

Міністерство освіти і науки України
Одеський національний технологічний університет
Інститут: Навчально-науковий інститут комп'ютерної інженерії,
автоматизації, робототехніки та програмування ім. П.М. Платонова
Кафедра автоматизація технологічних електромеханічних і
робототехнічних систем



ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ БАКАЛАВРА
на тему «Застосування альтернативних джерел виробництв
енергії для невеликого селища»

Здобувач: Швець Максим Олександрович

4 курсу групи АЕМ-40

Керівник: Шейда Голбад К.А. д.ф.т.н., доцент

Кваліфікаційна робота допускається до захисту

Рішення кафедри від 16.06.2026р., протокол № 8.

В.о. завідувача кафедри АТЕіРС _____ Олексій ЖИГАЙЛО

Одеса – 2026

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут: Навчально-науковий інститут комп'ютерної інженерії,
автоматизації, робототехніки та програмування ім. П.М. Платонова

Кафедра: автоматизації технологічних електромеханічних і
робототехнічних систем

Освітньо-кваліфікаційний рівень: бакалавр

Галузь знань: 141 – Електрична інженерія

«ЗАТВЕРДЖУЮ»
Зав. кафедри ЕтаМ
д.т.н, проф. Петро Осадчук

«__» _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА Швець Максима Олександровича

1. Тема роботи: «Застосування альтернативних джерел виробництва енергії для невеликого селища».

Керівник роботи: Шейда Голбад Камбіз Ахмадович, д.ф.т.н., доцент.

2. Затверджено наказом ОНТУ № 58-03 від 30.01.2025 р.

Строк подання студентом роботи 12.06.2026р.

3. Вихідні дані до роботи: Застосування альтернативних джерел виробництва енергії для невеликого селища.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки: розгляд застосування альтернативних джерел виробництва енергії для забезпечення енергетичних потреб невеликого селища. У роботі розглянуто основні види відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячну, вітрову та їх комбіновані системи.

5. Перелік демонстраційного матеріалу. Слайди презентації: 1. Актуальність теми. 2. Застосування відновлюваних джерел енергії в Україні. 3. Принцип дії фотоелектричні системи. 4. Схема гібридної сонячно-вітрової-дизель-акумуляторної системи живлення. 5. Структурна схема електропостачання села. 6. Добовий графік споживання електроенергії приватного будинку. 7. Розрахунок енергії постійного струму. 8. Технічні характеристики сонячної панелі Longi Solar 450. 9. Розрахунок вітроенергетичної установки. 10. Трифазний інвертор на 100 кВт HUAWEI SUN2000-115KTL-M2. 11. Паспортні дані обраного трифазного перетворювача частоти фірми SCHNEIDER ELERNHIC ATV650 90кВт. 12. Електрична інвертора huawei sun2000-115ktl-m2. 13. Принципова схема HUAWEI SUN2000-115KTL-M2. 14. Технічні характеристики гелевої свинцево-кислотної фкумуляторної батареї HEGEL GEL 200-12 12V 200Ah. 15. Схема сонячно-акумуляторної системи живлення. 16. Технічні характеристики TRACER 4210AN – EPEVER. 17. Характеристики потужності та напруги сонячних панелей

при різних температурах та освітленні. 18. Схема імітаційної модель сонячної панелі у програми MATLAB Simulink. 19

6. Консультанти розділів дипломної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1. Аналіз літературних джерел	Шейда Голбад К. А.,доцент		
2. Вибір електроприводу	Шейда Голбад К. А.,доцент		
3. Визначення параметрів апаратури управління	Шейда Голбад К. А.,доцент		
4. Економічна обґрунтованість	Шейда Голбад К. А.,доцент		
5. Охорона праці	Шейда Голбад К. А.,доцент		

7.Дата видачі завдання: «02» лютого 2026р.

Керівник _____ Шейда Голбад К.А.

Завдання до виконання прийняв _____ Швець М. О.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи магістра	Строк виконання етапів	Примітка
1	Вступ Актуальність теми.Мета і завдання роботи.Об'єкт і предмет дослідження.	10.02.2026.	
2	Огляд літератури і аналіз існуючих систем. Розрахунок генерації електроенергії.	27.02.2026.	
4	Проектування фотоелектричної установки для селища. Розрахунок енергії постійного струму	20.03.2026.	
5	Розробка математичних моделей системи	14.04.2026	
6	Розрахунок економічної доцільності і ефективності.	08.05.2026	
7	Охорона праці та безпека життєдіяльності. Висновки роботи.	28.05.2026	
8	Перевірка роботи на доброчесність	12.06.2026	
9	Попередній перегляд кваліфікаційної роботи	06.06.2026	
10	Захист кваліфікаційної роботи магістра	25.06.2026	

Здобувач-дипломник _____ Швець М.О.

Керівник роботи _____ Шейда Голбад К.А.

Несу відповідальність за ідентичність електронного та друкованого варіантів кваліфікаційної роботи, даю згоду на обробку персональних даних та не заперечую проти розміщення кваліфікаційної роботи на офіційних веб-ресурсах ОНТУ.

Підтверджую, що в кваліфікаційній роботі відсутні порушення норм академічної

Здобувач-дипломник _____ Швець М.О.

РЕФЕРАТ

Дипломна робота присвячена дослідженню застосування альтернативних джерел виробництва енергії для забезпечення енергетичних потреб невеликого селища. У роботі розглянуто основні види відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячну, вітрову та їх комбіновані системи. Проведено аналіз доцільності впровадження енергетичних установок типу «сонце–вітер» для умов невеликого селища з урахуванням кліматичних особливостей регіону, графіків енергоспоживання та доступності ресурсів.

Особливу увагу приділено питанням енергетичної ефективності, стабільності електропостачання та інтеграції альтернативних джерел у локальні електричні мережі. Розглянуто принципи роботи сонячних фотоелектричних систем, вітроелектричних установок, систем накопичення енергії та їх спільного функціонування в автономному режимі. У межах роботи виконано порівняльний аналіз традиційних і альтернативних джерел енергії, визначено переваги та недоліки кожного з варіантів. Запропоновано концепцію енергозабезпечення невеликого селища на основі гібридної енергетичної системи з використанням відновлюваних джерел.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: альтернативна енергетика, сонячна енергія, вітрова енергія, гібридна енергосистема, автономна електростанція.

ABSTRACT

The thesis is devoted to the study of the application of alternative energy sources for meeting the energy needs of a small settlement. The work considers the main types of renewable energy sources, in particular solar and wind energy, as well as their combined systems. An analysis is carried out on the feasibility of implementing hybrid energy installations of the “solar–wind” type for the conditions of a small settlement, taking into account regional climatic features, energy consumption patterns, and resource availability.

Special attention is given to issues of energy efficiency, stability of power supply, and the integration of alternative energy sources into local electrical grids. The principles of operation of solar photovoltaic systems, wind power plants, energy storage systems, and their joint operation in autonomous mode are considered.

Within the scope of the study, a comparative analysis of traditional and alternative energy sources is performed, and the advantages and disadvantages of each option are identified. A concept for the energy supply of a small settlement based on a hybrid energy system using renewable energy sources is proposed.

KEYWORDS: alternative energy, solar energy, wind energy, hybrid energy system, autonomous power plant.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1.АНАЛІЗ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	10
1.1 Загальні відомості про відновлювану енергетику	10
1.2 Застосування поновлюваних джерел енергії в Україні	11
1.3 Вітроенергетична установка	15
1.4 Фотоелектричні системи	20
1.5 Гібридна вітросонячна електроустановка	24
РОЗДІЛ 2. ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ СЕЛИЩА З ВИКОРИСТАННЯМ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛАХ ЕНЕРГІЇ	29
2.1 Характеристика селища.....	29
2.2. Електропостачання селища.....	31
2.4 Живлення від фотоелектричної системи	34
2.5 Розрахунок вітроенергетичної установки	37
2.6 Вибір інвертора	40
2.7 Вибір акумуляторних батарей	46
2.8 Зарядний пристрої (контролер)	53
РОЗДІЛ 3. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ	57
3.1 Математична модель системи електропостачання приватного будинку із застосуванням сонячних панелей.....	57
3.2 Імітаційне моделювання автономної сонячної електростанції	61
РОЗДІЛ 4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК	67
4.1 Розрахунок капітальних витрат	67
4.2 Розрахунок експлуатаційних витрат	68
4.3 Розрахунок річного фонду заробітної плати	69
4.4 Річні витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт.....	70

					КРБ.АТЕіРС.1.58-03.3.4								
Зм.	АРК.	№ документа	Підпис	Дата	Застосування альтернативних джерел виробництва енергії для невеликого селища				Літера	Аркуш	Аркушів		
Розробив	Швець М.О.								у		5	78	
Керівник	Шейда Голбад К.А.												
Реценз.													
Зав. кафедр	Жигайло О.М.								ОНТУ Гр, АЕМм-40				

4.5 Річна економія електроенергії.....	71
Добове споживання всього села	71
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ	73
5.1 Загальні положення.....	73
5.2 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів.....	73
4.3 Заходи електробезпеки	74
4.4 Пожежна безпека	74
4.5 Вимоги безпеки під час монтажу та експлуатації	75
ВИСНОВКИ.....	76

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку світової економіки енергетика відіграє визначальну роль у забезпеченні стабільності держав, функціонуванні промисловості, транспорту, соціальної сфери та побуту населення. Проте традиційна модель енергоспоживання, що базується на використанні викопних видів палива — вугілля, нафти та природного газу — супроводжується низкою серйозних проблем. Серед них — обмеженість ресурсів, постійне зростання їх вартості, а також значний негативний вплив на довкілля, включаючи викиди парникових газів, забруднення повітря та зміну клімату.

Особливо гостро проблема енергозабезпечення постає для України. В умовах економічних викликів, енергетичної залежності від імпорتنих ресурсів та пошкодження енергетичної інфраструктури, питання пошуку альтернативних джерел енергії набуває стратегічного значення. Дефіцит енергоресурсів, нестабільність постачання та підвищення тарифів змушують шукати нові, більш ефективні та доступні способи забезпечення енергетичних потреб як на державному, так і на локальному рівнях.

Для невеликих населених пунктів, зокрема селищ, ці проблеми мають ще більш виражений характер. Значні втрати при транспортуванні електроенергії, зношеність обладнання та інфраструктури створюють необхідність впровадження автономних або частково автономних систем енергозабезпечення. У цьому контексті альтернативні джерела енергії виступають як один із найбільш перспективних напрямів вирішення зазначених проблем.

Альтернативна енергетика базується на використанні відновлюваних природних ресурсів, таких як сонячна радіація, енергія вітру, води, біомаси та геотермальних джерел. Головною їх перевагою є практична невичерпність та екологічна безпечність. Водночас важливим аспектом є їх економічна ефективність у довгостроковій перспективі. Незважаючи на

відносно високі початкові інвестиції, витрати на експлуатацію таких систем є значно нижчими, ніж у традиційній енергетиці, оскільки відсутня потреба у постійному придбанні палива.

Для невеликих селищ найбільш доцільним є застосування комбінованих (гібридних) систем енергопостачання, які поєднують декілька видів джерел енергопостачання. Такий підхід дозволяє підвищити надійність системи, забезпечити безперервність енергопостачання та компенсувати нестабільність окремих джерел, зокрема залежність від погодних умов. Додаткове використання систем накопичення енергії (акумуляторів) підвищує ефективність використання виробленої електроенергії та забезпечує її доступність у періоди пікового навантаження.

Актуальність теми зумовлена необхідністю вирішення проблем енергетичної незалежності, підвищення ефективності використання енергоресурсів та забезпечення сталого розвитку невеликих населених пунктів України. Впровадження альтернативних джерел енергії сприяє не лише зменшенню витрат на енергопостачання, але й створенню нових можливостей для розвитку місцевих громад, підвищенню рівня їх автономності та екологічної безпеки.

Метою роботи є дослідження ефективності застосування альтернативних джерел енергії для забезпечення потреб невеликого селища в умовах України.

Об'єктом дослідження є система енергозабезпечення невеликого селища.

Предметом дослідження є процес виробництва електричної енергії за допомогою комбінованих (гібридних) систем енергопостачання.

Методи дослідження. У роботі використано комплекс загальнонаукових та спеціальних методів дослідження, зокрема аналіз і узагальнення науково-технічної літератури, порівняльний аналіз різних джерел енергії та обґрунтування доцільності використання сонячних

					КРБ.АТЕіРС.1.58-03.3.4	Арк
						8
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

фотоелементів, розрахунковий метод для визначення потужності, виробітку електроенергії та оцінки ефективності роботи комбінованих (гібридних) систем енергопостачання, метод математичного моделювання — для дослідження режимів роботи гібридної енергосистеми та прогнозування її функціонування в різних умовах, економічний аналіз — для оцінки витрат на впровадження, терміну окупності та економічної доцільності використання сонячних фотоелементів.

Застосування зазначених методів дозволяє всебічно оцінити ефективність використання сонячних фотоелементів та обґрунтувати їх доцільність для енергозабезпечення невеликого селища.

Наукова та практична новизна одержаних результатів. Наукова новизна отриманих результатів полягає у комплексному дослідженні ефективності застосування комбінованих (гібридних) систем енергопостачання для енергозабезпечення невеликого селища з урахуванням кліматичних та економічних умов України. У роботі удосконалено підхід до оцінки енергетичної ефективності шляхом поєднання сонячної та вітрової генерації, що дозволяє зменшити вплив нестабільності окремих джерел енергії та підвищити надійність енергопостачання.

Практична новизна полягає у розробці рекомендацій щодо впровадження альтернативних систем енергопостачання для забезпечення електроенергією невеликого селища.

Отримані результати можуть бути використані при проєктуванні автономних або частково автономних систем енергозабезпечення, розробці енергетичних стратегій розвитку територіальних громад, а також у практичній діяльності підприємств.

РОЗДІЛ 1.АНАЛІЗ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1.1 Загальні відомості про відновлювану енергетику

Відновлювана енергетика — це галузь енергетики, що базується на використанні природних джерел енергії, які постійно відновлюються в природі та є практично невичерпними в масштабах людської діяльності. До основних видів відновлюваних джерел енергії належать сонячна, вітрова, гідроенергетика, геотермальна енергія, а також енергія біомаси.

Відновлювана енергетика допомагає у вирішенні таких проблем, як дефіцит викопного палива, вичерпання ресурсів планети, екологічні витрати, зміна клімату.

Головною особливістю відновлюваних джерел є їх екологічна чистота та мінімальний вплив на навколишнє середовище порівняно з традиційними видами палива, такими як вугілля, нафта та природний газ. Використання відновлюваної енергії дозволяє значно зменшити викиди парникових газів, що є важливим фактором у боротьбі зі змінами клімату.

Сонячна енергетика базується на перетворенні енергії сонячного випромінювання в електричну або теплову енергію за допомогою фотоелектричних панелей або сонячних колекторів. Вітрова енергетика використовує кінетичну енергію руху повітряних мас для виробництва електроенергії за допомогою вітрових турбін. Гідроенергетика ґрунтується на використанні енергії водного потоку, а біоенергетика — на переробці органічної сировини.

У сучасних умовах відновлювана енергетика набуває все більшого значення у світовому енергетичному балансі. Це пов'язано зі зростанням вартості традиційних енергоресурсів, обмеженістю їх запасів та необхідністю забезпечення енергетичної безпеки держав. Особливо актуальним є впровадження відновлюваних джерел енергії для віддалених або невеликих населених пунктів, де підключення до централізованих електромереж є економічно недоцільним або технічно складним.

					КРБ.АТЕіРС.1.58-03.3.4	Арк
						10
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

Крім того, розвиток технологій накопичення енергії та систем керування енергоспоживанням дозволяє підвищити ефективність використання відновлюваних джерел та забезпечити стабільність електропостачання навіть при змінних природних умовах.

1.2 Застосування поновлюваних джерел енергії в Україні

Поновлювані джерела енергії (ПДЕ) в Україні набувають стратегічного значення у процесі формування енергетичної незалежності держави, підвищення стійкості енергосистеми та зменшення залежності від викопного палива. Особливо актуальним є їх застосування в умовах децентралізації енергетики та розвитку локальних енергетичних систем для невеликих населених пунктів.

Станом на 2025 рік частка відновлюваних джерел енергії в структурі електроспоживання України становить приблизно 10–11% (без урахування великої гідроенергетики — показник може бути вищим).

Річні досяжні обсяги заощадження традиційних паливно-енергетичних ресурсів в Україні до 2030р.

Таблиця 1.1

Напрямок розвитку ВДЕ	Річні обсяги заміщення ПЕР (млн. т у.п.)			
	2015	2020	2025	2030
Вітроенергетика	5,04	13,56	17,28	28,0
Сонячна енергетика	0,77	2,45	3,7	6,02
Мала гідроенергетика	0,11	0,61	1,52	2,98
Біоенергетика	2,35	13,56	19,09	31,02
Геотермальна енергетика	0,27	1,58	4,87	12,0
Енергетика довкілля	2,13	4,8	7,53	18,0
Всього млн. т у.п. або млрд. м ³ природного газу	10,7 9,2	36,6 31,5	54,0 46,5	98,0 84,4

Найбільшу частку займає гідроенергетика — приблизно 60–65% від загального обсягу виробництва з відновлюваних джерел. Це пояснюється стабільною роботою гідроелектростанцій та їх значною встановленою потужністю.

Друге місце посідає сонячна енергетика, частка якої становить близько 20–25%. Її розвиток в Україні активно зростає завдяки сприятливим кліматичним умовам та поширенню приватних і промислових сонячних електростанцій.

Вітрова енергетика забезпечує приблизно 10–15% виробництва з відновлюваних джерел. Вона найбільш розвинена у південних регіонах країни, де спостерігаються стабільні вітрові потоки.

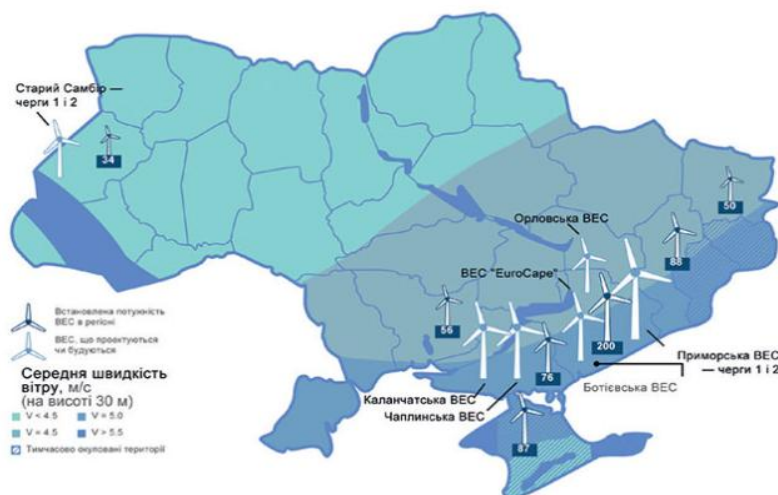


Рис.1.1 Розташування вітрових генеруючих потужностей в Україні та вітровий потенціал

Найменшу частку займає біоенергетика — близько 3–5%, однак вона має значний потенціал розвитку, особливо в аграрних регіонах України, завдяки великій кількості органічних відходів та біомаси.

Гідроенергетика традиційно є основою відновлюваної енергетики України. Великі та малі ГЕС забезпечують стабільну генерацію та виконують функцію балансування енергосистеми. Основними перевагами є

- висока стабільність виробництва;

- можливість регулювання навантаження;
- довгий термін експлуатації.

Однак, гідроенергетика також має ряд суттєвих недоліків:

- залежність від водних ресурсів;
- екологічний вплив на екосистеми річок.

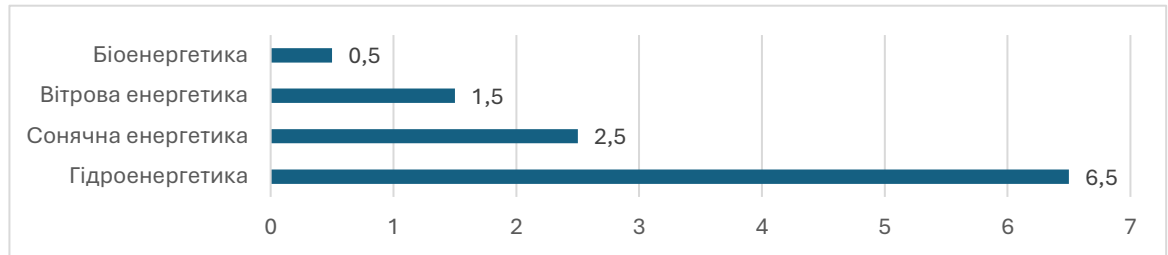


Рис. 1.2 Структура виробництва електроенергії з ВДЕ в Україні (статистичні дані за 2025 р.)

Україна має високий рівень сонячної інсоляції — в середньому 1100–1500 кВт·год/м² на рік, що робить більшість регіонів придатними для розвитку фотоелектричних систем. Сонячна енергетика в Україні активно розвивається у двох напрямках:

- промислові СЕС (сонячні електростанції),
- домашні та локальні СЕС (5–30 кВт для домогосподарств і малих об'єктів).

Перевагами СЕС є низькі експлуатаційні витрати, швидке встановлення, масштабованість, можливість автономної роботи.

Наша країна також має значний вітровий потенціал, особливо у прибережних та степових регіонах. Середня швидкість вітру в південних і південно-східних областях перевищує 7 м/с, що є достатнім для ефективної роботи ВЕС. У 2025 році спостерігається відновлення розвитку галузі: за оцінками експертів, темпи введення нових потужностей перевищили показники попередніх років, що свідчить про поступове відновлення інвестиційної активності.

завдяки розвиненому аграрному сектору біоенергетика в Україні має значний потенціал. Основними ресурсами є:

- сільськогосподарські відходи;
- деревна біомаса;
- енергетичні культури.

Вона особливо ефективна для невеликих населених пунктів, фермерських господарств, де може використовуватись для теплопостачання та виробництва електроенергії.

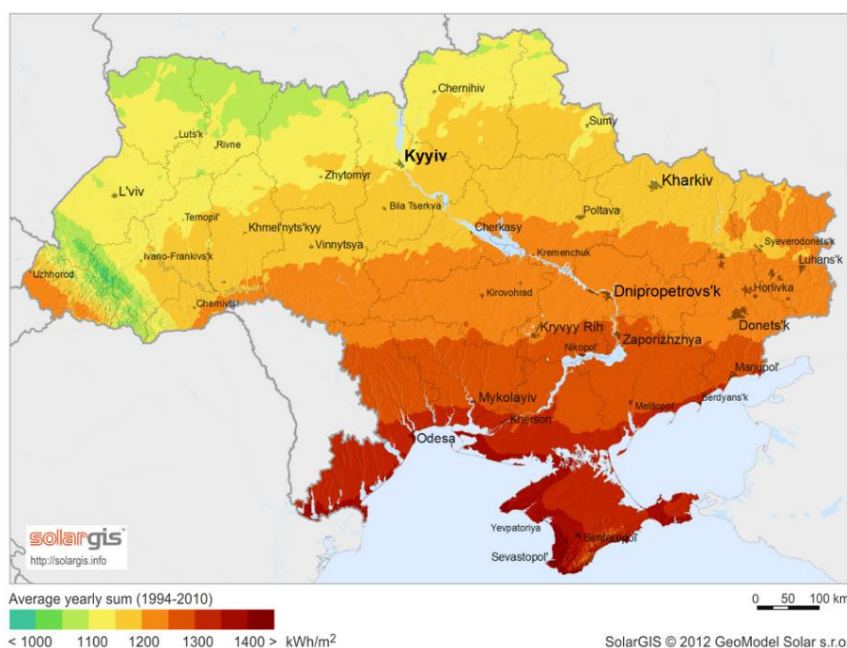


Рис.1.3 Карта сонячного випромінювання в Україні

Використання лише одного типу установки відновлюваної енергетики, зокрема сонячних фотоелементів, не завжди є достатньо ефективним для забезпечення стабільного енергопостачання. Це пояснюється тим, що процес генерації електроенергії має виражену залежність від зовнішніх природних факторів. У випадку сонячних панелей виробництво електроенергії можливе лише у світлий час доби та значно знижується за умов хмарності, опадів або в зимовий період, коли тривалість дня є меншою.

У результаті виникають періоди дефіциту електроенергії, особливо у вечірній час, коли споживання, навпаки, зростає. Це потребує або значного збільшення ємності акумуляторних батарей, що підвищує вартість системи, або використання резервних джерел живлення.

Таким чином, застосування лише однієї установки не забезпечує достатнього рівня надійності та безперервності енергопостачання. Саме тому при проектуванні систем енергозабезпечення необхідно враховувати нерівномірність генерації та передбачати способи компенсації цих коливань, зокрема за рахунок накопичення енергії або комбінування різних джерел

Спільне застосування фотоелектричних модулів і вітроенергетичних установок належить до найбільш перспективних напрямів розвитку відновлюваної енергетики, оскільки ці джерела характеризуються взаємодоповнюючими режимами генерації електроенергії. Гібридні енергетичні системи, що поєднують два або більше типів генеруючих установок, дозволяють ефективно вирішувати проблему нестабільності енергопостачання та суттєво підвищують надійність роботи енергосистеми.

У світовій практиці спостерігається стале зростання частки використання як сонячної, так і вітрової енергії, що підтверджується відповідними статистичними даними. Завдяки впливу погодних і кліматичних факторів виробництво електроенергії цими джерелами має взаємокомпенсуючий характер — як упродовж доби, так і в різні пори року, що забезпечує більш рівномірне енергопостачання.

1.3 Вітроенергетична установка

Вітер є одним із найпотужніших природних джерел енергії, яке людство використовує протягом багатьох століть. За орієнтовними оцінками, енергія, що безперервно надходить від Сонця, відповідає сумарній потужності понад 10^{11} ГВт. Це забезпечує потенційну річну

генерацію електроенергії вітроенергетичними установками на рівні $1,18 \cdot 10^{13}$ кВт·год, що значно перевищує сучасний рівень світового енергоспоживання [3].

Основним параметром, який визначає енергетичний потенціал вітру, є швидкість повітряного потоку. Під впливом різноманітних метеорологічних чинників, таких як атмосферні збурення, зміни сонячної активності, нерівномірний розподіл теплової енергії, що надходить на поверхню Землі, а також особливостей рельєфу місцевості, швидкість і напрямок вітру постійно змінюються випадковим чином. У зв'язку з цим потужність, яку виробляє вітроенергетична установка в різні моменти часу, складно прогнозувати з високою точністю. Водночас сумарний обсяг виробленої енергії за тривалий період, наприклад за сезон або рік, може бути визначений із достатньо високою достовірністю, оскільки середня швидкість вітру та статистичний розподіл швидкостей протягом року змінюються незначно [6].

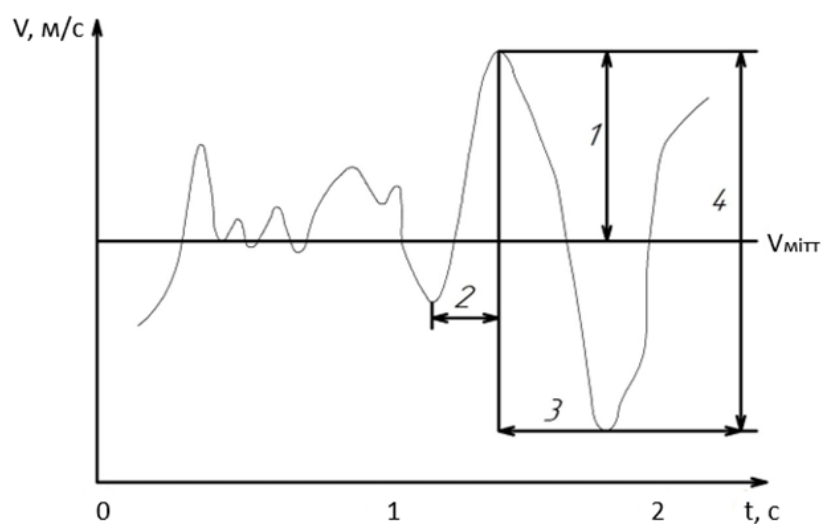


Рис. 1.4 Схема формування пориву вітру

1 – амплітуда пориву, 2 – час формування пориву, 3 – час падіння швидкості, 4 – максимальна величина зміни швидкості вітру

Вітер являє собою складний геофізичний процес, прогнозування якого можливе лише з певною ймовірністю. На рисунку 1.4 наведено приклад

формування пориву вітру. Амплітуда пориву 1 протягом 0,3–0,35 с, тобто за час утворення пориву 2, досягла максимального значення, яке у два рази перевищує середню миттєву швидкість $V_{\text{міт}}$, визначену за інтервал 3 с. Час затухання пориву був приблизно однаковим із часом його формування, а максимальна зміна швидкості 4 більш ніж удвічі перевищила амплітуду 1.

Розрахунок і проектування вітродвигуна виконуються з урахуванням законів аеродинаміки. У сфері вітроенергетики аеродинаміка досліджує роботу вітроколеса та інших елементів вітродвигуна під впливом повітряного потоку, який характеризується певними значеннями швидкості та тиску [9].

Процес взаємодії між вітродвигуном і вітровим потоком є досить складним, оскільки потік повітря має неоднорідну структуру навіть у межах невеликого перерізу: швидкість повітря в різних точках відрізняється, пориви вітру зміщені за фазою один відносно одного, а вектор швидкості постійно змінюється як за величиною, так і за напрямком [4].

Повітряний потік, подібно до будь-якого рухомого тіла, володіє енергією руху, тобто запасом кінетичної енергії. За допомогою вітроколеса або іншого робочого органу ця енергія перетворюється на механічну.

Секундна кінетична енергія E повітряного потоку визначається за формулою:

$$E = \frac{\rho \cdot S \cdot V^3}{2} \quad (1.1)$$

де ρ — густина повітря, кг/м³;

S — площа поперечного перерізу повітряного потоку, м²;

V — швидкість руху повітряного потоку, м/с.

Для вітроенергетичної установки, де площа перерізу повітряного потоку визначається площею, що описується лопатями ротора, секундну кінетичну енергію повітряного потоку можна подати у вигляді:

$$E = \frac{\rho \cdot \pi \cdot R \cdot V^3}{2} \quad (1.2)$$

У даному випадку площа поперечного перерізу повітряного потоку визначається як:

$$S = \pi \cdot R$$

де R - радіус вітроколеса, м.

Отже, секундна енергія, або потужність повітряного потоку, є прямо пропорційною густині повітря, площі поперечного перерізу потоку та кубу швидкості вітру. Частина повної енергії повітряного потоку, яка сприймається вітроколесом і перетворюється вітродвигуном на механічну енергію, характеризується коефіцієнтом використання енергії вітру:

$$\xi = \frac{E_{\text{мех}}}{E_{\text{віт}}} \quad (1.3)$$

де $E_{\text{мех}}$ - механічна енергія, що розвивається вітродвигуном, Вт;

$E_{\text{віт}}$ - енергія повітряного потоку, Вт;

ξ — коефіцієнт використання енергії вітру.

Цей коефіцієнт показує, яка частина енергії вітрового потоку ефективно перетворюється на корисну механічну енергію.

Секундна робота, або потужність, що розвивається вітроколесом, визначається за формулою:

$$E = \frac{\rho \cdot \pi \cdot R \cdot V^3}{2} \cdot \xi \quad (1.4)$$

Оскільки густина повітря є досить малою — приблизно у 800 разів меншою за густину води, для отримання значних потужностей необхідно застосовувати вітродвигуни з великою площею вітроколеса. Саме збільшення площі, що охоплюється лопатями, дозволяє ефективніше використовувати енергію повітряного потоку.

Постійні зміни швидкості вітру V призводять до суттєвих коливань потужності, яку розвиває вітродвигун: від нульового значення під час штилю до величин, що у десятки разів перевищують номінальну потужність

установки, розраховану для заданої швидкості вітру. Це обумовлює необхідність використання систем регулювання та стабілізації режимів роботи вітроенергетичної установки.

Для роботи вітроенергетичних установок можуть застосовуватися генератори різних типів. У практиці використовують як генератори постійного струму, так і генератори змінного струму — синхронні та асинхронні. Найбільш поширеними у складі вітроенергетичних установок малої потужності є:

- синхронні генератори з комбінованим збудженням (від постійних магнітів та обмотки збудження), які забезпечують стабільне значення вихідної напруги завдяки системі регулювання збудження;

- асинхронні багатополюсні генератори, які під час роботи, будучи підключеними до мережі змінного струму, споживають із мережі реактивну потужність та передають у мережу активну потужність, автоматично синхронізуючи частоту обертання з частотою електричної мережі.

Шум та вібрації генератора характерні для будь-якої вітроенергетичної установки. Їх виникнення зумовлене обертанням вітроколеса, аеродинамічними навантаженнями, а також роботою механічних і електричних елементів установки. Надмірний рівень шуму та вібрацій може негативно впливати на надійність обладнання, довговічність конструкції та комфорт експлуатації. Для зниження шуму і вібрацій застосовують спеціальні віброгасники, демпфувальні елементи та системи вібророзв'язки, які зменшують передачу механічних коливань від генератора та ротора до несучих конструкцій. Крім того, важливе значення мають балансування обертових частин, оптимізація конструкції лопатей і використання сучасних матеріалів із підвищеними демпфувальними властивостями.

1.4 Фотоелектричні системи

Сонце є джерелом енергії надзвичайно великої потужності. Сумарна енергія сонячного випромінювання, що надходить на Землю протягом 22 діб, еквівалентна всім запасам органічного палива на планеті. За умови використання високоефективних методів перетворення сонячної енергії можливо практично необмежено забезпечувати зростаючі потреби людства в енергії [5].

Джерелом енергії сонячного випромінювання є термоядерні реакції, що відбуваються на Сонці. Основна частина енергії випромінюється у вигляді електромагнітних хвиль у діапазоні довжин хвиль $\lambda = 0,2 - 3$ мкм. Під час проходження через атмосферу сонячне випромінювання частково послаблюється внаслідок поглинання інфрачервоного випромінювання водяною парою, ультрафіолетового — озоном, а також через розсіювання молекулами газів, пилом та аерозолями, що містяться в атмосфері.

Параметром, який характеризує вплив атмосфери на інтенсивність та спектральний склад сонячного випромінювання, що досягає поверхні Землі, є атмосферна (повітряна) маса АМ. За умови нульової повітряної маси АМ0, тобто на верхній межі атмосфери, інтенсивність випромінювання становить $E_S = 1360 \text{ Вт/м}^2$. Значення АМ1 відповідає проходженню сонячного випромінювання через безхмарну атмосферу до рівня моря при зенітному положенні Сонця. Найхарактернішим для земних умов є значення АМ1,5 яке прийнято як стандартне при інтегральній поверхневій густині сонячного випромінювання $E_S = 835 \text{ Вт/м}^2$.

Для перетворення сонячної енергії в електричну використовують сонячні батареї, або фотоелектричні перетворювачі (ФЕП). Принцип їхньої роботи ґрунтується на фотоелектричному ефекті, який виникає в неоднорідних напівпровідникових структурах під дією сонячного випромінювання [1].

Найпростішою конструкцією сонячного елемента є фотоелектричний перетворювач на основі монокристалічного кремнію. У кремнієвій пластині

p-типу на невеликій глибині формується p-n-перехід із тонким металевим контактом, а на тильний бік пластини наноситься суцільний металевий контакт.

Під час освітлення сонячного елемента фотони, що поглинаються напівпровідником, генерують нерівноважні електронно-діркові пари. Електрони, утворені в p-шарі поблизу p-n-переходу, під дією внутрішнього електричного поля переходу переміщуються до n-області. У результаті цього на контактах сонячного елемента виникає електрорушійна сила та формується електричний струм у зовнішньому колі.

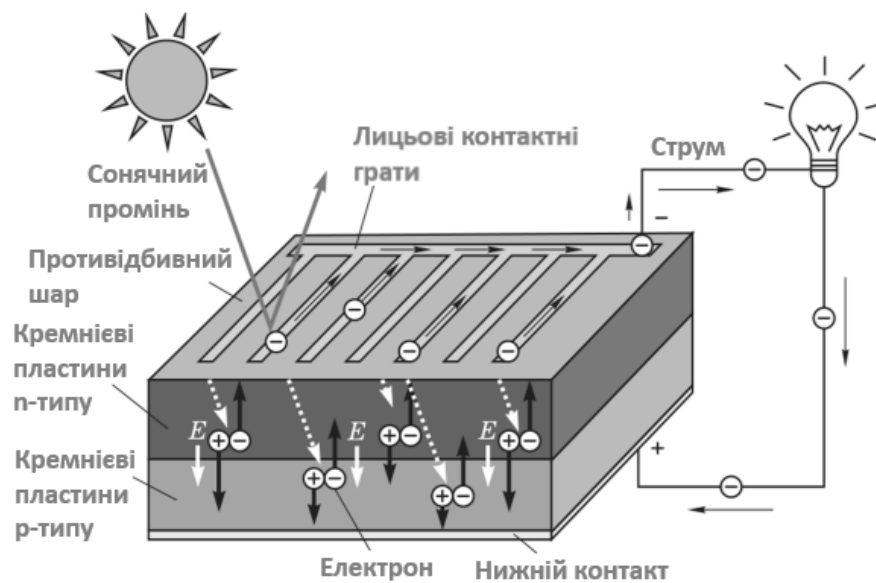


Рис. 1.5 Принципова схема фотогальванічного елемента

Аналогічно надлишкові дірки, утворені в n-шарі, частково переходять у p-шар. У результаті цього n-шар набуває додаткового від'ємного заряду, а p-шар — додатного. При цьому початкова контактна різниця потенціалів між p- та n-шарами напівпровідника зменшується, а в зовнішньому електричному колі виникає напруга. Таким чином, n-шар відповідає від'ємному полюсу джерела струму, тоді як p-шар є додатним полюсом [4].

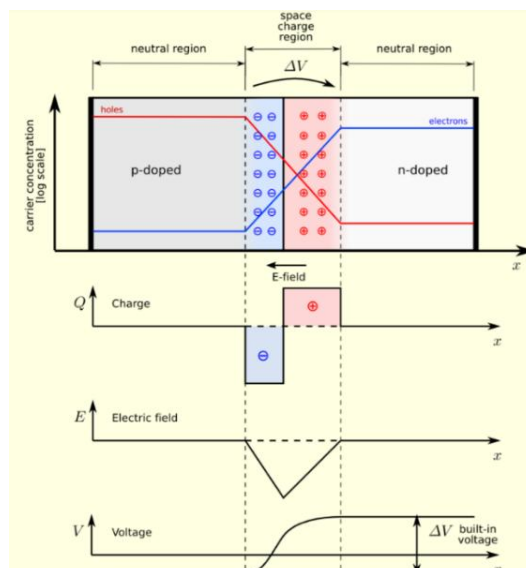


Рис. 1.6 Схема виникнення областей просторового заряду (р-п перехід)

Величина усталеної фото-ЕРС, що виникає під час освітлення р-п-переходу випромінюванням сталої інтенсивності, описується вольт-амперною характеристикою (ВАХ) фотоелектричного перетворювача. Вольт-амперна характеристика визначає залежність між струмом і напругою сонячного елемента та є однією з основних характеристик, що оцінюють ефективність роботи фотоелектричної системи.

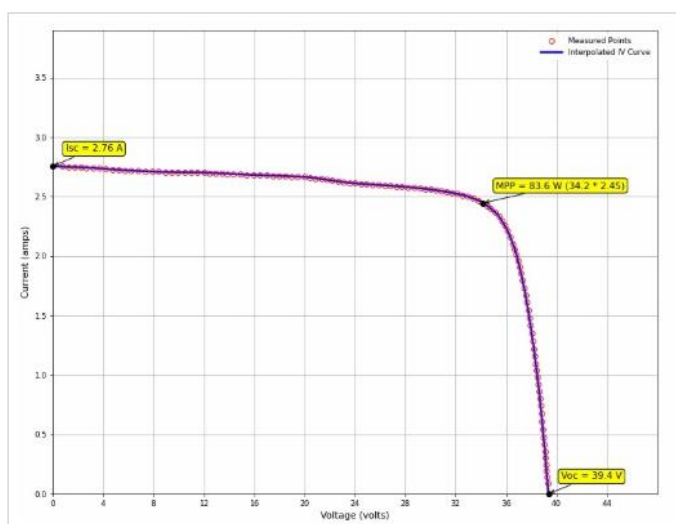


Рис. 1.7 Графік ВАХ сонячної панелі

Точка максимальної потужності відповідає режиму роботи, за якого добуток струму та напруги є найбільшим. Саме в цій точці фотоелектричний перетворювач працює з найвищою ефективністю.

Із графіка видно, що при малих значеннях напруги струм залишається майже сталим, а після досягнення критичної ділянки відбувається його різке зменшення. Такий характер ВАХ є типовим для кремнієвих сонячних елементів.

$$U = \frac{k \cdot T}{q} \cdot \ln \cdot \left(\frac{I_{ph} - I}{I_s} + 1 \right) \quad (1.5)$$

де U — напруга на фотоелектричному елементі, В;

I_s — струм насичення діода, А;

I_{ph} — фотострум, А;

I — струм навантаження, А;

k — стала Больцмана ($1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К);

T — абсолютна температура, К;

q — заряд електрона ($1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл).

Це рівняння описує вольт-амперну характеристику сонячного елемента та показує залежність вихідної напруги від фотоструму, струму навантаження і температури.

$$I = I_{ph} \cdot S_0 \cdot N_0 \cdot Q \quad (1.6)$$

де I — струм фотоелектричного елемента, А;

I_{ph} — фотострум, А/м²;

S_q — площа фотоелемента, м²;

N_0 — кількість електронно-діркових пар, що генеруються світловим потоком;

Q — коефіцієнт збирання, який показує, яка частка електронно-діркових

пар збирається p - n -переходом.

Коефіцієнт збирання характеризує ефективність відокремлення та перенесення носіїв заряду в області p - n - переходу. Чим більшим є значення Q , тим вищою є ефективність перетворення сонячної енергії в електричну.

$$I = I_s \cdot \left(e^{\frac{q \cdot U}{kT}} - 1 \right) \quad (1.7)$$

де I — струм через p - n -перехід, А;

I_s — струм насичення, А;

U — напруга на переході, В;

T — абсолютна температура, К.

Дане рівняння є рівнянням Шоклі та використовується для опису електричних властивостей напівпровідникових діодів і фотоелектричних елементів. Воно показує, що струм через p - n -перехід експоненціально залежить від прикладеної напруги.

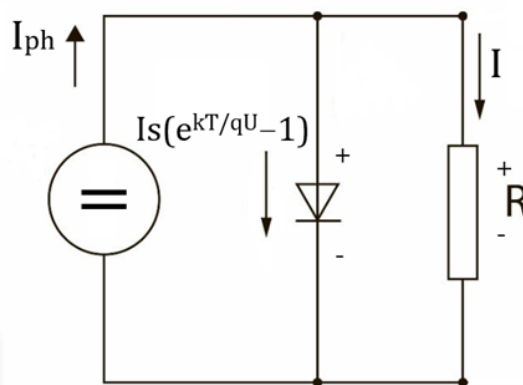


Рис. 1.8 Еквівалентна схема сонячного елемента

1.5 Гібридна вітросонячна електроустановка

У більшості регіонів надходження сонячної радіації та наявність вітру мають протифазний характер: коли спостерігається інтенсивне сонячне випромінювання, зазвичай відсутній вітер, а при сильному вітрі сонячна активність є мінімальною або відсутня. У зв'язку з цим для забезпечення

безперервного електропостачання автономних об'єктів, зменшення необхідної потужності вітротурбіни та фотоелектричної системи, а також зниження ємності акумуляторних батарей і покращення режимів роботи енергетичної станції доцільним є застосування гібридної вітросонячної електроустановки.

Особливо ефективними такі системи є при цілорічній експлуатації. У зимовий період основна генерація електроенергії забезпечується вітроенергетичною установкою, тоді як у літній період переважає виробництво енергії фотоелектричними модулями.

Гібридна вітросонячна електростанція включає такі основні компоненти:

- вітроенергетичну установку (ВЕУ), до складу якої входять вітрогенератор, щогла, блок контролю та керування зарядом акумуляторної батареї, а також баластне навантаження;

- фотоелектричний модуль;
- контролер заряду для сонячних батарей;
- інвертор;
- акумуляторні батареї;
- з'єднувальні кабелі.

Електроенергія, що виробляється вітрогенератором, встановленим на щоглі, надходить до випрямно-зарядного пристрою та використовується для заряджання акумуляторних батарей постійним струмом. Енергія фотоелектричної системи через спеціальний контролер також спрямовується на заряджання акумуляторних батарей постійним струмом. Живлення споживачів здійснюється через інвертор, який перетворює постійний струм від акумуляторних батарей у змінний.

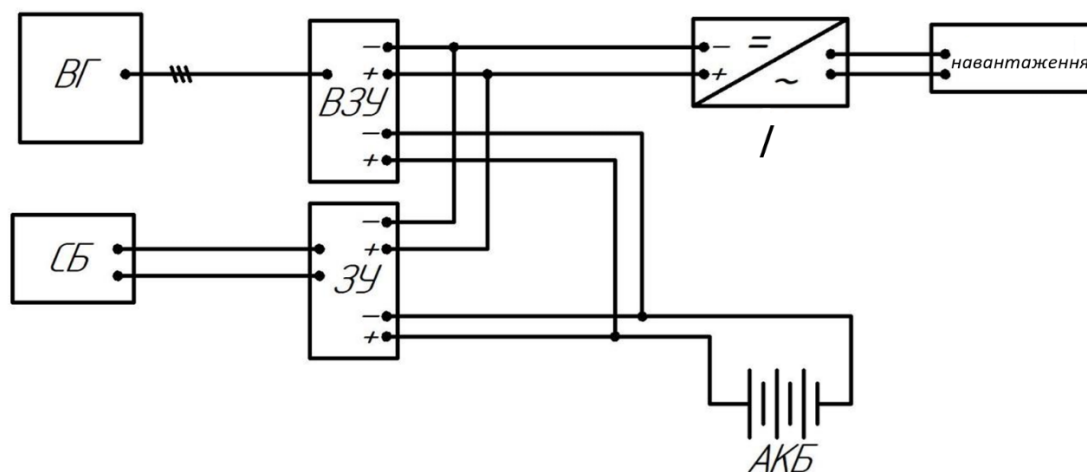


Рис. 1.9 Структурна схема гібридної електроустановки

ВГ – вітрогенератор, СБ – сонячні батареї, ВЗП – випрямне-зарядний пристрій (контролер), ЗУ – зарядний пристрій (контролер), АКБ – акумуляторна батарея, І – інвертор

Розглянуті електроустановки можуть застосовуватися як в автономному режимі, так і паралельно з електричною мережею. У разі використання установки паралельно з мережею як основного джерела живлення, при повному розряді акумуляторних батарей (тобто втраті живлення) за допомогою пристрою АВР (автоматичне введення резерву) можна автоматично переключити живлення навантаження на основну електромережу.

Якщо ж електроустановка використовується як резервне джерело живлення, то при аварійному відключенні основної мережі пристрій АВР забезпечує автоматичне перемикання живлення навантаження на електроустановку (рисунок 1.9).

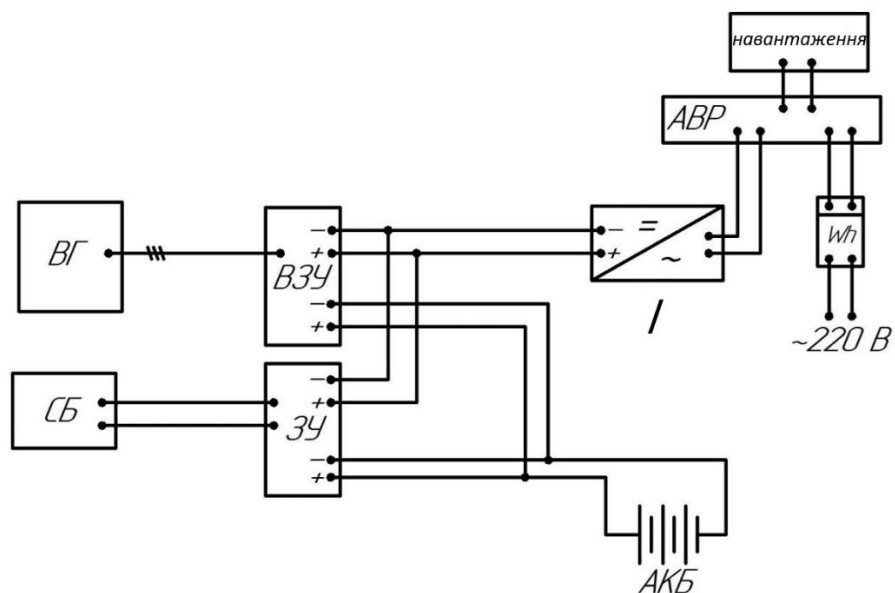


Рис. 1.10 Структурна схема гібридної електроустановки, що працює паралельно з мережею

Основне джерело живлення гібридної енергосистеми повинно покривати приблизно 60–80 % загальної потреби в електроенергії. Найчастіше в якості такого джерела використовуються сонячні панелі, які забезпечують безпосереднє перетворення сонячної енергії в електричну.

Резервне джерело енергії, залежно від величини навантаження, повинно забезпечувати близько 20–40 % необхідної потужності та функціонувати на основі іншого виду енергії, ніж основне джерело. Це дозволяє підвищити надійність та стабільність роботи системи електропостачання.

Для накопичення електроенергії в системі застосовуються акумуляторні батареї або конденсаторні накопичувачі, вибір яких залежить від технічних параметрів та умов експлуатації. Накопичувачі енергії разом із джерелами генерації підключаються до спільної шини буферної системи, що забезпечує двонаправлений обмін енергією.

У разі надлишкового виробництва електроенергії, коли потужність джерела перевищує потреби навантаження, невикористана енергія накопичується в акумуляторній батареї. Якщо ж потужності основного або

резервного джерела недостатньо для забезпечення споживачів, живлення здійснюється за рахунок енергії, накопиченої в акумуляторах.

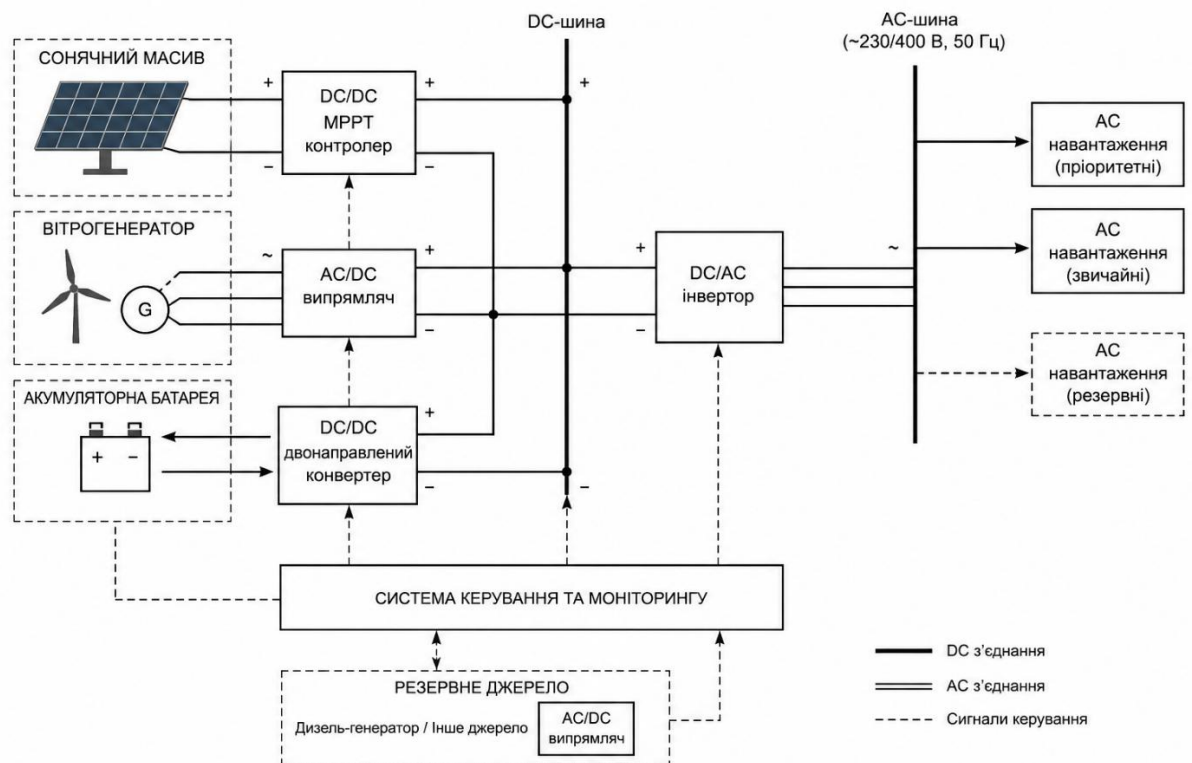


Рис. 1.11 Схема гібридної сонячно-вітрової-дизель-акумуляторної системи живлення

Аварійне джерело живлення використовується (дизель-генератору випадках відмови основного або резервного джерела, а також при виникненні дефіциту генерованої енергії. Його робота триває до моменту відновлення нормального режиму живлення від відновлюваних джерел енергії.

РОЗДІЛ 2. ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ СЕЛИЩА З ВИКОРИСТАННЯМ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛАХ ЕНЕРГІЇ

2.1 Характеристика селища

Чигирин — це невелике село, яке входить до складу Раухівської селищної громади Березівського району Одеської області. Розташоване приблизно за 80–100 км від міста Одеса (залежно від маршруту дороги).

За даними адміністративно-територіального поділу та узагальнених статистичних даних по Раухівській громаді Чигирин є дуже невеликим населеним пунктом. Окремий точний перепис саме по селу в офіційних публікаціях не завжди виділяється, але за даними карти та локальної статистики населення села становить приблизно 200-250 осіб, кількість домогосподарств орієнтовно до 80-90. Інфраструктура села представлена базовими об'єктами забезпечення населення:

- невеликі продуктові магазини;
- фельдшерсько-акушерський пункт.

Заклади освіти (школа або дитячий садок) відсутні безпосередньо в селі та розміщуються в сусідніх селах. Адміністративне обслуговування здійснюється через Раухівську селищну громаду. Більш розвинена соціальна та освітня інфраструктура зазвичай зосереджена в адміністративному центрі громади, а село виконує переважно житлову та аграрну функцію.

Клімат у районі Чигирин характерний для південного степу України.

Це помірно-континентальний клімат із рисами посушливості. Основні особливості:

- літо тривале, спекотне та переважно сухе (у середньому +25...+35 °C);
- зима м'яка, малосніжна, з періодичними відлигами (приблизно -2...-6 °C);
- опади невеликі, розподілені нерівномірно протягом року;

					КРБ.АТЕіРС.1.58-03.3.4	Арк
						29
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- вітри досить часті, що характерно для степової зони;
- вологість помірна, з тенденцією до зниження влітку.

Одеська область характеризується сприятливими природно-кліматичними умовами для використання відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячної та вітрової енергії. Середня тривалість сонячного сяйва становить приблизно 2200–2500 годин на рік, що є достатньо високим показником для ефективної роботи фотоелектричних установок. Рівень сонячної радіації в літній період є максимальним, що дозволяє забезпечувати значну частину електроспоживання саме за рахунок фотоелектричних модулів. Водночас у зимовий період ефективність сонячних систем знижується через скорочення світлового дня та зменшення інтенсивності випромінювання. Одеська область також характеризується помірним вітровим потенціалом. Середньорічна швидкість вітру в регіоні становить приблизно 3–5 м/с, що створює умови для ефективного використання малих та середніх вітроенергетичних установок. Особливістю вітрового режиму є його сезонна мінливість. У зимовий період спостерігаються більш стабільні та сильні вітри, тоді як у літній період їх інтенсивність знижується. Це дозволяє ефективно комбінувати вітрову та сонячну генерацію в рамках гібридної системи.

Електропостачання села Чигирин здійснюється від районної підстанції 110/35/10 кВ через систему повітряних ліній напругою 10 кВ, які забезпечують живлення розподільного пункту 10 кВ населеного пункту. Розподільна мережа виконана переважно повітряними та частково кабельними лініями, що прокладені вздовж автомобільних доріг та внутрішньосільських вулиць.

Поєднання сонячної та вітрової енергії є найбільш доцільним рішенням для даного регіону, оскільки джерела мають сезонну взаємну компенсацію. Сонячна генерація переважає влітку, тоді як вітрова — у зимовий період. Таким чином, природно-кліматичні є сприятливими для впровадження гібридних систем електропостачання на основі

відновлюваних джерел енергії, що забезпечує підвищення енергоефективності та надійності електропостачання сільських споживачів.

2.2. Електропостачання селища

Схема електропостачання побудована за радіально-кільцевим принципом, що дозволяє підвищити надійність живлення споживачів та забезпечити резервування у разі аварійних відключень окремих ділянок мережі. Розподільна мережа 10 кВ живить декілька трансформаторних підстанцій 10/0,4 кВ, які розташовані рівномірно по території села та забезпечують електропостачання побутових і громадських споживачів. У складі системи присутні малопотужні комплектні трансформаторні підстанції (КТП) відкритого або закритого типу. Низьковольтна мережа 0,4 кВ виконана повітряними лініями, від яких безпосередньо живляться індивідуальні житлові будинки та об'єкти соціальної інфраструктури.

Структурна схема електропостачання населеного пункту є типовою для сільських районів Одеської області та представлена на рисунку 2.1.

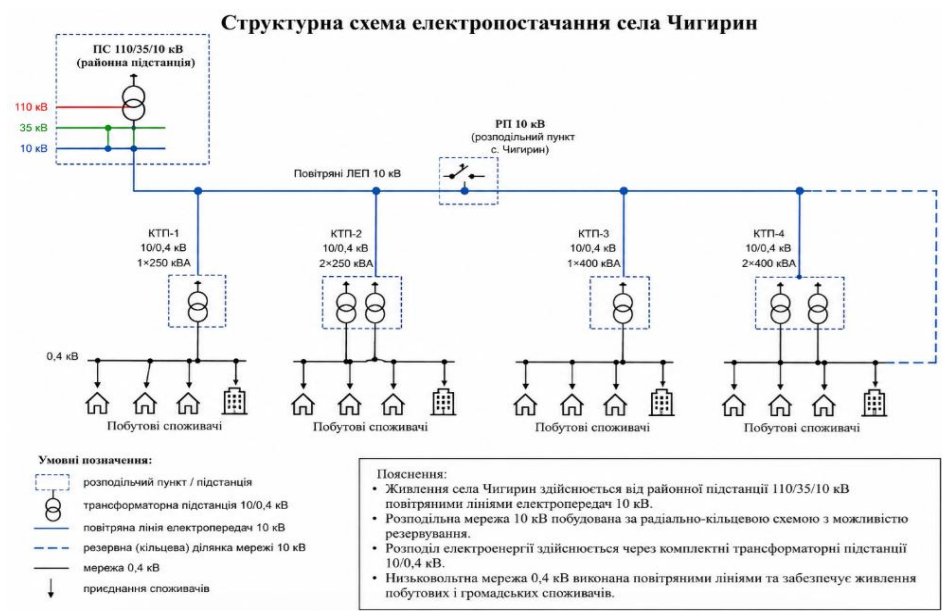


Рис. 2.1 Структурна схема електропостачання села Чигирин

Для підвищення надійності електропостачання селища передбачається використання електроустановки, що працює на

альтернативних джерелах енергії та виконує функцію основного джерела живлення для споживачів електроенергії. При цьому електрична мережа виступатиме як резервне джерело електропостачання.

Оскільки дипломна робота присвячена енергозабезпеченню невеликого селища, доцільно розглянути принципи побудови системи на прикладі окремого приватного будинку як базового елемента енергоспоживання. Такий підхід дозволяє більш детально проаналізувати структуру навантаження, характер споживання електроенергії та обґрунтувати вибір обладнання з подальшим масштабуванням отриманих результатів на все селище. Отже, розгляд одного приватного будинку як елементарної одиниці енергоспоживання дозволяє сформувати типову модель, яка може бути використана для подальшого проєктування системи енергопостачання всього селища з урахуванням кількості домогосподарств та їх сумарного навантаження.

Як об'єкт дослідження розглянемо двоповерховий будинок із підвалом загальною площею 150 м², проживає сім'я з чотирьох осіб. Село газифіковано, тому у будинку використовується газова плита. Характерною особливістю споживачів малої потужності є суттєво змінний графік електричного навантаження протягом доби та року. Як приклад, на рис. 2.2 наведено добовий графік споживання електроенергії приватного будинку.

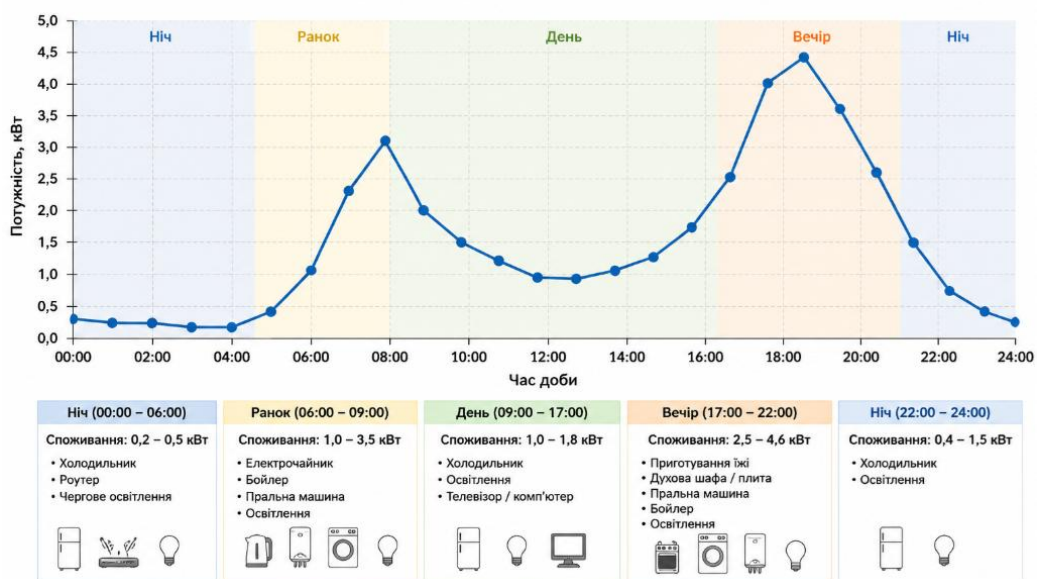


Рис. 2.2 Добовий графік споживання електроенергії приватного будинку.

Розрахункове електричне навантаження для такого котеджу відповідно до вимог українських нормативних документів (зокрема ДБН В.2.5-23:2010 «Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення» та ПУЕ) становить 11,5 кВт.

Виконаємо розрахунок сумарної потужності електроспоживачів досліджуваного будинку. При цьому врахуємо, що побутове обладнання, встановлене в будинку, належить до класу енергоефективності А та вище, а система освітлення побудована на основі світлодіодних ламп. Такі лампи забезпечують світловий потік, еквівалентний лампі розжарювання потужністю 100 Вт, споживаючи при цьому лише 7 Вт електроенергії.

Перелік електроприладів будинку

Таблиця 2.1

Прилад	Кількість	Номінальна потужність, кВт·год	Час роботи, год/добу	Добове споживання, кВт
Холодильник	1	0,15	10	1,5
Газовий котел (з насосом)	1	0,1	10	1,0
Телевізор	2	0,1	4	0,8
Ноутбук /ПК	2	0,15	5	1,5
Пральна машина	1	1,7	1	1,7
Посудомийна машина	1	1,5	1	1,5
Мікрохвильова піч	1	1,2	0,3	0,36
Електрочайник	1	1,7	0,5	0,85
Праска	1	1,7	0,3	0,51
Пилосос	1	1,5	0,2	0,3
Кондиціонер	1	1,2	3	3,6
Wi-Fi роутер та дрібна техніка	1	0,05	24	1,2
Освітлення				0,52
Всього			15,34	

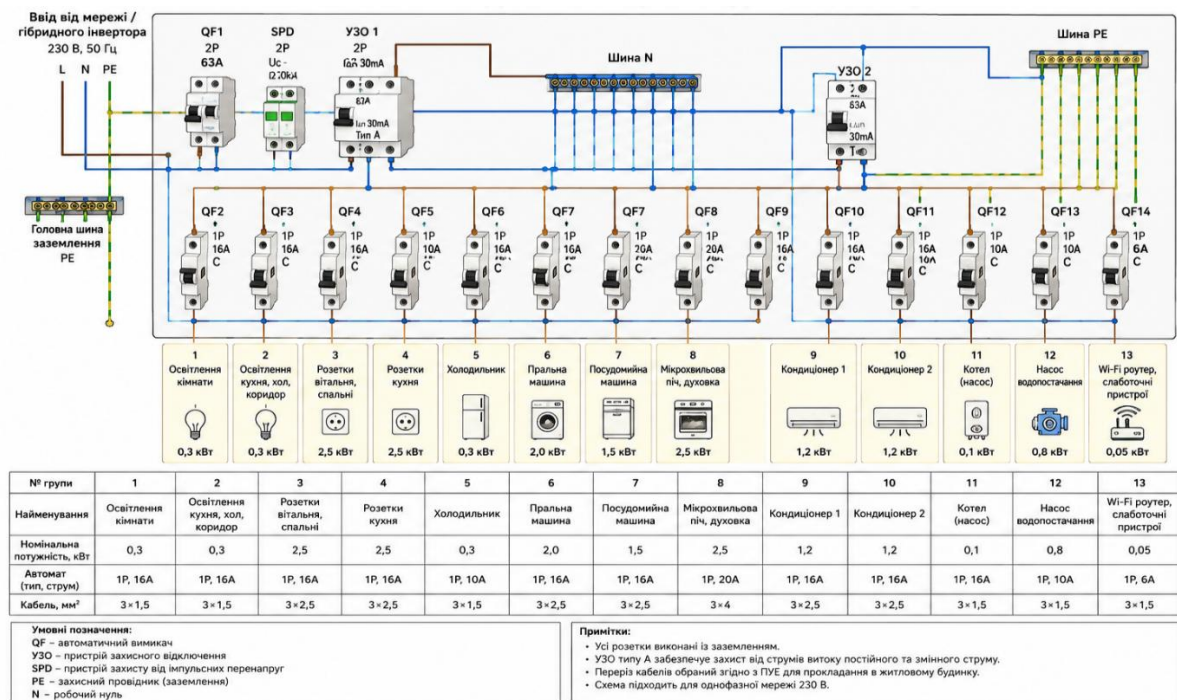


Рис. 2.3 Схема розподільчого щита будинка

2.4 Живлення від фотоелектричної системи

Фотоелектрична система (сонячна електроустановка) включає сонячні панелі, акумуляторні батареї, контролер заряду, інвертор та з'єднувальні кабелі. Для забезпечення роботи системи паралельно з електричною мережею додатково застосовується пристрій автоматичного введення резерву (АВР).

Розрахунок параметрів фотоелектричної системи доцільно виконувати у три основні етапи:

1. Визначення електричного навантаження та споживання електроенергії.
2. Розрахунок необхідної ємності та кількості акумуляторних батарей.
3. Визначення потрібної кількості фотоелектричних модулів на основі даних про рівень сонячної радіації в районі встановлення системи.

Для визначення необхідної енергії постійного струму, помножимо отримане значення добового енергоспоживання навантаження змінного струму на коефіцієнт що враховує втрати в інверторі:

$$W_{\text{роз}} = W_{\text{доб}} \cdot K_{\text{інв}} = 15,34 \cdot 1,2 = 18,41 \text{ кВт} \quad (2.1)$$

де $W_{\text{доб}}$ — добове споживання, кВт·год

$K_{\text{інв}}$ - втрати інвертора.

Приймаємо вхідну напругу інвертора $U_{\text{інв}} = 48 \text{ В}$

Поділивши отримане значення $W_{\text{роз}}$ на величину вхідної напруги інвертора, отримаємо кількість ампер-годин на добу, необхідну для забезпечення навантаження.

$$W_{\text{Агод}} = \frac{W_{\text{роз}}}{U_{\text{інв}}} = \frac{18410}{48} = 383 \text{ А} \cdot \text{год} \quad (2.2)$$

Припустимо, що максимальна тривалість періоду без сонячної генерації становить $n = 3,5$ доби.

$$W_{\text{макс}} = W_{\text{Агод}} \cdot n = 383 \cdot 3,5 = 1340,5 \text{ А} \cdot \text{год} \quad (2.3)$$

Загальна структура енергозабезпечення:

Сонячна генерація ~65%

Вітрова генерація ~25%

Мережа (резерв) ~10%

Потужність сонячної електростанції визначається за виразом:

$$P_{PV} = \frac{E_{PV}}{n \cdot \eta} \quad (2.4)$$

де $E_{PV} = 10 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{добу}$ — частка сонячної генерації,

$n = 3,5$ — середня інсоляція,

$\eta = 0,75$ — ККД системи.

Ми прийняли для сонячної генерації $k_{PV} = 0,65$. Тоді:

$$E_{PV} = W_{\text{доб}} \cdot k_{PV}$$

$$E_{PV} = 15,34 \cdot 0,65$$

$$E_{PV} = 9,97 \approx 10 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{добу}$$

Підставляючи значення, отримуємо:

$$P_{PV} = \frac{10}{3,5 \cdot 0,75} = 3,81 \text{ кВт}$$

Обираємо сонячну панель Longi Solar 450 серії LR4-72HPH — це високоефективні монокристалічні PERC/Half-Cell модулі, що є одним із лідерів ринку. Вони мають ККД близько 20,7-23,3%, використовують 144 комірки (Half-Cell) для кращої роботи в затіненні. Використання технології Low LID Mono PERC (пасивація заднього контакту емітера) дозволяє значно знизити первісну деградацію панелі, що забезпечує стабільно високу генерацію з першого дня експлуатації.

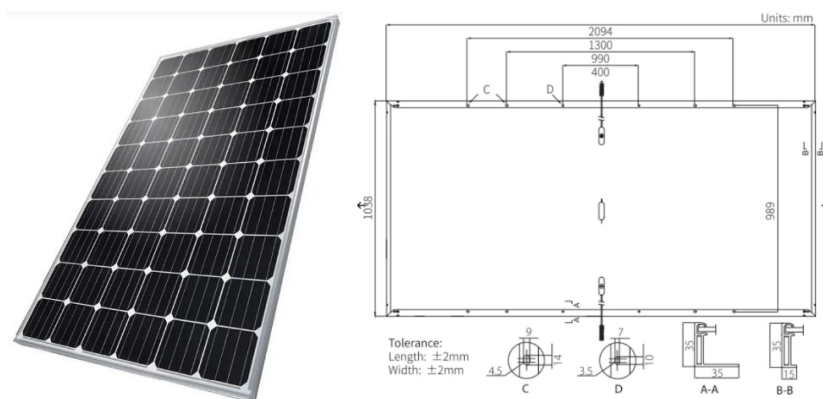


Рис. 2.4 Загальний вигляд та приєднувальні розміри Longi Solar 450

Технічні характеристики сонячної панелі Longi Solar 450

Таблица 2.2

Параметр	Значення
Потужність фотомодуля	450 Вт
Напруга, В	41,50
Сила струму, А	10,85
Напруга холостого ходу, В	49,30
Струм КЗ, А	11,60
ККД не менше, %	20,70
Тип панелі;	Монокристалічна
Кількість елементів, шт	144
Діапазон робочих температур , °C	- 40 + 85
Розміри фотомодуля, мм	2094x1038x35
Вага фотомодуля, кг	20,0

Визначаємо кількість панелей при використанні модулів потужністю 450 Вт для 90 будинків селища:

$$3,81 \cdot 90 = 342,9$$

$$E_{PV} = 342,9 \cdot 0,65 = 222,9 \text{ кВт·год/добу}$$

$$P_{PV} = \frac{E_{PV}}{H \cdot \eta}$$

$$P_{PV} = \frac{222,9}{3,5 \cdot 0,75} \approx 84,9 \text{ кВт}$$

Визначаємо кількість панелей

$$N_{\pi} = \frac{84,9}{0,45} \approx 189$$

2.5 Розрахунок вітроенергетичної установки

Для забезпечення часткової автономності гібридної системи електропостачання використовується вітроенергетична установка (ВЕУ), яка працює паралельно з фотоелектричною станцією та акумуляторною батареєю. Добова частка електроенергії, що покривається вітровою генерацією, прийнята на рівні:

$$E_{wind} = 15,34 \cdot 0,25 = 3,84 \text{ кВт·год/добу}$$

$$E_{windtotal} = 3,84 \cdot 90 = 345,15 \text{ кВт·год/добу}$$

Середня необхідна встановлена потужність вітроенергетичної установки визначається з урахуванням коефіцієнта використання встановленої потужності:

$$P_{wind} = \frac{E_{wind}}{24 \cdot \eta} = \frac{3,84}{24 \cdot 0,25} = 0,64 \text{ кВт}$$

де η - коефіцієнт використання потужності, реальна середньодобова генерація (0,15-0,25)

Згідно з кліматичними характеристиками Причорноморського регіону, середня швидкість вітру в Одеській області знаходиться в межах 5–

6 м/с, що робить територію придатною для використання вітроенергетичних установок. Для інженерних розрахунків у роботі прийнято значення $v=5$ м/с.

Обраємо вітроенергетичну установку потужністю з горизонтальною віссю обертання Aeolos-H 10кВт від компанії Wind Energy.

Технічні характеристики вітрогенератора Aeolos-H 10 кВт

Параметр	Значення
Номінальна потужність, кВт	10
Максимальна потужність, кВт	13
Тип генератора	Безредукторний генератор на постійних магнітах
Кількість лопастей	3
Матеріал лопастей	Скловолокно
Діаметр ротора, м	8
Площа ротора, м ²	50,3
Пускова швидкість вітру, м/с	2,5–3
Номінальна швидкість вітру	10
Максимальна робоча швидкість вітру, м/с	45–59,5
Тип керування	PLC-контролер
Система захисту	електронне та гідравлічне гальмування
Рівень шуму, ДБ	45
Робочий температурний діапазон	від -20 °С до +50 °С
Термін служби, років	20
Висота щогли, м	12–18
Маса установки, кг	420

Для перевірки визначаємо потужність вітрового потоку виразом:

$$P_{wind_{кввп}} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot C_p \cdot \eta = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot v^3 \cdot C_p \cdot \eta \quad (2.5)$$

де ρ - густина повітря ($\approx 1,225$ кг/м³),

A - площа, що ометається лопатями ротора, м²,

D – діаметр ротора,

v – середня швидкість вітру, 5 м/с,

C_p – предел Беца, максимум 59,3%,

η - ККД дії вітроенергетичної установки враховує аеродинамічні втрати, втрати в генераторі та механічній передачі. Для малих вітроустановок приймається 0,25–0,35.

$$P_{wind_{кввп}} = \frac{1}{2} \cdot 1,225 \cdot \frac{3,14 \cdot 64}{4} \cdot 5^3 \cdot 0,593 \cdot 0,25 \approx 570 \text{ Вт}$$

$$P_{wind_{кввп}} \approx P_{wind}$$

Номінальна потужність обраного ветрогенератора 10 кВт. Час роботи – 24 години

Розрахунок реальної потужності

$$P_B = 10 \cdot k_B = 3 \text{ кВт}$$

де k_B – частина часу, коли турбіна реально працює ефективно, 0,25.

$$E_B = 24 \cdot 0,25 = 60 \text{ кВт} \cdot \text{год/добу}$$

Необхідна кількість вітроустановок:

$$N_B = \frac{345,15}{60} = 5,75 \approx 6$$

Отже, для покриття лише 25 % потреб селища необхідно встановити 6 вітрогенераторів по 10 кВт.

Якщо вартість одного вітрогенератора 10 кВт із щоглою, становить приблизно 15–20 тис. доларів, тоді сумарні витрати:

$$C = 6 \cdot 20000 = 120000 \text{ USD}$$

це без:

- інвертора
- монтажу
- акумуляторів;
- сервісу;
- фундаментів;
- кабельних мереж.

Проведений розрахунок показав, що для покриття лише 25 % електроспоживання селища необхідно встановити 6 вітроенергетичних установок номінальною потужністю 10 кВт кожна. З урахуванням високої

вартості обладнання, монтажу та експлуатації використання вітроенергетики для даного об'єкта є економічно недоцільним. У зв'язку з цим у подальших розрахунках прийнято рішення застосувати комбіновану систему електропостачання на основі фотоелектричних модулів та зовнішньої електромережі.

2.6 Вибір інвертора

Інвертор напруги (ІН) — це пристрій, призначений для перетворення електричної енергії джерела постійного струму в електричну енергію змінного струму. Інвертори можуть використовуватись як окремі автономні пристрої або входити до складу систем та джерел безперебійного живлення електрообладнання змінним струмом. Як і будь-яке силове електротехнічне обладнання, інвертор повинен характеризуватись високим коефіцієнтом корисної дії, надійністю роботи та прийнятними масогабаритними показниками. Крім цього, інвертор має забезпечувати допустимий рівень вищих гармонічних складових у формі вихідної напруги та не створювати надмірних пульсацій на затискачах джерела живлення, які можуть негативно впливати на роботу інших споживачів електроенергії.

Розрізняють три основні схеми інверторів напруги:

1. З нульовим виводом джерела живлення (напівмостовий інвертор напруги). Сфера застосування: джерела безперебійного живлення потужністю понад 500 ВА, установки з високим рівнем енергії та напругою 220...360 В.

2. З нульовим виводом трансформатора. Сфера застосування: джерела безперебійного живлення комп'ютерної техніки потужністю 250...500 ВА; системи з низьким рівнем напруги 12...24 В; перетворювачі напруги для мобільних систем радіозв'язку.

3. Мостова схема. Сфера застосування: джерела безперебійного живлення відповідальних споживачів електроенергії з широким діапазоном потужностей.

					КРБ.АТЕіРС.1.58-03.3.4	Арк
						40
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

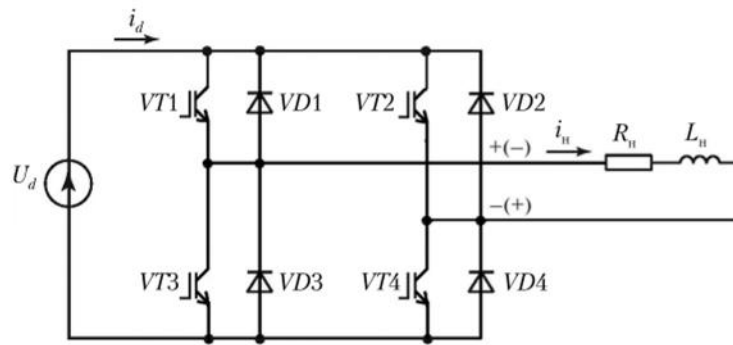


Рис. 2.5 Однофазна мостова схема інвертора напруги

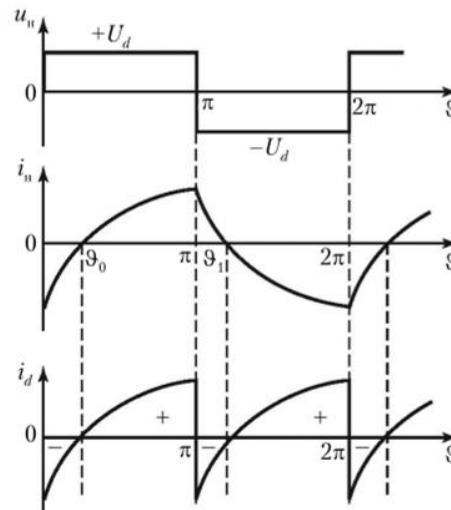


Рис. 2.6 Часові діаграми напруг і струмів, що ілюструють принцип роботи однофазної мостової схеми інвертора напруги

Припустимо, що відкриті транзистори VT1 і VT4. У цьому випадку напруга на навантаженні має полярність, зазначену на рис. 2.4 без дужок, а струм навантаження наростає за експоненціальним законом. У момент часу $\vartheta = \pi$ надходять керувальні імпульси, які закривають транзистори VT1 і VT4 та відкривають VT2 і VT3. Оскільки струм i_n в індуктивності навантаження не може змінюватися стрибкоподібно, він продовжує протікати в тому ж напрямку, але вже не через транзистори VT1 і VT4, а через діоди VD2 і VD3. Ці діоди вмикаються після вимкнення транзисторів VT1 і VT4 внаслідок виникнення проти-ЕРС в індуктивності навантаження, величина якої перевищує напругу джерела живлення U_d . Увімкнення діодів VD2 і VD3 призводить до зміни полярності напруги на навантаженні на

протилежну (полярність, показана на рис. 2,4 в дужках). Під дією зустрічної напруги струм навантаження i_n , який протікає через діоди VD2 і VD3 назад до джерела живлення, буде спадати за експоненціальним законом. Після зменшення струму i_n до нуля (у момент часу $\vartheta = \vartheta_1$) діоди VD2 і VD3 закриваються, а струм навантаження починає проходити через транзистори VT2 і VT3, на керувальних електродах яких у цей момент присутній керувальний імпульс. Надалі аналогічні процеси періодично повторюються.

Таким чином, на навантаженні формується напруга у вигляді меандра з амплітудою U_d . Струм навантаження має експоненціальний характер, а його величина визначається параметрами навантаження. Струм через діоди протікає на інтервалах, початок яких збігається з моментами подачі керувальних імпульсів, а тривалість залежить від індуктивності навантаження. Під час проходження струму через діоди відбувається повернення енергії з навантаження до джерела постійного струму.

Відсутність діодів у схемі призвела б до виникнення недопустимих перенапруг на транзисторах. Діаграма струму, що споживається від джерела постійної напруги, наведена на рис. 2.5 На цій діаграмі додатні площі відповідають віддачі енергії джерелом постійної напруги, а від'ємні — прийманню енергії назад від навантаження.

Враховуючи наведені вище вимоги, доцільно обрати інвертор, що формує синусоїдальну вихідну напругу.

Відповідно до добового графіка навантаження рис. 2.2, максимальна споживана потужність становить 4,6 кВт, тому номінальна потужність інвертора повинна бути не меншою за дане значення.

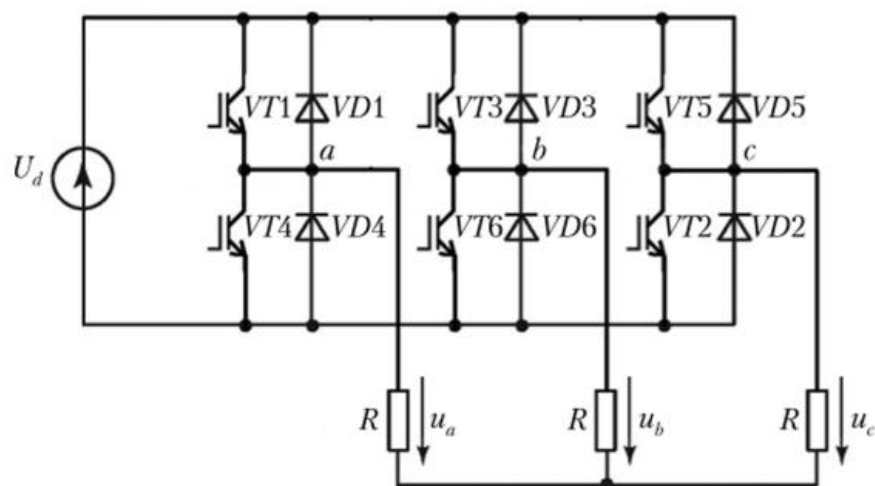


Рис. 2.7 Трифазна мостова схема інвертора напруги

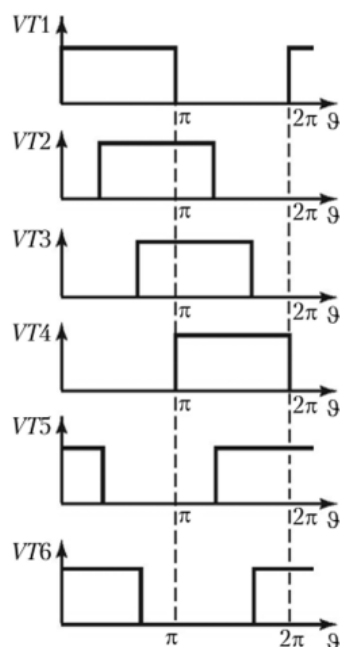


Рис. 2.8 Діаграма трифазного мостового інвертора

Обираємо промисловий трифазний інвертор 100 кВт для мережових та гібридних фотоелектричних систем Huawei SUN2000-115KTL-M2. Це новітня модель інвертора, яка розроблена для забезпечення надійної та ефективної конвертації сонячної енергії в електричну. Цей продукт поєднує в собі високу продуктивність, надійність та інноваційні технології, забезпечуючи оптимальний результат у сфері відновлювальних джерел енергії. Huawei SUN2000-115KTL-M2 відзначається вражаючою ефективністю перетворення сонячної енергії. КПД складає 98,8%. Завдяки

передовим технологіям максимальної потужності та оптимізованим алгоритмам керування, він забезпечує максимальний вихід електроенергії.

Завдяки високоякісним матеріалам та тестуванню на надійність, Huawei SUN2000-115KTL-M2 гарантує тривалий термін служби та безперебійну роботу. Відмінна стійкість до екстремальних умов довкілля робить його ідеальним вибором для різних кліматичних умов.



Рис. 2.8 Інвертор Huawei SUN2000-115KTL-M2

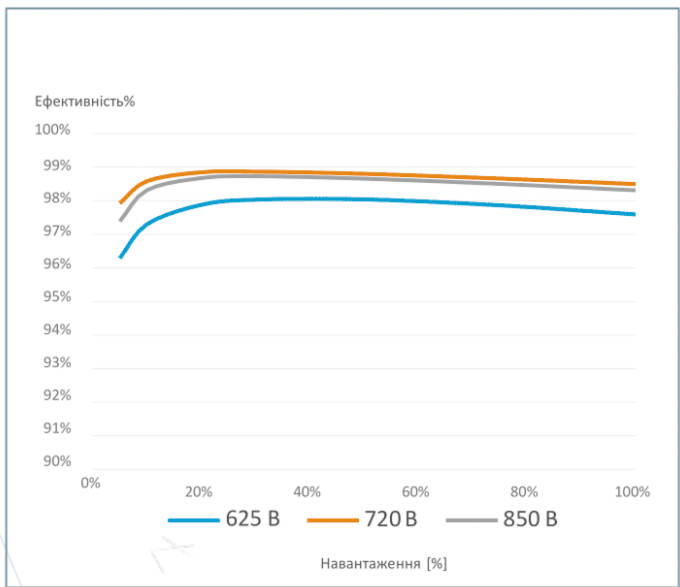


Рис. 2.9 Крива ефективності Huawei SUN2000-115KTL-M2

Технічні характеристики інвертора Huawei SUN2000-115KTL-M2

Таблиця 2.3

Параметр	Значення
Макс. вхідна напруга, В	1100
Максимальний струм на кожен МРРТ, А	30
Максимальний струм КЗ на кожен МРРТ, А	40
Стартова напруга, В	200
Робочий діапазон напруги МРРТ, В	200 - 1000
Номінальна напруга, В	600 В/400 В АС, 720 В/480 В АС
Максимальна кількість вводів на 1МРРТ	2
Кількість МРРТ трекерів	10
Номінальна активна потужність, Вт	115 000
Макс. повна потужність, ВА	125 000
Номінальна вихідна напруга, В	400 / 480, 3W/N+PE
Номінальна частота, Гц	50/60
Номінальний вихідний струм, А	166,0 А / 400 В, 138,4 А /480 В
Максимальний струм	182,3 А /400 В, 151,9 /480 В
Діапазон коефіцієнта потужності	0,8 LG ...0,8 LD
Макс. коефіцієнт нелінійних спотворень, %	—
Макс. КПД, %	98,6 % при 400 В / 98,8 % при 480 В
Розміри ШхВхГ, мм	1035x700x365
Вага, кг	93
Діапазон робочих температур, °С	-25 ... +60
Клас Захисту ІР	IP66
Рівень шуму, дБ	—
Власне споживання, ніч, (Вт)	<3,5



Рис. 2.10 Принципова схема Huawei SUN2000-115KTL-M2

2.7 Вибір акумуляторних батарей

Далі необхідно підібрати акумуляторні батареї, які будуть використовуватися у фотоелектричній системі. Існує різні типи акумуляторних батарей. Розглянемо основні та оберемо найбільш доцільний варіант.

Нікель-кадмієві (Ni-Cd) акумулятори. На сьогодні понад 50% акумуляторів для портативного обладнання становлять нікель-кадмієві батареї. Основні переваги даного типу акумуляторів:

- низька вартість;
- висока стійкість до перепадів температур;
- добра стійкість до великих струмів заряду та розряду, оскільки малий внутрішній опір дозволяє віддавати значні струми (з іншими типами акумуляторів це часто неможливо);
- велика кількість циклів «заряд-розряд».

Серед усіх типів акумуляторів нікель-кадмієві єдині, які найкраще забезпечують віддачу максимальної ємності та витримують велику кількість циклів «заряду-розряду», особливо за умови періодичного проведення

глибоких розрядів (до 1 В на елемент). Недоліки нікель-кадмієвих акумуляторів:

- наявність так званого «ефекту пам'яті» (під цим явищем розуміють оборотну втрату ємності, що виникає в деяких типах електричних акумуляторів при порушенні рекомендованого режиму заряджання, зокрема при підзарядці не повністю розрядженого акумулятора. Назва пов'язана з тим, що акумулятор ніби «запам'ятовує», що в попередніх циклах його ємність не була використана повністю, і під час розряду віддає енергію лише до «запам'ятованої межі»);

- екологічна небезпечність, оскільки кадмій є високотоксичною речовиною, що створює додаткові проблеми з утилізацією та переробкою;

- відносно низька питома ємність, хоча в окремих випадках це не є критичним параметром.

Нікель-металогідридний (Ni-MH) тип акумулятора. Поштовхом до розробки та впровадження даного типу акумуляторів стала, насамперед, їх вища щільність енергії порівняно з Ni-Cd. Основні переваги сучасних Ni-MH акумуляторів у порівнянні з Ni-Cd:

- більша питома ємність (за однакових габаритних розмірів значення ємності приблизно на 30% вище);

- менша маса;

- значно менша схильність до «ефекту пам'яті»;

- у складі цього типу акумуляторів міститься менша кількість токсичних металів, тому на сьогодні вони вважаються більш екологічно безпечними.

На жаль, Ni-MH тип акумуляторів має також ряд недоліків у порівнянні з Ni-Cd акумуляторами, а саме:

- значно менша кількість циклів заряду-розряду;

- вища вартість Ni-MH акумуляторів порівняно з Ni-Cd, хоча це не завжди є - визначальним фактором, якщо пріоритетом є компактність і мала маса;

					КРБ.АТЕіРС.1.58-03.3.4	Арк
						47
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

- більш обмежений температурний діапазон роботи порівняно з Ni-Cd акумуляторами;
- нижча навантажувальна здатність — не здатні віддавати великі струми;
- чутливість до глибоких розрядів, оскільки довговічність безпосередньо залежить від глибини розряду;
- підвищений саморозряд — більш ніж у 1,5 раза вищий, ніж у Ni-Cd, що є важливим параметром при зберіганні;
- гірша переносимість великих зарядних струмів, оскільки під час заряджання виділяється значно більше тепла.

Крім того, Ni-MH акумулятори потребують більш складного алгоритму керування зарядом для визначення моменту повного заряду. Сучасні Ni-MH батареї часто оснащуються внутрішнім датчиком температури, що допомагає контролювати процес заряджання. Перезаряд у дешевих зарядних пристроях (без автоматичного відключення) може призвести до перегріву та повного виходу акумулятора з ладу.

Літій-іонний (Li-Ion) тип акумуляторних батарей. Основні переваги літій-іонних акумуляторів:

- висока питома ємність Li-Ion, щонайменше у два рази більша, ніж у Ni-Cd акумуляторів;
- літій є дуже легким металом, має найвищий електрохімічний потенціал і забезпечує максимальну щільність енергії;
- низький рівень саморозряду та повна відсутність «ефекту пам'яті»;
- завдяки низькому саморозряду допускається періодична підзарядка навіть не повністю розрядженого акумулятора;
- кількість циклів заряду-розряду (за даними більшості виробників, оскільки технології різняться) дещо вища, ніж у Ni-MH акумуляторів.

Основні недоліки літій-іонних (Li-Ion) акумуляторів:

- висока вартість;

- обмежений діапазон робочих температур, хоча в окремих випадках це не є критичним фактором.

У конструкції сучасних літій-іонних акумуляторів використовуються так звані *smart*-мікросхеми. Вони дозволяють керувати процесом заряджання таким чином, щоб забезпечити його максимальну ефективність залежно від кількості циклів «заряду-розряду», які вже були виконані акумулятором [8].

Літій-полімерний (Li-Polymer) акумулятор. Первинна концепція літій-полімерної батареї базується на використанні твердого полімерного електроліту. Такий підхід забезпечує технологічність виробництва і, відповідно, потенційно нижчу вартість. Основні переваги Li-Polymer акумуляторів:

- висока щільність енергії, приблизно у три рази більша, ніж у нікель-кадмієвих акумуляторів;
- дуже низький саморозряд;
- малі габарити.

Використання твердого електроліту дозволяє зменшити товщину елементів акумулятора до близько 1 мм. Оскільки така конструкція не містить рідкого електроліту та складається з багат шарових полімерних плівок, стає можливим створення гнучких форм корпусу. Це дозволяє виготовляти акумулятори надзвичайно малої товщини та надавати їм необхідну форму (наприклад, повторювати геометрію корпусу мобільного пристрою). Недоліки літій-полімерних акумуляторів:

- не здатні віддавати великі струми розряду;
- чутливі до низьких температур.

Свинцево-кислотний (LEAD ACID) акумулятор. На відміну від інших типів акумуляторів, свинцево-кислотні батареї зазвичай застосовуються у випадках, коли потрібна велика ємність, вимоги до маси не є критичними, а вартість акумулятора повинна залишатися низькою. Переваги герметичних свинцево-кислотних (SLA) акумуляторів:

- відносно низька вартість;
- повна відсутність «ефекту пам'яті»;
- низький саморозряд;
- у сучасних герметичних свинцево-кислотних акумуляторах, залежно від середньої глибини розряду, кількість циклів може досягати 800–1000.

Недоліки SLA-батарей:

- серед акумуляторів, що перезаряджаються, SLA мають найнижчу питому ємність, хоча в багатьох випадках це не є критичним параметром;
- на відміну від Ni-Cd, свинцево-кислотні акумулятори чутливі до глибоких розрядів, що безпосередньо призводить до зменшення кількості циклів заряду-розряду.

За результатами проведеного аналізу приймаємо до використання герметичні свинцево-кислотні акумулятори, а саме гелеві свинцево-кислотні акумулятори, які є найбільш рекомендованими для застосування в системах з використанням відновлюваних джерел енергії.

Конструкція гелевих акумуляторів є модифікацією свинцево-кислотного акумулятора. До електроліту додається гелеутворюючий компонент, що зменшує його рухливість усередині батареї.

У багатьох гелевих акумуляторах також застосовуються односпрямовані клапани замість відкритих вентиляційних отворів, що сприяє повторному розчиненню газів у воді всередині акумулятора та знижує інтенсивність газоутворення. У акумуляторах з «гелевим електролітом» виключається можливість витікання навіть у разі пошкодження корпусу. Гелеві акумулятори допускають глибину розряду до 60% практично без скорочення терміну служби.

Акумуляторна батарея HEGEL GEL 200-12 12V 200Ah – це надійне та ефективне рішення для забезпечення резервного живлення та автономних систем енергопостачання. Цей акумулятор підходить для різноманітних застосувань, таких як системи безперебійного живлення (UPS), сонячні енергосистеми, телекомунікаційні системи та інші пристрої, що потребують

					КРБ.АТЕіРС.1.58-03.3.4	Арк
						50
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

стабільного джерела енергії Ідеально підходить для використання в автономних та гібридних сонячних системах, забезпечуючи стабільне живлення та збільшуючи ефективність роботи сонячних панелей. [7].

Технічні характеристики акумуляторної батареї HEGEL GEL 200-12 12V 200Ah

Таблиця 2.4

Параметр	Значення
Тип батареї	Гелевий
Номинальна напруга постійного струму, В	12 – 12,8
Номинальна ємність, Ah	200
Максимальний струм розряду, А (протягом 5 секунд)	1500
Ресурс	більше 1200 циклів за 50% DOD (глибина розряду)
Внутрішній опір, мОм	<3,5
Робочі температури, °C	
заряд	-10 ... +40
розряд	-20 ... +50
зберігання	-20°C ... +40
Габаритні розміри(Д x Ш x В), мм	522 x 238 x223

Необхідну кількість акумуляторної батареї для сонячної електростанції визначають за добовим споживанням електроенергії, допустимою глибиною розряду та напругою акумуляторного блоку.

Добове споживання одного будинку:

$$E_{day} = 15,34 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Частка, що покривається сонячною генерацією — 65 %:

$$E_{PV} = 15,34 \cdot 0,65 = 9,97 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Для 90 будинків:

$$E_{tot} = 9,97 \cdot 90 = 897,3 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Ємність акумулятора:

$$C_{акб} = 200 \text{ А}\cdot\text{год}$$

Запас енергії одного акумулятора:

$$E_{акб} = U_{акб} \cdot C_{акб} = 12 \cdot 200 = 2400 \text{ Вт}\cdot\text{год} = 2,4 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Але GEL-акумулятори не можна розряджати на 100 %.
Для них зазвичай приймають допустиму глибину розряду:

$$DOD = 0,6$$

Тоді корисний запас енергії одного АКБ:

$$E_{акбuse} = 2,4 \cdot 0,6 = 1,44 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Добова потребу, яку покриває сонячна система:

$$E_{PV} = 897,3 \text{ кВт}\cdot\text{год/добу}$$

Повністю акумуляувати таку енергію недоцільно, тому приймаємо резервування лише частини навантаження, наприклад 10 % добового споживання.

Тоді необхідний запас:

$$E_{res} = 897,3 \cdot 0,1 = 89,7 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Необхідна кількість акумуляторів:

$$N_{акб} = \frac{89,7}{1,44} = 62,3 \approx 63$$

Отже, для резервування 10 % добового навантаження потрібно приблизно 63 акумулятори. Для симетричної схеми можна прийняти 64 акумулятори:

- по 4 АКБ послідовно;
- 16 паралельних гілок.

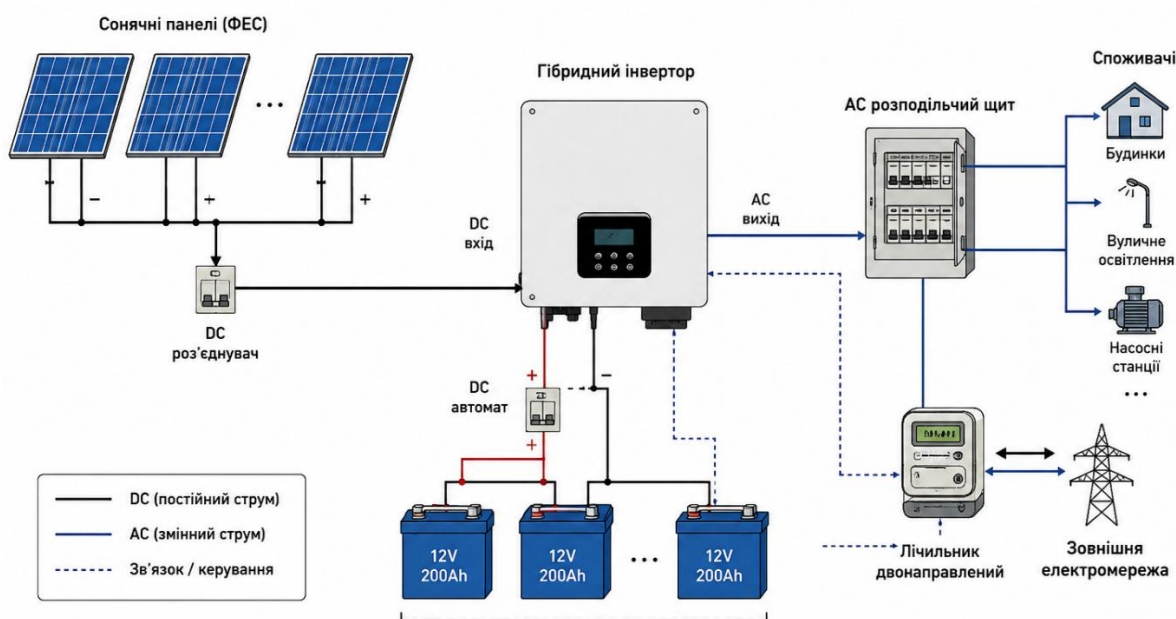


Рис.2.11 Типова схема сонячно-акумуляторної системи живлення

2.8 Зарядний пристрої (контролер)

Найпростіші контролери заряду працюють за принципом відключення джерела енергії (сонячної батареї) при досягненні номінальної напруги на акумуляторній батареї (АБ). Коли напруга на акумуляторі знижується до певного рівня, сонячна батарея знову підключається, і процес заряджання відновлюється. У такому режимі максимальний рівень заряду акумулятора становить приблизно 60–70%. Регулярний недозаряд призводить до сульфатації пластин і значного скорочення терміну служби акумуляторної батареї. Більш сучасні та складні контролери використовують на завершальній стадії заряду технологію широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) зарядного струму. Це дозволяє забезпечити заряд акумулятора до 100% ємності.

Процес заряджання акумулятора від сонячної батареї включає чотири основні етапи:

1. Заряд максимальним струмом. На цьому етапі акумулятор отримує весь струм, що генерується фотоелектричними модулями.

2. ШІМ-заряд. Після досягнення певного рівня напруги контролер переходить у режим підтримання сталої напруги шляхом широтно-імпульсної модуляції зарядного струму. Це дозволяє уникнути перегріву та газоутворення в акумуляторі, а струм поступово зменшується у міру заряджання.

3. Вирівнювання (Equalization). Для акумуляторів з рідким електролітом періодичний заряд до рівня газоутворення покращує їх роботу. При цьому вирівнюється напруга на окремих секціях, очищуються пластини та перемішується електроліт.

4. Підтримуючий заряд (Float charge). Підтримується повний заряд акумулятора без перезаряду, компенсуючи саморозряд батареї.

Коли акумуляторна батарея (АБ) повністю заряджена, зарядна напруга знижується для запобігання подальшому нагріванню або газоутворенню всередині батареї. Таким чином, АБ підтримується у повністю зарядженому стані.

Обираємо контролер MPPT 40A (Tracer 4210AN – Epever).



TIPP ZU EINBAU

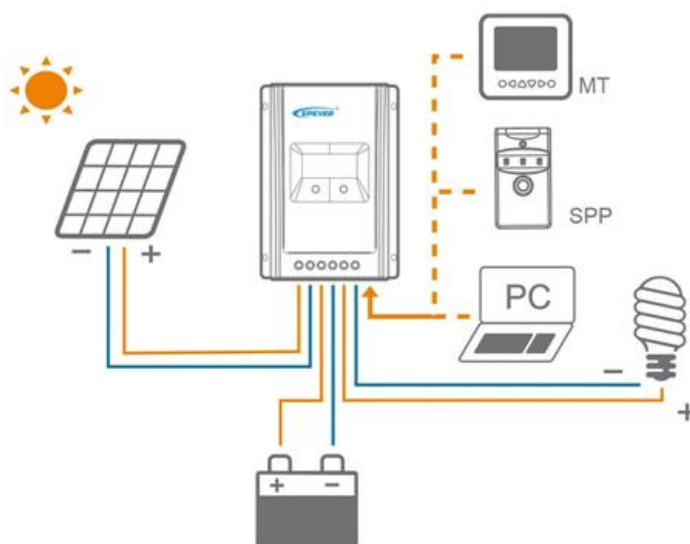


Рис. 2.12 Контролер заряду від сонячних батарей MPPT 40A (Tracer 4210AN – Epever)

Особливості серії EPEVER TRACER:

- вбудований дисплей;
- автоматичне обмеження вхідної потужності від сонячної батареї;
- великий ККД (ККД MPPT 99,5%, ККД контролера 98%);

Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата

- підтримка вибору типу акумулятора AGM, GEL, заливний або ручні настройки;

- збережена сумісність з виносним дисплеєм MT-50;

- вбудований таймер має кілька алгоритмів роботи.

З'явилася можливість з'єднання через інтернет за допомогою додаткового модуля eBox - 1 з підтримкою протоколів TCP / UDP / SNMP. З'єднання з ПК можливо за допомогою CC-USB-RS485-150U.

Технічні характеристики Tracer 4210AN – Epever

Таблиця 2.5

Параметр	Значення
Номінальна потужність, Вт	520
Номінальний струм, А	40
Напруга, В	12
Діапазон робочих температур, °C	-25 ... +45
Ступінь захисту	IP30
Вага, кг	1,65
Розміри, мм	252 x 63 x 180

РОЗДІЛ 3. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

3.1 Математична модель системи електропостачання приватного будинку із застосуванням сонячних панелей

З урахуванням різних параметрів і технічних обмежень, моделювання є початковим етапом проєктування систем відновлюваної енергетики. У науковій літературі представлено значну кількість математичних моделей, що описують роботу та поведінку сонячних фотоелектричних панелей [18]. Фотоелектричний елемент є нелінійним електротехнічним пристроєм, який зазвичай моделюється як джерело струму. Основне характеристичне рівняння фотоелектричної комірки

$$I = I_{ph} - I_0 \left(\exp \left(\frac{q(V + IR_s)}{nkT} \right) - 1 \right) - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \quad (3.1)$$

де I — вихідний струм фотоелектричної комірки

V — напруга на виході

I_{ph} — фотострум (залежить від рівня сонячного випромінювання)

I_0 — струм насичення діода

q — заряд електрона

k — стала Больцмана

T — температура (Кельвіни)

n — коефіцієнт ідеальності діода

R_s — послідовний опір

R_{sh} — шунтуючий опір

Потужність фотоелектричної панелі визначається двома основними метеорологічними факторами: рівнем сонячного випромінювання (Вт/м²) та температурою поверхні сонячної батареї (°C).

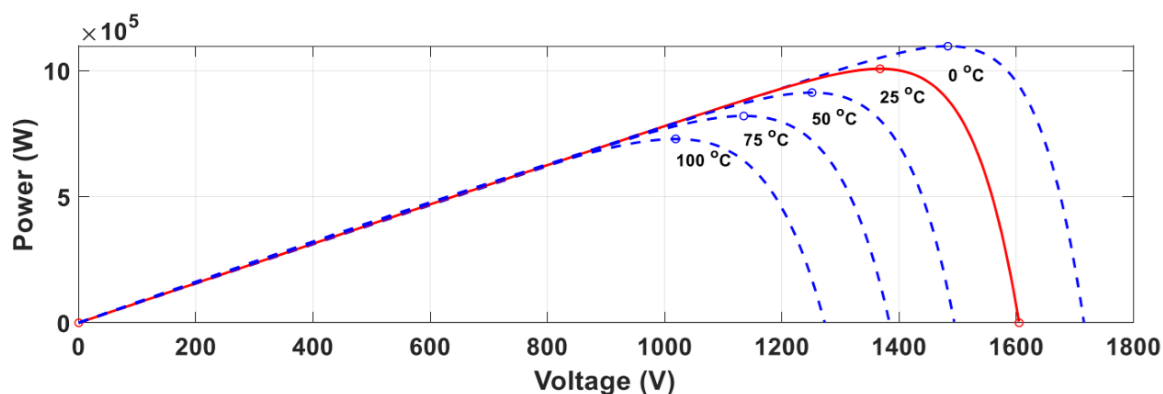


Рис. 3.1 – Характеристики потужності та напруги сонячних панелей при різних температурах

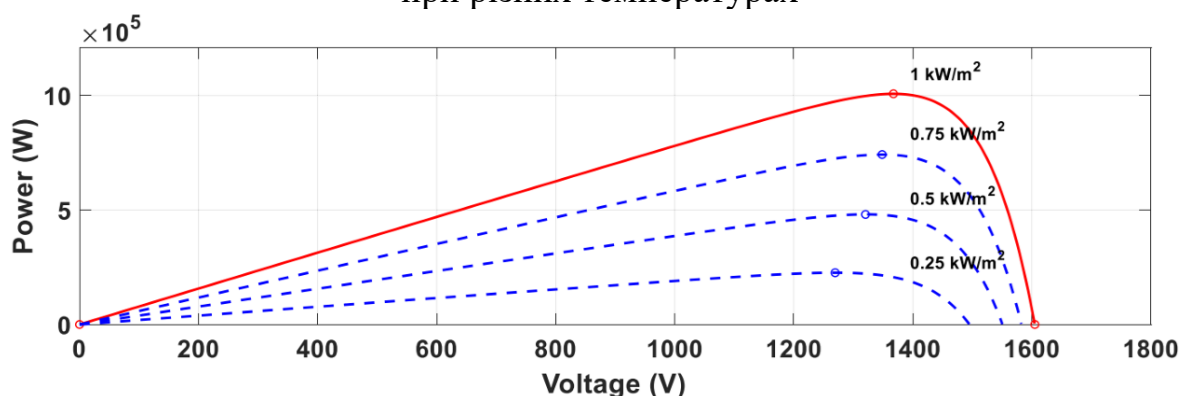


Рис. 3.2 Характеристики потужності та напруги сонячних панелей при різному освітленні

Модуль матриці сонячної панелі в Matlab/Simulink формує характеристичні залежності напруги на основі параметрів, заданих користувачем, таких як тип фотоелектричного елемента, кількість паралельно з'єднаних осередків та кількість послідовно з'єднаних елементів за різних умов навколишнього середовища. Характеристичні криві «потужність–напруга» для фотоелектричних панелей потужністю 1 МВт наведені на рис. 3.1 та 3.2. Точки роботи в режимі максимальної потужності позначені на відповідних кривих у вигляді маркерів.

Технологія відстеження точки максимальної потужності (MPPT — Maximum Power Point Tracking) широко застосовується для забезпечення отримання максимально можливої енергії від фотоелектричної матриці. Серед найбільш поширених методів MPPT виділяють алгоритми додаткової

провідності, «збурення та спостереження», методи на основі вимірювання струму короткого замикання та напруги холостого ходу.

У загальному випадку, особливо для систем електропостачання приватних будинків із сонячними панелями, фотоелектрична батарея живить односпрямований підвищувальний перетворювач, а алгоритм MPPT використовується для регулювання коефіцієнта заповнення силового перетворювача, що дозволяє отримати максимальну потужність від сонячної енергетичної системи.

Розрахунок сумарної сонячної радіації:

$$G(t, \theta_{pv}) = G_d(t) \cos(\theta_{pv}) + G_H(t) \sin(\theta_{pv}) \quad (3.2)$$

де $G(t, \theta_{pv})$ — сумарна сонячна радіація на площину панелі

$G_d(t)$ — пряма складова сонячного випромінювання

$G_H(t)$ — розсіяна (дифузна) складова

θ_{pv} — кут нахилу фотоелектричної панелі

Вихідна потужність фотоелектричної системи

$$P_{pv} = \frac{G}{1000} \cdot P_{pv.rated} \cdot \eta_{MPPT} \quad (3.3)$$

Де P_{pv} — вихідна потужність системи, Вт

G — фактична сонячна радіація, Вт/м²

$P_{pv.rated}$ — номінальна потужність фотоелектричної установки (STC)

η_{MPPT} — ККД роботи MPPT-контролера

1000 Вт/м² — стандартні умови тестування (STC)

Зазвичай температура фотоелектричного модуля значно перевищує температуру навколишнього середовища, що призводить до зниження вихідної потужності фотоелектричної системи та погіршення її енергетичних характеристик. Ефективний спосіб оцінювання температури фотоелектричної комірки зазвичай виконується за емпіричною моделлю на основі номінальної робочої температури модуля (NOCT):

$$T_c = T_a + \frac{(NOCT - 20)}{800} G \quad (3.4)$$

де T_c — температура фотоелектричної комірки, °C;

T_a — температура навколишнього середовища, °C;

$NOCT$ — номінальна робоча температура модуля (°C);

G — поточна сонячна радіація, Вт/м²;

800 Вт/м² — стандартні умови випробувань для $NOCT$.

Інструмент апроксимації кривих застосовується для визначення коефіцієнтів регресійної моделі a , b , c та d . У результаті залежність для прогнозування температури фотоелектричної комірки може бути записана у вигляді поліноміального рівняння:

$$T_c = ax^3 + bx^2 + cx + d \quad (3.5)$$

де T_c — прогнозована температура фотоелектричної комірки, °C;

x — незалежна змінна (наприклад, температура навколишнього середовища T_a або інший впливовий параметр, залежно від моделі);

a, b, c, d — коефіцієнти регресії, отримані методом апроксимації кривої.

Максимальна потужність, яку можуть виробляти сонячні панелі, визначається рівнем сонячного випромінювання та температурними умовами. Оскільки фотоелектричні системи мають нелінійні вольт-амперні та потужнісно-напругові характеристики, будь-які зміни інсоляції або температури призводять до зміни вихідної напруги на клемі і, відповідно, до відхилення від режиму максимальної генерації електроенергії.

Для підтримання роботи в оптимальному режимі застосовується алгоритм відстеження точки максимальної потужності (MPPT – Maximum Power Point Tracking), який автоматично регулює робочу напругу фотоелектричної системи, наближаючи її до точки максимальної

потужності за змінних погодних умов з метою максимізації відбору енергії від сонячних панелей. У результаті MPPT є ключовим елементом у забезпеченні ефективності та проектних характеристик сонячних енергетичних систем.

3.2 Імітаційне моделювання автономної сонячної електростанції

Модель еквівалентної схеми являє собою теоретичне представлення принципової електричної схеми, яка відображає основні електричні характеристики пристрою. Важливо зазначити, що елементи, які входять до складу такої моделі, фізично не присутні в реальній конструкції фотоелектричного модуля.

Такі моделі застосовуються для наочного представлення процесів та спрощення розрахунків, пов'язаних із поведінкою сонячної комірки. Вони є важливим інструментом для аналізу фізичних процесів у пристроях, пояснення характерних електричних явищ, а також для підвищення ефективності проектування фотоелектричних систем. На рис. 3.3 наведено еквівалентну електричну схему сонячної батареї [8].

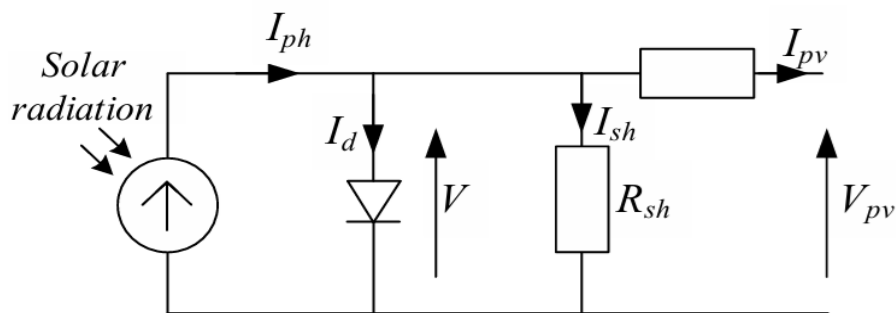


Рис. 3.3 Основна електрична схема сонячної батареї

де I_{ph} — фотогенерований струм сонячного елемента, А;

I_d — струм через діод, А;

I_{sh} — струм витоку через шунтуючий опір, А;

R_s — послідовний опір фотоелемента, 0,0001 Ом;

R_{sh} — шунтуючий (паралельний) опір сонячної батареї, 1000 Ом.

$$I_{ph} = [I_{sc} + K_i(T_a - T_r)] \cdot \frac{G}{1000} \quad (3.6)$$

$$I_{sh} = \frac{V + I_p R_s \cdot \frac{N_s}{N_p}}{R_{sh}} \quad (3.7)$$

де I_{ph} — фотогенерований струм, А;

I_{sc} — струм короткого замикання, А;

K_i — температурний коефіцієнт струму, А/°С;

T_a — температура навколишнього середовища, °С;

T_r — референтна температура, °С;

G — сонячна інсоляція (радіація), Вт/м²;

V — вихідна напруга, В;

I_p — струм фотоелемента, А;

R_s — послідовний опір, Ом;

R_{sh} — шунтуючий опір, Ом;

N_s — кількість послідовно з'єднаних елементів;

N_p — кількість паралельних гілок.

Струм діода у фотоелектричній комірці:

$$I_d = I_0 \left(\exp \left(\frac{V + I_p R_s \cdot \frac{N_s}{N_p}}{N_s n V_t} \right) - 1 \right) \quad (3.8)$$

де N_s і N_p — відповідно кількість фотоелементів, з'єднаних послідовно та паралельно;

n - коефіцієнт ідеальності діода;

V_t - теплова напруга діода.

$$V_t = \frac{kT}{q} \quad (3.9)$$

де k — стала Больцмана, $1.3806 \cdot 10^{-23}$ Дж·К $^{-1}$;

q — заряд електрона, $1.6022 \cdot 10^{-19}$ Кл;

I_0 — струм насичення діода, який залежить від температури комірки,

А.

$$I_0 = I_{rs} \left(\frac{T_a}{T_r} \right)^3 \exp \left(\frac{q \cdot E_{sg}}{n \cdot k} \left(\frac{1}{T_a} - \frac{1}{T_r} \right) \right) \quad (3.10)$$

де I_{rs} – модуль зворотнього струму насичення

$$I_{rs} = \frac{I_{sc}}{\exp \left(\frac{q V_{oc}}{N_s \cdot k \cdot n \cdot T_a} \right) - 1} \quad (3.11)$$

Наведені математичні рівняння застосовуються для моделювання роботи сонячної панелі в середовищі MATLAB/Simulink. На рисунку 3.4 показано Simulink-модель сонячної панелі.

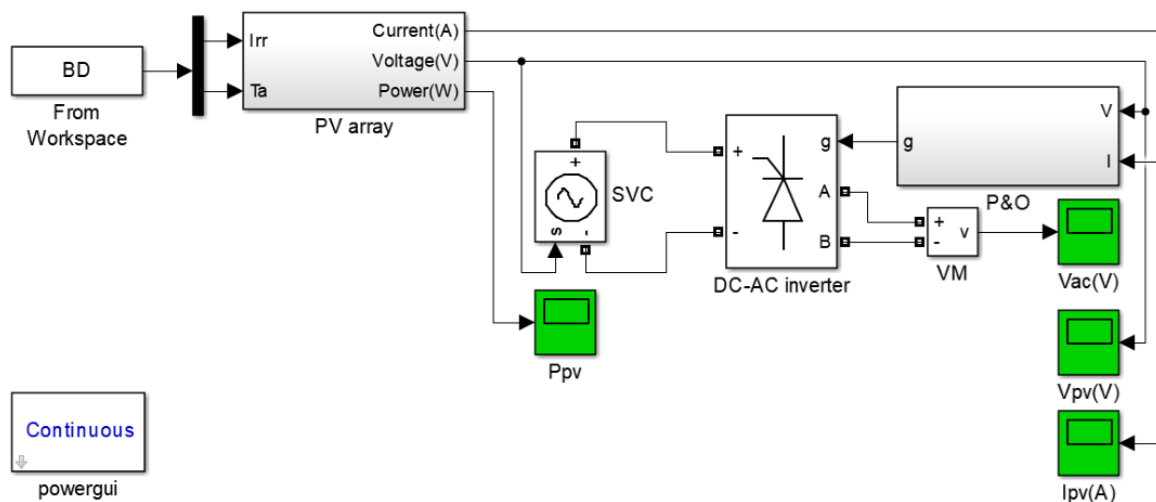


Рис. 3.4 Модель сонячної панелі у Simulink

Фотоелектричний масив (PV array) підключений до таких компонентів:

- інвертора постійного/змінного струму, що працює за алгоритмом P&O MPPT;
- однофазного навантаження змінного струму.

Окрім цього, система має два вхідні параметри — рівень сонячного випромінювання та температуру навколишнього середовища. Зміна цих параметрів наведена на рис. 3.6 та рис. 3.7. Дані отримані в Центральна геофізична обсерваторія імені Бориса Срезневського, м. Київ, для хмарного весняного дня у квітні в проміжку часу з 07:00 до 17:50.

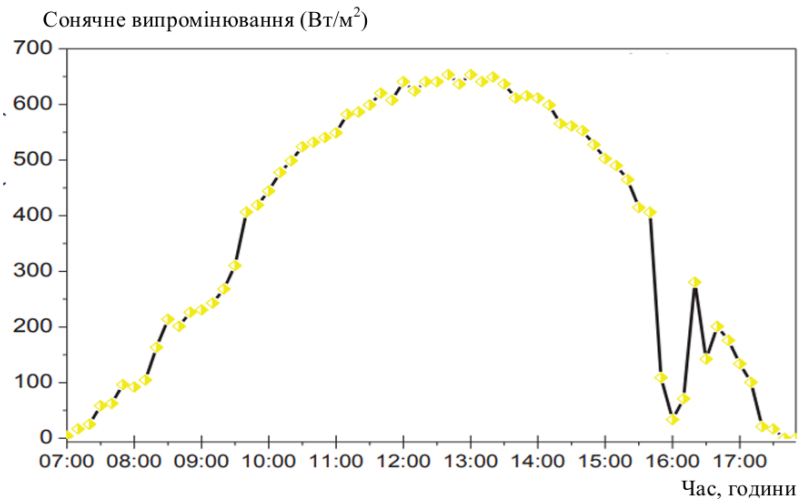


Рис. 3.5 Зміна сонячного випромінювання

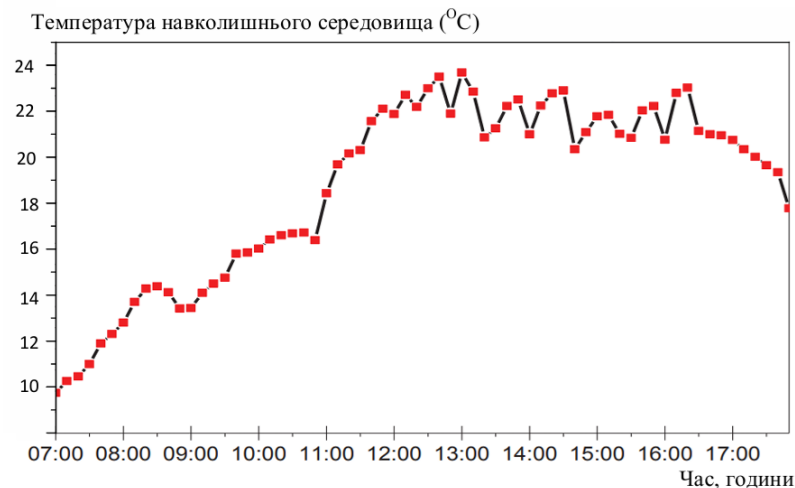


Рис. 3.6 Зміна температури навколишнього середовища

Графіки, наведені на рис. 3.8–3.10, демонструють результати моделювання, отримані в ході даного дослідження. На рис. 3.8 показано зміну струму, на рис. 3.9 — зміну напруги, а на рис. 3.10 наведено залежність потужності, що генерується сонячною панеллю.

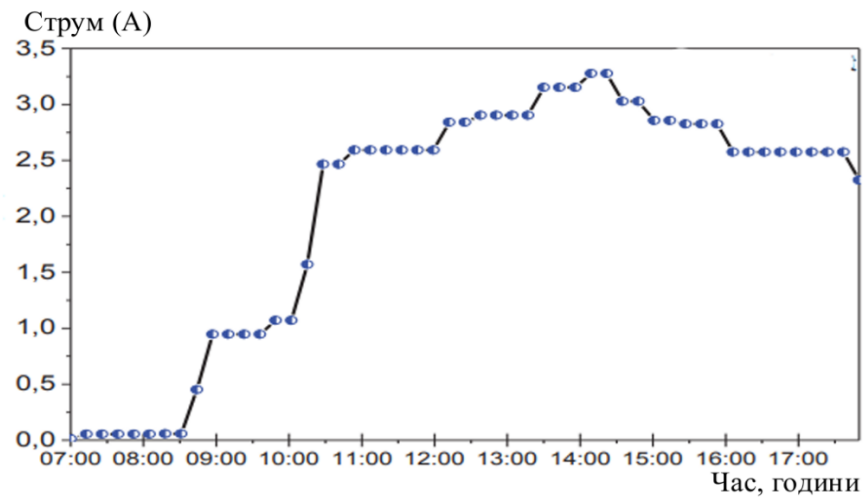


Рис. 3.7 Зміна струму сонячної панелі

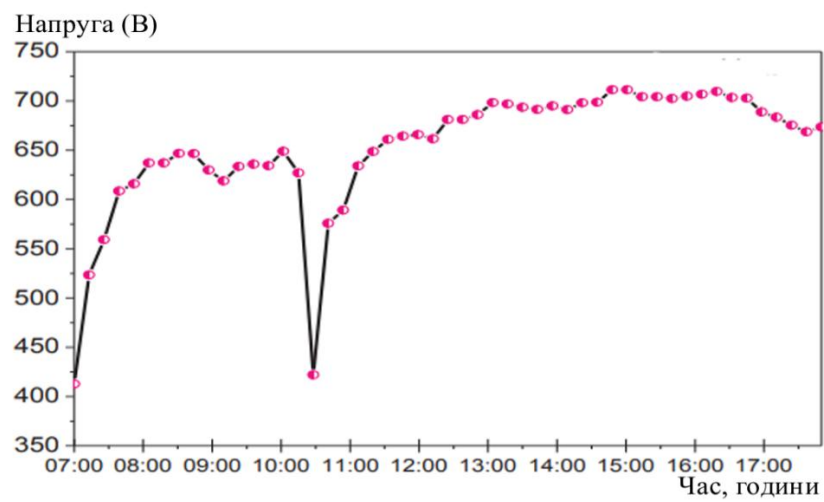


Рис. 3.8 – Зміна напруги сонячної панелі

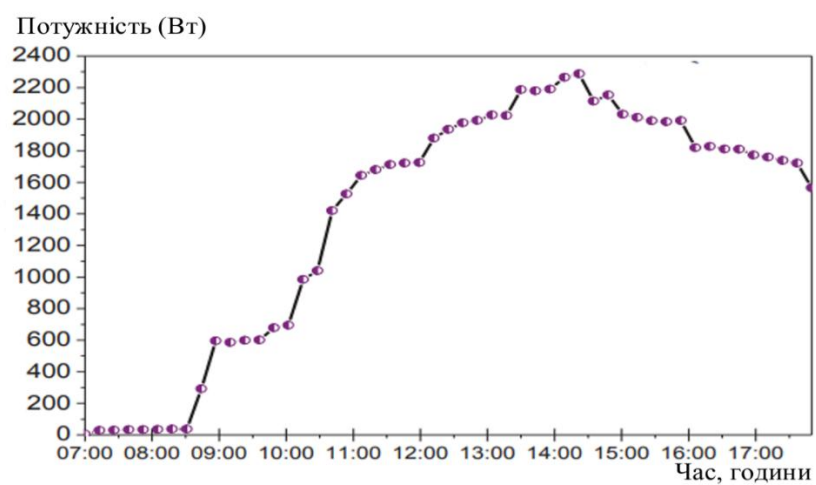


Рис. 3.9 – Зміна потужності сонячної панелі

Зміна потужності, напруги та струму залежить від рівня сонячного випромінювання і температури навколишнього середовища. Найбільших значень ці параметри досягають у полуденний час, коли інтенсивність сонячного випромінювання та температура є максимальними. На рис. 3.11 наведено зміну вихідної напруги змінного струму, що формується інвертором DC/AC.

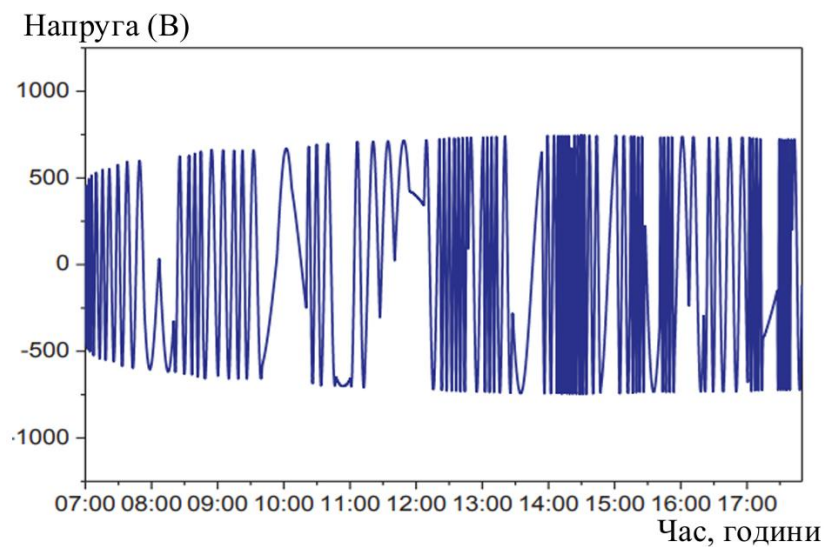


Рис. 3.10 – Зміна вихідної напруги змінного струму

РОЗДІЛ 4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК

4.1 Розрахунок капітальних витрат

Для обчислення запропонованої у дипломному проекті модернізації необхідно провести розрахунок витрат, якій складається з:

1. Капітальні витрати.
2. Експлуатаційні витрати: визначення річних витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт;

Капітальні інвестиції – кошти, призначені для створення і придбання основних фондів і нематеріальних активів включають наступні витрати:

- придбання обладнання;
- виконання монтажних робіт;
- налагоджувальні роботи;
- транспортні витрати.

Розрахунок вартості технічного обладнання

Таблица 4.1

Найменування	Ціна за одиницю, грн	Кількість	Вартість, грн
Солнечная панель Longi Solar 450	3700	190шт	703000
Інвертор Huawei SUN2000-115KTL-M2	253600	1шт	253600
Акумулятор HEGEL GEL 200-12 12V	14800	64шт	947200
Контролер заряду EPEVER TRACER 4210AN	7400	1шт	7400
Кабель сонячний 6 мм ² PV	40	30м	1200
Стіл для монтажу панелей	32000	3шт	96000
Конструкція для кріплення інвертору	4600	1шт	4600
Кабель АПВБГ-13х70+1х35 мм ²	145	150м	21750
Комутаційна автоматика TOMZN ATS 3P 100A	1700	1шт	1700
Автоматичний вимикач IEK BA88-37 3P 250A 35кА MASTER	3100	1шт	3100
ПЗП Schneider EZ9L33745 3P+N 45кА	4400	1шт	4400
Всього			2043950

Величина проектних капіталовкладень ($K_{пр}$) за формулою:

$$K_{пр} = K_{об} + K_{т} + K_{дм} + K_{н} + K_{пк} \quad (4.1)$$

$$K_{об} = 2043950 \text{ грн}$$

де $K_{об}$ - сумарна вартість придбання обладнання, необхідного для реалізації проекту;

$K_{т}$ – транспортні витрати;

$K_{дм}$ – витрати на демонтажні, монтажні роботи;

$K_{н}$ - витрати на налагоджувальні роботи;

$K_{пк}$ – інші одноразові вкладення на придбання комплектуючих елементів, становлять приблизно 10% від вартості обладнання.

Витрати на транспортування, монтаж і наладку розраховуються за допомогою цін, прейскурантів, тарифів підприємств-перевізників та підприємств, які займаються монтажними і пусконаладжувальними роботами. Визначаємо ці витрати на рівні 5% від вартості обладнання.

$$K_{пр} = 2043950 + 102197,5 + 102197,5 = 2248345 \text{ грн.}$$

4.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати являють собою поточні грошові витрати, пов'язані з експлуатацією та технічним обслуговуванням об'єкта проектування протягом одного року.

Загальні річні експлуатаційні витрати визначаються як:

$$B_{заг} = B_з + B_с + B_т + B_{ін}$$

де $B_з$ - заробітна плата обслуговуючого персоналу;

$B_с$ - єдиний соціальний внесок;

$B_т$ - витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт обладнання і мереж;

$B_{ін}$ - інші експлуатаційні витрати.

Для даного об'єкта амортизаційні відрахування окремо не

					КРБ.АТЕіРС.1.58-03.3.4	Арк
						68
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

враховуються, оскільки сонячна електростанція розглядається як автономна система електропостачання побутового призначення. Витрати, пов'язані зі зносом обладнання, враховані у складі експлуатаційних витрат на технічне обслуговування та поточний ремонт.

4.3 Розрахунок річного фонду заробітної плати

Розрахунок річного фонду заробітної плати виконується за категоріями персоналу (робітники, КІПіА та інший обслуговуючий персонал), які забезпечують експлуатацію об'єкта проєктування. При цьому враховуються їхня чисельність, режим роботи, погодинні тарифні ставки або посадові оклади, а також діючі на підприємстві системи оплати праці та преміювання. Основна заробітна плата є винагородою за виконання встановлених норм праці (норми часу, виробітку, обслуговування та посадові обов'язки). Вона визначається на основі тарифних ставок, відрядних розцінок або посадових окладів для спеціалістів, службовців і керівників. При розрахунку основної заробітної плати робітників (за погодинною або відрядною системою) враховується погодинна тарифна ставка відповідного розряду та номінальний річний фонд робочого часу.

Додаткова заробітна плата являє собою оплату за роботу понад установлені норми, а також за особливі умови праці. До її складу входять премії за виконання виробничих завдань, доплати та надбавки, а також гарантійні й компенсаційні виплати, передбачені законодавством (за роботу в нічний і вечірній час, у шкідливих і важких умовах, при багатозмінному режимі, за керівництво бригадою, навчання учнів тощо).

Для обслуговуючого персоналу додаткова заробітна плата приймається на рівні 10–15% від основної заробітної плати.

Номінальний річний фонд робочого часу одного працівника F_n визначається залежно від режиму роботи, тобто з урахуванням кількості робочих днів та тривалості робочої зміни:

$$F_{\text{рч}} = (D_{\text{к}} - D_{\text{св}} - D_{\text{вих}}) \cdot T_{\text{зм}} = (365 - 11 - 104) \cdot 8 = 2000 \text{ год}$$

де $D_{\text{к}}$ — кількість календарних днів у році;

$D_{\text{св}}$ — кількість святкових днів;

$D_{\text{вих}}$ — кількість вихідних днів;

$T_{\text{зм}}$ — тривалість робочої зміни, год.

При 24-годинної робочої зміни в режимі доба через три:

$$\frac{365 \cdot 24}{4} = 2190$$

Розрахунок основної заробітної плати обслуговуючого персоналу

Таблица 4.2

Працівник	Штатна кількість	Ставка погодинної оплати, грн	Номінальний річний фонд робочого часу, год	Річна заробітна плата, грн
Електрик	1	70	2000	140000
Охоронець	4	60	2190	525600
Всього				665600

Відрахування на ЄСВ розраховуються відповідно до чинного законодавства як відсоток від суми основної та додаткової заробітної плати.

Розмір ставки ЄСВ становить 22% від фонду оплати праці.

$$B_3 = 0,22 \cdot B_3 = 0,22 \cdot 665600 = 146432 \text{ грн}$$

4.4 Річні витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт

В даному проєкті ремонтні роботи та заміна обладнання виконуються силами персоналу, який постійно перебуває на об'єкті. Залучення сторонніх

					КРБ.АТЕіРС.1.58-03.3.4	Арк
						70
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

організацій для проведення ремонтних робіт не передбачається. У зв'язку з цим витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт формуються лише за рахунок вартості матеріалів та замінюваних елементів обладнання.

За відсутності детальних вихідних даних витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт можуть визначатися за методом укрупнених розрахунків у вигляді відсотка від капітальних витрат на окремі елементи сонячної електростанції.

Для обладнання сонячної електростанції приймаються такі нормативні значення:

- для фотоелектричних панелей — 1,5–2% від їх капітальної вартості;
- для акумуляторних батарей — 2–3%;
- для інверторного обладнання — 1–2%;
- для кабельних ліній і комутаційного обладнання — 1–1,5%.

Таким чином, загальні витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт визначаються як сума відповідних часток від вартості кожного елемента системи.

$$B_{\text{рем}} = 44966,9 + 67450,35 + 44966,9 + 33725,175 = 191109,33 \text{ грн}$$

4.5 Річна економія електроенергії

Добове споживання всього села

$$W_{\text{доб}} = 15,34 \cdot 90 = 1\,380,6 \text{ кВт}\cdot\text{год/добу}$$

Річне споживання

$$W_{\text{річ}} = 1\,380,6 \cdot 365 = 503\,919 \text{ кВт}\cdot\text{год/рік}$$

Частка покриття СЕС

65% — сонячна енергія

35% — з мережі (ЛЕП)

Енергія, яку заміщає СЕС:

$$W_{\text{СЕС}} = 503\,919 \cdot 0,65 = 327\,547 \text{ кВт}\cdot\text{год/рік}$$

Тариф для побутових споживачів 4,32 грн/кВт·год

$$C = (503\,919 - 327\,547) \cdot 4,32 = 761927,04 \text{ грн/кВт·год}$$

Річна економія

$$E = (503\,919 \cdot 4,32) - 761927,04 = 1415003,04 \text{ грн/рік}$$

Термін окупності капіталовкладень визначається як співвідношення інвестицій та річних витрат на обслуговування к річної економії електроенергії:

$$T_{\text{ок}} = \frac{S_i}{E} = \frac{3191486,33}{1415003,04} = 2,3 \text{ року}$$

Результати виконаних техніко-економічних розрахунків свідчать про доцільність встановлення сонячних панелей для електропостачання населеного пункту, використання сонячної електростанції дозволяє суттєво зменшити витрати на споживання електроенергії, скоротити залежність від централізованих електромереж та забезпечити значну економію коштів у процесі експлуатації системи.

Крім економічного ефекту, впровадження фотоелектричної системи підвищує рівень енергетичної незалежності села. Використання відновлюваних джерел енергії також сприяє покращенню екологічної ситуації та зниженню викидів шкідливих речовин у навколишнє середовище.

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Загальні положення

Під час проєктування та експлуатації сонячної електростанції необхідно забезпечити безпечні умови праці для обслуговуючого персоналу відповідно до вимог чинного законодавства України з охорони праці, правил улаштування електроустановок та норм пожежної безпеки.

Експлуатація фотоелектричних систем пов'язана з дією небезпечних та шкідливих виробничих факторів, основними з яких є:

- ураження електричним струмом;
- можливість виникнення коротких замикань;
- перенапруги в електричних мережах;
- небезпека виникнення пожежі;
- виконання монтажних робіт на висоті;
- вплив атмосферних факторів.

Для забезпечення безпечної роботи електрообладнання необхідно передбачити комплекс організаційних і технічних заходів, спрямованих на попередження аварійних ситуацій та травматизму.

5.2 Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Основною небезпекою під час експлуатації сонячної електростанції є можливість ураження електричним струмом при контакті з відкритими струмопровідними частинами обладнання.

Фотоелектричні панелі виробляють електричну енергію під дією сонячного випромінювання, тому навіть при відключенні мережі на виході панелей може залишатися небезпечна напруга постійного струму.

До небезпечних факторів також належать:

- нагрівання кабельних ліній та контактних з'єднань;
- можливість пошкодження ізоляції;

- виникнення електричної дуги;
- атмосферні перенапруги внаслідок грозових явищ;
- механічні пошкодження обладнання;
- ризик падіння працівників при монтажі панелей на висоті.

4.3 Заходи електробезпеки

Для забезпечення електробезпеки у проєкті передбачаються такі заходи:

- застосування автоматичних вимикачів для захисту від коротких замикань та перевантажень;
- встановлення пристроїв захисту від імпульсних перенапруг (ПЗІП);
- заземлення металевих корпусів обладнання;
- використання кабелів із подвійною ізоляцією;
- встановлення комутаційної апаратури для аварійного відключення системи;
- періодична перевірка стану ізоляції та контактних з'єднань.

Опір заземлювального пристрою повинен відповідати вимогам нормативних документів та забезпечувати надійний захист персоналу від ураження електричним струмом.

Роботи з обслуговування електрообладнання повинні виконуватись лише персоналом, який має відповідну групу допуску з електробезпеки.

4.4 Пожежна безпека

Причинами виникнення пожежі на сонячній електростанції можуть бути:

- короткі замикання;
- перевантаження електричних мереж;
- пошкодження ізоляції кабелів;
- перегрів контактних з'єднань;

- несправність інверторного обладнання.

Для зниження ризику виникнення пожежі необхідно:

- використовувати сертифіковане обладнання;
- забезпечити правильний вибір перерізу кабелів;
- встановити автоматичні вимикачі та запобіжники;
- проводити регулярний технічний огляд обладнання;
- забезпечити наявність первинних засобів пожежогасіння.

Для гасіння електрообладнання, що перебуває під напругою, необхідно використовувати вуглекислотні або порошкові вогнегасники.

4.5 Вимоги безпеки під час монтажу та експлуатації

Монтаж сонячних панелей повинен виконуватись із дотриманням правил безпеки при роботі на висоті. Працівники повинні використовувати:

- захисні каски;
- страхувальні пояси;
- діелектричні рукавиці;
- спеціальне взуття;
- інструмент з ізольованими ручками.

Перед початком ремонтних або профілактичних робіт необхідно:

- відключити обладнання від мережі;
- перевірити відсутність напруги;
- встановити попереджувальні знаки;
- виконати заземлення відключених ділянок.

Під час експлуатації необхідно регулярно проводити технічне обслуговування інверторів, акумуляторних батарей та кабельних ліній.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання дипломної роботи було проведено аналіз можливості використання сонячної електростанції для забезпечення електропостачання житлового сектору села. Розглянуто сучасні підходи до застосування відновлюваних джерел енергії, виконано вибір основного обладнання фотоелектричної системи та досліджено принцип її роботи.

У роботі проведено розрахунок енергоспоживання житлових будинків, визначено необхідну потужність сонячної електростанції, а також підібрано основні елементи системи: сонячні панелі, інверторне обладнання, акумуляторні батареї, зарядні пристрої та кабельну продукцію. Було виконано математичне моделювання роботи фотоелектричної системи в середовищі MATLAB Simulink, у результаті чого отримано графіки зміни струму, напруги та потужності сонячної панелі залежно від рівня сонячного випромінювання та температури навколишнього середовища.

Результати моделювання показали, що максимальні значення електричних параметрів досягаються у період найбільшої сонячної активності, що підтверджує ефективність використання фотоелектричних панелей у кліматичних умовах України.

У техніко-економічній частині роботи виконано розрахунок капітальних вкладень, річної економії електроенергії та строку окупності проєкту. Отримані результати свідчать про економічну доцільність встановлення сонячної електростанції для електропостачання села. Використання сонячних панелей дозволяє значно зменшити споживання електроенергії з централізованої мережі та підвищити рівень енергетичної незалежності населеного пункту.

Таким чином, результати виконаної роботи підтверджують технічну та економічну ефективність використання сонячної електростанції для автономного та резервного електропостачання житлового сектору села.

					КРБ.АТЕіРС.1.58-03.3.4	Арк
						76
Змн.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Енергетична стратегія України на період до 2030 року. Відомості Міністерства палива та енергетики України, Інформ.-аналіт. бюлетень МПЕ. Спецвипуск.- К.: 2006.-114 с.
2. Синєглазов В. М. Відновлювальна енергетика: навчальний посібник / В. М. Синєглазов, О. А. Зеленков, Ш. І. Аскеров, Б. І. Дмитренко – К.: НАУ, 2015. – 278с.
3. Сиротюк С.В. Альтернативні джерела енергії. Енергія вітру: Навч. посіб. / С.В. Сиротюк, В.М. Боярчук, В.П. Гальчак. – Львів: «Магнолія 2006», 2018. – 182 с.
4. Сонячна енергетика: теорія та практика : монографія / Й. С. Мисак, О. Т. Возняк, О. С. Дацько, С. П. Шаповал ; Нац. ун-т «Львівська політехніка». – Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2014. – 340 с.
5. Спеціальні розділи енергетики. Нетрадиційна та відновлювана енергетика. Підручник / О.М. Сінчук, С.М. Бойко, І.О. Сінчук, О.М. Ялова, - Кременчук: ПП Щербатих О.В., 2017. – 218 с.
6. СОУ НЕК 341.001:2019 Вимоги до вітрових та сонячних електростанцій при їх роботі паралельно з об'єднаною енергетичною системою України. НПЦР ОЕС України, 2019.
7. Кононенко А.І., Храповицький І.С., Щелкунова Л.І. Математичне програмування: Тексти лекцій – Харків, ХДТУБА, 2010. – 114 с.
8. Шаповал С. П., Вознюк О. Т. Математичне моделювання надходження сонячної енергії на потрійно-орієнтовану систему сонячних колекторів. Науковий вісник НЛТУ України. Вип. 20.10. К., 2010. С. 313–316.
9. Щур І. З., Климко В. І. Прогнозування ефективності роботи фотоелектричних панелей у місті Львові. Вісник національного університету «Львівська політехніка». Електроенергетичні та електромеханічні системи. 2014. № 785. С. 88–94.

10. Прогрес 21. Нові енергетичні системи: Розрахунок потоку сонячної радіації. URL: www.progress21.com.ua. (дата звернення: 10.10.2022).

11. АЕЕ. Інститут сталих технологій – Гляйсдорф. Київ, 2015. 23. Прокіп А. В., Дудюк В. С., Колісник Р. Б. Організаційні та еколого-економічні засади використання відновлюваних енергоресурсів : монографія. Львів: ЗУКЦ, 2015. 337 с. 451

12. Методичні вказівки до виконання економічної частини дипломної роботи для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Укладачі: Л.В. Тимошенко, Н.В. Дементьєва - Дніпро: НГУ, 2018. - 15 с.

13. Методичні вказівки до виконання розділу „Охорона праці“ в дипломних проектах (роботах) бакалаврів інституту електроенергетики / В.І. Голінько, В.Ю. Фрундін, Ю.І. Чеберячко, М.Ю. Іконніков. – Д.: Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», 2012. – 8 с.