,1	12,5	12,32 5	11,27 5	7,7	4,77 5	2,72 5	2,12 5	7,475
K	1,02 8	1,13 08	1,10 51	1,105 1	1,156 5	1,105 1	1,130 8	1,207 9	1,07 94	0,97 66	0,89 95	0,97 66	1,079 4
Diffu se	1,72 19	1,72 19	4,03 49	5,448 4	6,502 1	6,964 7	6,707 7	5,782 5	4,18 91	2,64 71	1,74 76	1,41 35	4,163 4
Direc t	4,21 48	4,21 48	7,40 16	8,275 4	10,15 15	9,766	9,997 3	10,40 85	7,68 43	5,96 24	3,75 22	3,36 67	7,298 8
Tilt 0	2,69 85	2,69 85	7,24 74	9,843 1	12,49 02	12,90 14	12,72 15	11,53 93	7,78 71	4,78 02	2,80 13	2,13 31	7,658 6
Tilt 34	4,24 05	4,24 05	8,78 94	10,53 7	12,31 03	12,28 46	12,28 46	12,07 9	9,04 64	6,42 5	4,16 34	3,46 95	8,532 4
Tilt 42	4,60 03	4,60 03	8,81 51	10,10 01	11,38 51	11,12 81	11,20 52	11,41 08	8,94 36	6,65 63	4,47 18	3,77 79	8,301 1
Tilt 64	4,72 88	4,72 88	8,42 96	9,226 3	9,997 3	9,791 7	9,766	10,25 43	8,40 39	6,55 35	4,52 32	3,90 64	7,71
Tilt 90	4,34 33	4,34 33	6,88 76	6,913 3	7,067 5	6,733 4	6,861 9	7,401 6	6,63 06	5,62 83	4,11 2	3,64 94	6,039 5
OPT	4,72 88	4,72 88	8,86 65	10,58 84	12,77 29	13,02 99	12,90 14	12,20 75	9,04 64	6,65 63	4,54 89	3,90 64	8,866 5
OPT ANG	164, 48	164, 48	110, 51	69,39	38,55	23,13	30,84	59,11	95,0 9	133, 64	156, 77	169, 62	99,20 2

З цієї таблиці ми бачимо що найвищий показник сонячної енергії знаходиться при куті нахилу панелі 42° . Панелі слід встановити під кутом 42° з орієнтацією на південь.

3.2 Розрахунок потенціалу сонячної енергетики

Сезонний розподіл генерації. Сонячна генерація має виражену сезонність: влітку виробіток максимальний, а взимку мінімальний. У літні місяці тривалість дня більша і Сонце вище над горизонтом, тому щодоби 1 кВт пікової потужності може виробити $\sim 5\text{--}6$ кВт · год електроенергії. Натомість узимку короткий світловий день і низька інсоляція дають лише ~ 1 кВт · год на добу. В середньому 50–60% річної електроенергії генерується у весняно-літній період, тоді як на осінь і зиму припадає лише 40–50% (з них близько 10–15% взимку). У таблиці 3.4 наведено орієнтовний розподіл виробітку за порами року для нашої СЕС 18 кВт.

Таблиця 3.4 – Сезонний розподіл прогнозованої генерації СЕС (18 кВт) у Львівській обл.

Пора року	Місяці	Виробіток, кВт · год	Частка від річного, %
Зима	Грудень–лютий	$\sim 1\,836$	$\sim 7,9\%$
Весна	Березень–травень	$\sim 7\,236$	$\sim 31,0\%$
Літо	Червень–серпень	$\sim 9\,846$	$\sim 42,2\%$
Осінь	Вересень–листопад	$\sim 4\,428$	$\sim 19,0\%$
Рік	(12 місяців)	23 346	100%

Як видно з таблиці, влітку установка 18 кВт виробляє близько 9,8 МВт · год (приблизно 42% річного обсягу), тоді як за всю зиму – лише $\sim 1,8$ МВт · год ($\sim 8\%$). Навесні генерація також висока ($\sim 7,2$ МВт · год за сезон), оскільки сонячна активність вже значна, а тривалість дня зростає. Восени виробіток зменшується порівняно з літом більш ніж удвічі. Ця нерівномірність підтверджує необхідність враховувати накопичення енергії або резервне живлення на зимовий період, якщо станція працює автономно [26].

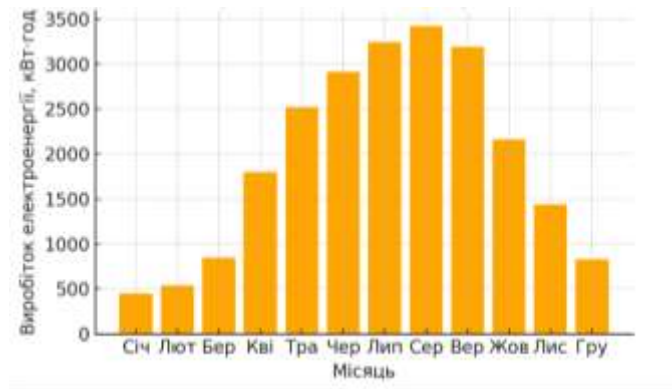


Рисунок 3.3 - Місячна генерація СЕС(18кВт) у Львівській області

На рисунку показано розподіл прогнозованої місячної генерації для 18 кВт СЕС у Львівській області. Видно, що влітку (червень–серпень) досягається найбільший виробіток – до ~3,2–3,4 тис. кВт · год на місяць при піку в липні. Натомість узимку (грудень–лютий) отримуємо лише ~0,45–0,85 тис. кВт · год щомісяця. Навесні спостерігається стрімке зростання генерації з ~1,8 тис. кВт·год у березні до ~2,9 тис. кВт · год у травні. Восени виробіток, навпаки, спадає з ~2,16 тис. кВт · год у вересні до ~0,83 тис. кВт · год у листопаді. Така динаміка обумовлена зміною кута падіння сонячних променів та тривалості дня протягом року.

Розрахунок потенціалу сонячної енергетики базується на середньорічному сонячному ресурсі, доступній площі для встановлення фотоелектричних модулів, їхньому коефіцієнті корисної дії, а також потенційному річному виробітку енергії.

Для даної ділянки у Львівській області, середньорічний рівень сонячної радіації становить близько 1070–1100 кВт · год/м². Площа, придатна для встановлення фотоелектричних панелей, оцінюється як 350–400 м² (дах адміністративної будівлі та інші доступні поверхні). Враховуючи сучасні монокристалічні панелі з ККД близько 20%.

Потенційна встановлена потужність (P_v), кВт:

$$P_v = (S / S_{\pi}) \cdot P_{\pi} \quad (3.7)$$

де: S – площа доступна під панелі, м², S_{π} – площа однієї панелі = 1,6 м², P_{π} – потужність однієї панелі (= 450 Вт).

$$Pv = \frac{350}{1,6} \cdot 450 = 98 \text{ кВт}$$

Потенційний річний виробіток енергії (E), кВт · год:

$$E = Pv \times H \quad (3.8)$$

де H – середньорічна інсоляція на 1 кВт встановленої потужності, ≈ 1100 кВт·год/кВт.

$$E = 98 \times 1100 = 107\,800 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік.}$$

Цей обсяг енергії суттєво перевищує річне споживання адміністративної будівлі підприємства (18 000 кВт · год). Це означає, що технічно потенціал сонячної генерації з обраної площі дозволяє не лише покрити власні потреби, але й генерувати надлишок, який може бути використаний для зарядки акумуляторів або експорту в електромережу.

Для порівняння, якщо встановити лише 18 кВт, очікуваний річний виробіток становитиме:

$$E_1 = 18 \times 1100 = 19\,800 \text{ кВт} \cdot \text{год/рік.}$$

Таким чином, навіть за умови використання лише частини даху, потенціал є достатнім для автономного або гібридного живлення будівлі.

Додатково слід враховувати такі фактори:

- Сезонна змінність виробітку (літній максимум, зимовий мінімум);
- Похибка через забруднення, кут встановлення, старіння панелей (~5–10%);
- Ефективність інвертора (≈ 95 –98%).

З урахуванням цих факторів корисний виробіток від 18 кВт СЕС становитиме близько 18 000–19 000 кВт · год/рік, що повністю покриває потреби будівлі.

З цього можна зробити висновок сонячний потенціал об'єкта дозволяє реалізувати ефективну систему автономного або гібридного електропостачання з можливістю резервування та подальшого розширення

3.3 Вибір типу та обґрунтування параметрів обладнання гібридної сонячної електростанції

Для забезпечення стабільного та енергоефективного електропостачання адміністративної будівлі, гібридна система повинна відповідати ряду технічних і експлуатаційних вимог. Зокрема, система повинна мати здатність:

- покривати основне добове споживання (близько 46–48 кВт · год у звичайний день);
- накопичувати мінімум 35 кВт · год енергії для аварійного живлення;
- бути здатною до розширення та масштабування (наприклад, при підключенні цехового корпусу у майбутньому).

Ключові критерії вибору обладнання:

Сумісність елементів – всі компоненти (інвертор, акумулятори, панелі) повинні підтримувати однакові протоколи зв'язку, захист від зворотного струму, оптимізацію MPPT та підтримку режиму UPS/ДБЖ, це режим, в якому джерело безперебійного живлення переходить на живлення від батареї в разі відсутності або відхилення параметрів електромережі від норми [8].

Модульність – можливість поетапного встановлення (наприклад, початково 18 кВт СЕС і 40 кВт · год накопичувач, з подальшим розширенням до 36 кВт та 100 кВт · год АКБ).

Інтелектуальне керування – наявність хмарної системи моніторингу (наприклад, GoodWe SEMS Portal), яка дозволяє контролювати енергобаланс, споживання, генерацію, стан АКБ та логіку перемикачів [18].

Резервування і безпека – обладнання повинно мати сертифікацію CE, IP65/IP66 для зовнішнього монтажу, захист від короткого замикання, перенапруги, перегріву.

Ефективність системи – вибір панелей з ККД >20%, інвертора з ефективністю >97%, АКБ з глибиною розряду >90% та терміном служби >6000 циклів.

Крім основного обладнання, система повинна включати: автоматичні роз'єднувачі, пристрої захисту від імпульсних перенапруги, дистанційно-керовані контактори для критичних навантажень [14].

Загалом, технічна конфігурація СЕС повинна не лише покривати потреби об'єкта, але й забезпечувати адаптивність до змінних умов споживання, включаючи аварійні ситуації та пікові навантаження.



Рисунок 3.4 – Схема гібридної сонячної електростанції

Опис елементів та потоків енергії:

Сонячні панелі: Перетворюють сонячне випромінювання на постійний струм. Встановлюються з орієнтацією на південь під кутом близько 42° .

Гібридний інвертор: Перетворює постійний струм в змінний, керує зарядом-розрядом АКБ та забезпечує резервне живлення. Підтримує експорт надлишку в мережу [18].

Мережевий лічильник точка підключення: Обліковує двонапрямний потік енергії: імпорт з мережі при дефіциті та експорт надлишку генерації.

Акумулятор Li-ion (LiFePO_4): Зберігає до 40 кВт · год енергії, забезпечуючи 3 - 4 год автономної роботи критичних навантажень.

Щит критичних навантажень: Живить найважливіші споживачі (освітлення, сервери, холодильники) під час відключення мережі.

Гібридний інвертор. Потрібен трифазний гібридний інвертор потужністю 15–20 кВт із вбудованими MPPT-контролерами та підтримкою акумуляторів високої напруги.

Акумуляторна батарея. Для резервного живлення навантаження 16 кВт протягом 5 годин потрібна корисна ємність акумуляторів близько 40 кВт · год.

Таблиця – 3.5 Перелік основного обладнання

Компонент	Характеристики	Кількість / Потужність
Сонячні панелі	Монокристалічні 450–500 Вт, ККД ~20–21%	≈40 шт., 18 кВт
Гібридний інвертор	Трифазний 15–20 кВт, 3 MPPT, UPS	1 шт.
Акумуляторна батарея	LiFePO_4 , HV, корисна ємність 40 кВт · год	Модульна ≈3 модулі по ~28 кВт · год
Система монтажу та захисту	Кріплення, кабелі, SPD, автоматичні вимикачі	Комплект
Контролер заряду	Вбудований у гібридний інвертор	—

На основі проведених розрахунків рекомендовано встановити гібридну сонячну електростанцію потужністю 18 кВт із можливістю часткового резервного живлення. У таблиці наведено перелік комплектуючих для СЕС, підібраних з урахуванням споживання підприємства, умов розташування та технічної доцільності.

Таблиця – 3.6 Рекомендоване обладнання для гібридної сонячної електростанції

№	Компонент	Модель / Тип	Кількість	Основні характеристики
1	Сонячні панелі	JA Solar JAM72S30-450/MR або TopCo 450 Вт	40 шт.	450 Вт, ККД $\approx$ 20,2%, MPPT: $\sim$ 40 В
2	Гібридний інвертор	GoodWe GW15K-ET	1 шт.	15 кВт, 3 MPPT, ККД до 98%, UPS
3	Акумуляторна батарея	LogicPower LP LiFePO4 11.7 кВт	4 шт.	LiFePO ₄ , HV, ємність $\sim$ 82 кВт · год
4	Монтажна система	Алюмінієва конструкція	1 компл.	Під кутом 42°, антикорозійна
	Кабелі та з'єднання	PV1-F + NYY	$\sim$ 200 м	Для пост. та змінного струму
6	Захисне обладнання	Schneider / ABB	Набір	SPD, автомати, роз'єднувачі
7	Лічильник двонапрямний	Eastron SDM630-MCT	1 шт.	Modbus, 3-фазний, імпорт/експорт

Всі компоненти відповідають сучасним вимогам безпеки, енергоефективності та довговічності. Акумуляторна система дозволяє накопичувати енергію для використання у вечірній та аварійний час.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ДОВКІЛЛЯ

Організація безпеки праці й захисту довкілля є обов'язковою складовою будь-якого будівельного проекту. При проектуванні та експлуатації сонячної електростанції необхідно забезпечити безпечні умови праці для персоналу і мінімізувати вплив на довкілля. Згідно із Законом України «Про охорону праці», працівники мають конституційне право на безпечні і здорові умови праці. Закон встановлює обов'язок роботодавця створити на підприємстві систему охорони праці, що включає інструктажі, навчання і необхідні засоби захисту. Для досягнення екологічно безпечного функціонування СЕС застосовується міжнародний стандарт ISO 14001:2015, який задає рамки системи екологічного менеджменту для організацій.

4.1 Основні потенційні небезпеки на робочому місці

Електричне ураження: Сонячна електростанція містить високовольтне обладнання – фотомодулі генерують постійний струм до ~1000 В, а інвертори видають змінний 220В. Недотримання правил електробезпеки під час монтажу чи ремонту може призвести до ураження струмом, опіків і навіть смерті. Неправильне підключення проводів або незахищене заземлення можуть спричинити перегрів і іскроутворення, що підвищує ризик ураження людини струмом.

Перегрів обладнання і опіки: Високі температури під час роботи сонячних панелей і роботи інверторів створюють небезпеку теплових опіків при дотику до гарячих корпусів. Крім того, перегрів електроустаткування може призвести до займання через коротке замикання. Для запобігання цьому необхідно передбачати ефективне охолодження та обмеження навантаження.

Робота на висоті: Часто монтаж та обслуговування панелей проводять на дахах будівель або висотних конструкціях. Працюючи на висоті, працівник ризикує впасти з драбини, кранового майданчика або іншої споруди.

Неналежно обладнані робочі місця на висоті (відсутність поручнів, страхувальних тросів тощо) можуть призвести до травмування.

4.2 Засоби забезпечення безпеки

Захисне заземлення та обладнання: У проекті електрообладнання слід передбачити захисне заземлення металевих конструкцій та корпусів устаткування. Надійне заземлення знижує ризик ураження струмом і захищає від перенапруги. У випадках неправильної електромонтажу, неналежне або відсутнє заземлення може спричинити перегрів проводів і виникнення іскри. Крім того, застосовують захисні автомати та пристрої захисту від грозових перенапруги.

Інформаційні та попереджувальні знаки: На території й у технічних приміщеннях СЕС встановлюють стандартизовані знаки та таблички («Увага! Висока напруга», «Не вмикати – працюють люди» тощо). Це нагадує персоналу про небезпеку і підвищує увагу. Знаки безпеки і бар'єри обмежують доступ неуповноважених осіб до зони високої небезпеки.

Інструктаж і навчання персоналу: Згідно з законодавством, роботодавець має систематично проводити інструктажі з охорони праці і протипожежної безпеки. Працівники повинні знати правила поведінки з обладнанням і аварійного відключення, а також правила надання першої допомоги при ураженні струмом. Навчання забезпечує відповідність робітників єдиним державним нормам і стандартам.

Засоби індивідуального захисту: Працівники зобов'язані використовувати спеціальне екіпірування під час виконання робіт. Для електромонтажних робіт потрібні діелектричні рукавички, ізолюючі килимки, шолом та захисне взуття; для робіт на висоті – страховий пояс, огорожі та надійний рятувальний ремінь. Виконання норм щодо засобів індивідуального захисту сприяє зменшенню ймовірності травм у процесі експлуатації СЕС.

4.3 Протипожежна безпека

Враховуючи наявність електроустаткування, інверторів, щитового обладнання та акумуляторних батарей, виникає потенційна небезпека загоряння внаслідок короткого замикання, перевантаження або неправильного монтажу.

Для зниження ризику пожежі:

усі приміщення з обладнанням мають бути забезпечені вогнегасниками (порошковими типу ВП-5 або вуглекислотними типу ВВК-2); в приміщеннях щитових і акумуляторних має бути змонтована система пожежної сигналізації; забороняється використання легкозаймистих матеріалів у безпосередній близькості до електрообладнання; персонал повинен бути проінструктований на випадок пожежі з відпрацьованим алгоритмом дій.

4.4 Вплив СЕС на довкілля

Сонячна електростанція під час експлуатації є екологічно чистим генератором енергії. По-перше, відсутність шкідливих викидів – СЕС не спалює паливо і не викидає в атмосферу CO_2 , SO_2 , NO_x чи тверді частки. Генерація енергії відбувається через фізичні перетворення без емісії забруднювачів. Це зменшує парниковий слід у порівнянні із традиційними ТЕС/ГЕС.

Низький рівень шуму: Статичне сонячне обладнання майже не видає звуку. Єдиним шумовим джерелом є вентилятори інверторів та зарядних контролерів, які працюють на рівні нижче 40–50 дБ. Наприклад, робота акумуляторної системи СЕС практично безшумна – вона не має гучності, порівняно з дизель-генератором, який створює шум ~80 дБ. Таким чином, шумове навантаження на довкілля при нормальному режимі роботи СЕС мінімальне.

Утилізація акумуляторів: При встановленні резервних систем із акумуляторами слід враховувати їхній вплив після завершення строку служби.

Вживані акумулятори (особливо свинцево-кислотні або літій-іонні) містять токсичні метали. Їхня безпечна утилізація чи переробка регламентується спеціальним законодавством. Згідно із Законом України «Про батареї, батареї і акумулятори», виробники та споживачі зобов'язані організовувати збір і переробку використаних акумуляторів, щоб запобігти забрудненню ґрунтів і води. Відповідальний підхід до утилізації забезпечує дотримання принципів охорони довкілля ISO 14001:2015 та мінімізацію негативного впливу.

4.5 Нормативні документи

Питання охорони праці та довкілля на СЕС регламентуються низкою законодавчих і технічних актів. До основних нормативів належать: Закон України «Про охорону праці» (№ 2694-ХІІ), який визначає права працівників на безпечні умови праці; Державні будівельні норми ДБН В.2.5-23:2010 «Електроустановлення будинків і споруд. Проектування електроустановлення об'єктів цивільного призначення», що встановлюють вимоги до проектування електричних мереж і захисту від ураження; та міжнародний стандарт ISO 14001:2015 «Системи екологічного менеджменту», який задає принципи управління екологічними аспектами на підприємстві. Додержання цих документів та виконання виробничих інструкцій гарантує, що сонячна електростанція буде безпечною для працівників і екологічною щодо навколишнього середовища.

5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗРОБОК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Метою розділу є економічне обґрунтування впровадження гібридної сонячної електростанції (СЕС з акумуляціями) для адміністративної будівлі КП «Служба муніципального управління» ДМР. Для цього проводиться: оцінка капітальних витрат (CAPEX) на обладнання та монтаж, визначення річних амортизаційних відрахувань, розрахунок річного виробітку електроенергії, визначення собівартості виробленої електроенергії, аналіз економії коштів при заміщенні енергії з мережі власною генерацією, розрахунок терміну окупності інвестицій.

Капітальні витрати. Для побудови СЕС розглядаємо такі основні складові: сонячні панелі, гібридні інвертори, акумуляторні батареї, система кріплення та кабелі, монтажні роботи. Нижче наведено орієнтовний розрахунок капітальних витрат (табл. 5.1) для системи потужністю ~20 кВт сонячних панелей.

Таблиця 5.1 – Розрахунок капітальних витрат на обладнання та монтаж СЕС.

№	Найменування обладнання	Кількість	Ціна за одиницю, тис. грн	Загальна вартість, тис. грн
1	Сонячна панель JA Solar JAM72S30-450/MR [29]	40	5.49	219.6
2	Монтажна система [30]	10	5.0	50
3	Акумулятор LogicPower LPM- 51.2V - 230 Ah [31]	4	94.5	378
4	Гібридний інвертор GoodWe GW15K-ET [32]	1	47.0	47
5	Кабелі та з'єднання PV1-F + NYU [33]	1 (200м)	0.037	7.472
6	Захисне обладнання [34]	1	150	150
7	Лічильник двонапрямний Easton SDM630 -MCT [35]	1	6.967	6.967
	Разом			860

У таблиці 5.1 наведено орієнтовні ціни на обладнання. Наприклад, сучасна 450-Вт сонячна панель коштує близько 5 490 грн. Вартість інверторів та батарей взято за даними ринку. Сума капітальних інвестицій на проект складає 860 тис. грн.

Річні амортизаційні відрахування. Відповідно до діючих норм бухгалтерського та податкового обліку, обладнання СЕС зазвичай амортизується протягом ~15 років [5]. Це відповідає річній амортизаційній нормі 6,7 %. Вважаємо лінійну амортизацію без залишкової вартості. Тоді річні амортизаційні відрахування A можна розрахувати як:

$$A = I \cdot K_{\text{амор}} = 860\,000 \times 0,067 \approx 57\,620 \text{ грн.} \quad (5.1)$$

I – вартість всього обладнання (грн); $K_{\text{амор}}$ – вартість амортизації обладнання (%).

Таким чином, щорічно на відрахування з амортизації обладнання виділяється близько 57,62 тис. грн.

Розрахунок річного виробітку електроенергії. Річний виробіток E_p СЕС розраховується за потужністю установки та середнім річним виробітком на одиницю потужності. Вважаємо систему з встановленою потужністю $P = 18$ кВт. З урахуванням українських умов освітленості середній річний вихід складає близько 1100 кВт · год встановленої потужності. Тоді:

$$E_p = P \times P_{\text{ср}} = 18 \times 1100 = 19\,800 \text{ кВт.} \quad (5.2)$$

P – потужність СЕС (кВ); $P_{\text{ср}}$ – потужність середньої річної освітленості (кВ·год).

Собівартість C виробленої сонячної електроенергії визначаємо як відношення річних амортизаційних витрат до річного виробітку:

$$C = \frac{A}{E_p} = \frac{57\,620}{19\,800} = 2,91 \text{ грн/кВт} \cdot \text{год.} \quad (5.3)$$

Тобто одна кіловат-година електроенергії зі СЕС коштує 2,91 грн.

Для комунальних споживачів в Україні вартість електроенергії складає, залежно від умов, від 4,32 до 6,9 грн/кВт · год [10]. Підприємство купляє електроенергію за тарифом $t = 6,9$ грн/кВт · год. Тоді вартість споживаної електроенергії складе:

$$D = E_p \cdot t = 19\,800 \text{ кВт} \cdot \text{год} \times 6,9 \text{ грн/кВт} \cdot \text{год} = 136\,620 \text{ грн/рік.} \quad (5.4)$$

Вартість виробленої електроенергії на СЕС D_B буде становити:

$$D_B = E_p \cdot C = 19\,800 \times 2,91 \text{ грн} = 57\,618 \text{ грн/рік} \quad (5.5)$$

Річний прибуток P від використання отриманої генерації:

$$P = D - D_B = 136\,620 - 57\,618 = 79\,002 \text{ грн/рік.} \quad (5.6)$$

Тобто після врахування амортизаційних витрат система щорічно приносить 79 тис. грн чистої економії.

Термін окупності інвестицій $T_{ок}$ за умовою повного заміщення закупленої електроенергії визначається як відношення капітальних інвестицій до щорічної економії :

$$T_{ок} = \frac{I}{P} = \frac{860\,000}{79\,002} = 10,8 \text{ років.} \quad (5.7)$$

Таким чином, приблизний строк окупності проекту складає близько 11 років. З урахуванням підвищення тарифів та можливих державних стимулів фактичний період окупності може бути ще коротшим.

Проведений економічний аналіз свідчить, що впровадження гібридної сонячної електростанції є економічно ефективним. Капітальні вкладення 860 тис. грн окупляться приблизно за 11 років чистої експлуатації [7]. Собівартість власної сонячної енергії (2,91 грн/кВт·год) суттєво нижча за сучасний тариф (6,9 грн/кВт·год), що забезпечує економію коштів у бюджеті підприємства понад 27 тис. грн щороку. Окрім фінансової вигоди, інвестиція підвищує енергетичну незалежність будівлі та зменшує навантаження на мережу. З огляду на очікуване подальше зростання вартості електроенергії та ресурсну стійкість, реалізація проекту є доцільною.

ВИСНОВКИ

У даній кваліфікаційній роботі було проведено комплексне техніко-економічне обґрунтування впровадження гібридної системи електропостачання на базі сонячної енергетики для адміністративної будівлі комунального підприємства «Служба муніципального управління» Дрогобицької міської ради. Дослідження охопило як аналіз об'єкта споживання, так і розгляд різних типів відновлюваних джерел енергії з урахуванням місцевих кліматичних і географічних умов.

У результаті аналізу встановлено, що середній обсяг річного електроспоживання об'єкта становить 17 000 кВт · год, а максимальне фактичне навантаження — понад 16 кВт. Визначено, що наявні системи електропостачання підприємства повністю залежать від централізованого джерела енергії, що робить його вразливим до відключень. Це створює передумови для впровадження автономної або частково незалежної системи живлення на основі відновлюваних джерел енергії.

На основі всебічного аналізу локального потенціалу ВДЕ (сонячної, вітрової, біоенергетики, малої гідроенергетики, геотермальної енергії) було встановлено, що найбільш доцільним і ефективним джерелом є саме сонячна енергія. Інші джерела, попри наявний потенціал, є або економічно недоцільними (біомаса), або технічно нереалізованими в умовах конкретної ділянки (гідро, геотермальна енергія).

Запропонована система включає фотоелектричні панелі загальною потужністю 18 кВт, гібридний інвертор з функцією ДБЖ, акумуляторну батарею на 80 кВт · год та відповідне захисне й монтажне обладнання. Проведено деталізовані розрахунки щодо кількості панелей, площі їх розміщення, потужності інвертора, обсягів акумуляування енергії, схеми електричних підключень та вибору елементної бази.

Окрему увагу приділено економічному обґрунтуванню проекту. Загальні інвестиційні витрати становлять орієнтовно 860 тис грн. За умови середнього

тарифу 6,9 грн/кВт · год, річна економія складає 79 002 грн. Це забезпечує строк окупності в межах 11 років. При цьому варто враховувати, що зростання тарифів на електроенергію пришвидшить окупність системи. Окрім фінансових вигоди, система дозволяє зменшити викиди CO₂, що є внеском у боротьбу зі змінами клімату та екологічну безпеку.

Загалом, отримані результати свідчать про високу доцільність впровадження гібридної сонячної електростанції в межах комунального підприємства. Запропоноване рішення забезпечує:

- часткову енергетичну незалежність;
- резервне електроживлення критичних споживачів
- довгострокову економію на електроенергії;

Таким чином, обґрунтована в роботі гібридна система є технічно реалістичною, економічно вигідною та екологічно ефективною. Її впровадження має потенціал бути масштабованим прикладом для інших підприємств бюджетної сфери та комунального господарства, які прагнуть оптимізувати енергоспоживання й зменшити залежність від централізованого постачання електроенергії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бойко В. С. Основи електропостачання : підручник. Львів : Новий Світ – 2000, 2020. 356 с.
2. Піскунов В. І. Енергетичні системи та мережі : навч. посіб. Київ : Арістей, 2019. 284 с.
3. Яремчук Р. П. Відновлювана енергетика : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2021. 240 с.
4. Слободян М. П., Григорук О. В. Сонячна енергетика : підручник. Григорук. Київ : Ліра-К, 2018. 312 с.
5. Сидоренко І. М. Економіка енергетики : навч. посіб. Харків : УкрДНТЦ, 2020. 268 с.
6. Гринько В. І. Основи енергетики : навч. посіб. Київ : Центр учбової літератури, 2021. 278 с.
7. Грищенко І. М. Енергетична політика України : навч. посіб. Київ : КНЕУ, 2020. 212 с.
8. Демченко В. І. Основи електротехніки і електроніки. Харків : НТУ «ХП», 2018. 320 с.
9. Ключев В. М. Відновлювані джерела енергії : підручник. Одеса : ОНАХТ, 2019. 350 с.
10. Малащенко С. І. Електропостачання промислових підприємств. Дніпро : НГУ, 2020. 296 с.
11. Сімонова І. В. Енергоефективність і енергозбереження : навч. посіб. Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2021. 244 с.
12. О.В. Остапчук, П.Л. Денисюк, Ю.П. Матеєнко Електричні станції та підстанції : навч. посіб. Київ : Каравела, 2019. 265 с.
13. Савощенко О. О. Альтернативна енергетика : навч. посіб. Полтава : ПНТУ, 2020. 272 с.
14. Ігнатенко І. І. Електричні мережі та системи. Вінниця : ВНТУ, 2018. 310 с.

15. Коваленко А. П. Енергозбереження в електроенергетиці : навч. посіб. Київ : НаУКМА, 2021. 230 с.
16. Паламарчук О. І. Сонячна енергетика : теорія і практика. Херсон : ХДАУ, 2020. 198 с.
17. Шевченко О. Л. Вітроенергетика : навч. посіб. Суми : СНАУ, 2019. 214 с.
18. Черевко О. М. Енергетичне обладнання : довідник. Київ : Лібра, 2022. 352 с.
19. Гуменюк В. А. Автоматизація енергетичних процесів. Тернопіль : ТНТУ, 2018. 278 с.
20. Міністерство освіти і науки України. Концепція розвитку відновлюваної енергетики в Україні. – Київ, 2020. 40 с.
21. Закон України «Про альтернативні джерела енергії» : № 555-IV від 20.02.2003 . URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15> (дата звернення: 12.04.2025)
22. Біоенергетична асоціація України. Аналітичні огляди та статистика . URL: <https://uabio.org> (дата звернення: 28.03.2025)
23. Міністерство енергетики України. Офіційний сайт . URL: <https://mev.gov.ua/> (дата звернення: 30.03.2025)
24. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України . URL: <https://saee.gov.ua> (дата звернення: 24.03.2025)
25. ДСТУ 7788:2015. Відновлювана енергетика. Терміни та визначення понять . URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=67662 (дата звернення: 09.03.2025)
26. Кабінет Міністрів України. Національний план дій з відновлюваної енергетики до 2030 року . URL: <https://www.kmu.gov.ua> (дата звернення: 20.03.2025)
27. Урядовий портал. Стан та перспективи розвитку сонячної енергетики в Україні . URL: <https://www.kmu.gov.ua> (дата звернення: 06.03.2025)
28. Енергетичне співтовариство. Офіційна статистика щодо розвитку ВДЕ в Україні . URL: <https://www.energy-community.org> (дата звернення: 02.03.2025).

29. Сонячна панель Jinko Solar JKM545M-72HL4-V. – Режим доступу: <https://www.solar-ukraine.com.ua/product/sonjachna-panel-jinko-solar-jkm545m-72hl4-v/> (дата звернення: 16.04.2025).
30. Акумуляторна батарея LogicPower LPM-Li 48V 200Ah. – Режим доступу: <https://logicpower.ua/catalog/akkumulyatory/litievye-akkumulyatory/lpm-li-48v-200ah.html> (дата звернення: 26.04.2025).
31. Монтажна система для плоских дахів SRS-F. – Режим доступу: <https://solarssk.com/uk/solar-roof-mounting-systems/mount-system-for-flat-roofs-srs-f> (дата звернення: 26.04.2025).
32. Гібридний інвертор 15 кВт, 48 В, 3-фазний GoodWe GW15K-ET. – Режим доступу: <https://elkopower.com.ua/kataloh/hibrydni-invertory/hibrydnyj-invertor-15-kvt-48-v-3-kh-faznyj-goodwe-gw15k-et> (дата звернення: 26.04.2025).
33. Кабель SOLAR PV1-F 1×4 мм². – Режим доступу: <https://cable-ok.com.ua/ua/kabel-solar-pv1-f-1kh4-mm> (дата звернення: 26.04.2025).
34. Комплект захисту Schneider Electric для СЕС. – Режим доступу: <https://elmar.com.ua/nva-obladnannya/obladnannya-zahistu-schneider-electric> (дата звернення: 26.04.2025).
35. Лічильник електроенергії SMART трифазний. – Режим доступу: <https://isolar.km.ua/p2511750519-schyotchik-elektroenergii-smart.html?> (дата звернення: 26.04.2025).
36. Гібридні сонячні електростанції: принцип роботи, переваги, вартість // Ecotech Ukraine. – Режим доступу: <https://www.ecotech.ua/gibrydni-sonyachni-elektrostantsiyi-vse-shho-potribno-znaty/> (дата звернення: 30.04.2025).