

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи магістра

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

на тему:

«Дослідження ефективності резервного живлення насосно-фільтрувальної станції КП "Жовтоводський водоканал" від сонячної електростанції»

Виконав студент II курсу, групи ЗСЕП -23м _____ Юрій РАЧИНСЬКИЙ

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

«Системи електропостачання промислових підприємств, міст та локальних об'єктів»

КНУ.МР.141.24.780с-01

Завідувач кафедри,

д.т.н., професор

_____ Олег СІНЧУК

Гарант ОПП:

к.т.н., доцент

_____ Олексій МИХАЙЛЕНКО

Керівник:

к.т.н., доцент

_____ Олексій МИХАЙЛЕНКО

Кривий Ріг

2024 р.

РЕФЕРАТ

с. 71, Рис. 33, Табл. 2

Бібліографічний опис: «Дослідження ефективності резервного живлення насосно-фільтрувальної станції» [Текст]: робота на здобуття кваліфікаційного ступеня магістра; спец.: 141 - електроенергетика, електротехніка та електромеханіка Ю. М. Рачинський;

науковий керівник О. Ю. Михайленко. - Кривий Ріг: КНУ, 2024. - 71 с.

Мета дослідження: Аналіз технічної можливості, ефективності та економічної доцільності впровадження резервного електроживлення насосно-фільтрувальної станції КП "Жовтоводський водоканал" на основі сонячної електростанції.

Методи дослідження: Аналіз і узагальнення літературних джерел та технічних даних з електропостачання та роботи сонячних електростанцій; Комп'ютерне моделювання за допомогою програмного забезпечення SAM; Розрахунок економічної ефективності проекту із врахуванням витрат на обладнання та експлуатацію.

Опис виконаної роботи: Проведено аналіз системи енергозабезпечення насосно-фільтрувальної станції КП "Жовтоводський водоканал", виявлено щорічне енергоспоживання, пікові навантаження та необхідність резервного живлення. На основі аналізу інсоляції для умов м. Жовті Води визначено оптимальну потужність сонячної електростанції для забезпечення потреб станції. Запропоновано оптимальну конфігурацію обладнання, включно з фотоелектричними модулями, інверторами та акумуляторними батареями.

Проведено моделювання роботи системи резервного живлення за допомогою SAM. Виконано розрахунок капітальних витрат та економічної ефективності.

Ключові слова: сонячна електростанція, резервне живлення, насосно-фільтрувальна станція, енергозабезпечення, економічна ефективність, SAM, інсоляція.

solar power plant, backup power, pump-and-filter station, energy supply, economic efficiency, SAM, insolation.

ЗМІСТ

Вступ	
Розділ 1. Аналіз системи електропостачання об'єкту	8
1.1. Загальна характеристика КП "Жовтоводський водоканал"	8
1.2. Система електропостачання насосно-фільтрувальної станції.....	13
1.3. Обґрунтування необхідності резервного живлення.....	18
1.4. Принципи роботи сонячних електростанцій.....	22
1.5. Вітчизняний досвід використання сонячних електростанцій для живлення електроустановок водопостачання.....	34
Висновки до розділу 1.....	36
Розділ 2. Проектування резервного живлення на основі сонячних Електростанцій.....	39
2.1. Оцінка інсоляції для умов м. Жовті Води.....	39
2.2. Розрахунок необхідної потужності сонячної електростанції.....	43
2.3. Вибір обладнання та технологічних рішень.....	49
2.4. Оцінка витрат і економічної ефективності проекту.....	52
Висновки до розділу 2.....	54
Розділ 3. Моделювання та експериментальна перевірка.....	55
3.1. Опис методики моделювання системи резервного живлення насосно-фільтрувальної станції.....	55
3.2. Моделювання резервного живлення насосно-фільтрувальної станції та його результати.....	59
3.3. Аналіз отриманих даних та їх інтерпретація.....	65
Висновки до розділу 3.....	66
Висновки.....	68
Список використаних джерел.....	70

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ,
ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

АКБ – акумуляторні батареї;

ВДЕ – відновлювальні джерела енергії;

КП – комунальне підприємство

НФС - насосно-фільтрувальна станція

ПС - Електрична підстанція

СЕС - сонячна електростанція

НПВ - насоси питної води

НТВ - насоси технічної води

ВСТУП

У сучасних умовах стрімкого розвитку технологій відновлюваних джерел енергії особливе значення набуває забезпечення надійного та стабільного енергопостачання об'єктів критичної інфраструктури, таких як водоканали. Насосно-фільтрувальні станції відіграють ключову роль у забезпеченні населених пунктів водопостачанням, а їхня безперебійна робота залежить від стабільного постачання електроенергії. У зв'язку з нестабільністю традиційних джерел енергії та зростанням попиту на екологічно чисті технології, дослідження можливостей резервного живлення від сонячних електростанцій є особливо актуальним.

Місто Жовті Води Дніпропетровської області, яке обслуговується КП "Жовтоводський водоканал", не є винятком з цього правила. Водоканал забезпечує подачу води для широкого кола споживачів, і будь-які перебої в електропостачанні можуть призвести до значних незручностей, а також загрози здоров'ю та санітарно-гігієнічним умовам мешканців. Одним із перспективних рішень у цьому контексті є використання сонячних електростанцій для забезпечення резервного живлення водоканалу.

В останні роки надійність електропостачання стає критично важливою для забезпечення безперебійного функціонування об'єктів критичної інфраструктури, до яких належать системи водопостачання. Часті перебої в електропостачанні можуть призводити до зупинки роботи насосно-фільтрувальних станцій (НФС), що, в свою чергу, негативно впливає на забезпечення населення якісною питною водою. В Україні, як і в багатьох країнах світу, такі перебої не є рідкістю через низку факторів, включаючи старіння енергетичної інфраструктури, погодні аномалії, а також геополітичні виклики. За даними Державної служби з надзвичайних ситуацій України, у 2022 році кількість аварійних відключень електроенергії зросла на 25% порівняно з попередніми роками, що вплинуло на ефективність роботи водопостачальних систем.

Успішний досвід використання сонячних електростанцій для резервного живлення інфраструктури продемонстрований у ряді міст і країн, де відновлювані джерела енергії забезпечили стабільне електропостачання під час кризових ситуацій. Наприклад, у Каліфорнії сонячні панелі використовуються для живлення водоочисних споруд, а у Південній Африці завдяки подібним проектам вдалося зменшити кількість перебоїв у водопостачанні в сільській місцевості.

Зміни клімату, зокрема підвищення температур і збільшення кількості екстремальних погодних явищ, знижують надійність традиційних джерел живлення. Внаслідок цього зростає ризик аварійних відключень електроенергії через перевантаження мереж, а також ураження ліній електропередач. Згідно з прогнозами кліматологів, до 2050 року частота і тривалість аномальних погодних явищ в Україні суттєво зросте, що посилить необхідність у створенні стабільних і екологічно безпечних систем резервного електропостачання.

Сучасні дослідження підтверджують ефективність використання сонячної енергії для забезпечення резервного живлення об'єктів критичної інфраструктури, таких як водопостачальні системи. Наприклад, у 2023 році міжнародна група вчених опублікувала дослідження, в якому розглядається використання комбінованих систем сонячних електростанцій і акумуляторних сховищ для резервування енергопостачання в містах з високим рівнем енергоспоживання.

Крім того, енергетична політика України дедалі більше орієнтована на перехід до відновлюваних джерел енергії. У відповідності до Національної стратегії розвитку відновлюваної енергетики до 2030 року, Україна планує збільшити частку «зеленої» енергії в загальному енергобалансі до 25%. Ця політика підтримується як на національному рівні, так і в рамках міжнародних програм підтримки відновлюваних джерел енергії.

Отже, питання дослідження ефективності резервного живлення насосно-фільтрувальних станцій на основі сонячних електростанцій є вкрай

актуальним для забезпечення сталого водопостачання та зниження залежності від нестабільного централізованого електропостачання.

Ця магістерська робота присвячена аналізу ефективності резервного живлення насосно-фільтрувальної станції КП "Жовтоводський водоканал" за допомогою сонячних електростанцій. У роботі будуть розглянуті технологічні аспекти впровадження сонячної енергетики, проаналізовані потенційні переваги та недоліки, а також проведено оцінку економічної доцільності даного підходу.

Мета дослідження полягає у вивченні ефективності використання сонячних електростанцій для забезпечення резервного живлення насосно-фільтрувальної станції КП "Жовтоводський водоканал", зокрема для живлення основних насосних установок, таких як насоси технічної та питної води.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОНОСТАЧАННЯ ОБ'ЄКТУ

1.1. Загальна характеристика КП "Жовтоводський водоканал"

Комунальне підприємство "Жовтоводський водоканал" є основним постачальником питної води для міста Жовті Води, Дніпропетровської області. Підприємство здійснює свою діяльність з метою забезпечення життєво важливих потреб населення, промислових об'єктів, установ та організацій у водопостачанні та водовідведенні.

Основними функціями КП "Жовтоводський водоканал" є:

- Забезпечення міста якісною питною водою;
- Експлуатація систем водопостачання та водовідведення;
- Обслуговування насосно-фільтрувальної станції;
- Контроль за станом мереж водопостачання;
- Підтримка належного стану очисних споруд.

Підприємство обслуговує як житловий сектор, так і промислові підприємства. Система водопостачання включає у себе розгалужену мережу трубопроводів, насосні станції, фільтрувальні споруди та резервуари для накопичення води. Основним джерелом водопостачання є поверхневі та підземні водозабори, які забезпечують споживачів міста якісною водою відповідно до санітарних норм.

Однією з ключових складових підприємства є насосно-фільтрувальна станція (НФС) Рис.1.1., яка відповідає за забір, очищення та подачу води до споживачів. НФС обладнана сучасними технологіями водоочищення, однак її стабільне функціонування залежить від безперебійного електропостачання. Наявність резервного джерела живлення є важливою умовою для безаварійної роботи водоканалу, особливо під час перебоїв у постачанні електроенергії.

Для забезпечення водопостачання НФС використовує сучасне обладнання, яке включає високопродуктивні насоси, фільтраційні установки

та контрольно-вимірювальні прилади, що контролюють параметри якості води.

Енергоспоживання НФС складає значну частину витрат КП, що робить важливим питання ефективного енергозабезпечення та резервування електропостачання.



Рис.1.1. Територія НФС

Енергопостачання підприємства здійснюється через підстанцію (ПС-15), яка має два незалежні вводи електроенергії напругою 6 кВ. Це дозволяє мінімізувати ризики перебоїв, однак впровадження додаткових резервних

джерел, зокрема відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні електростанції, є перспективним напрямком розвитку для підвищення надійності системи.

Згідно з офіційними звітами КП "Жовтоводський водоканал", енергоспоживання підприємства значною мірою залежить від роботи насосно-фільтрувальних станцій (НФС), які споживають основну частину електроенергії Таблица 1.1

Річне споживання електроенергії НФС

Табл. 1.1

Річне споживання електроенергії НФС kWh		
Приєднання	НФС ПС-15	
Кабельна лінія	КЛ-5-15-1	КЛ-5-15-2
	1	2
Січень	97668,0	21621,6
Лютий	82617,6	22819,2
Березень	65239,2	30012,0
Квітень	34461,6	38124,0
Травень	57698,0	22438,0
Червень	58137,6	26656,8
Липень	61495,2	39261,6
Серпень	63986,4	31272,0
Вересень	59284,8	22200,0
Жовтень	64254,0	31344,4
Листопад	71366,0	25641,6
Грудень	80154,8	23918,5
Споживання по кожному приєднанню	796363,2	335309,7
Річне загальне споживання kWh	1 131 672,9	
Середньомісячне споживання kWh	94 306,075	

Загальне енергоспоживання НФС становить: 1 131 673 кВт·год на рік;

Середньомісячне споживання – 94 306 кВт·год на місяць.

Добове споживання електроенергії НФС *kWh* Рис.1.2.

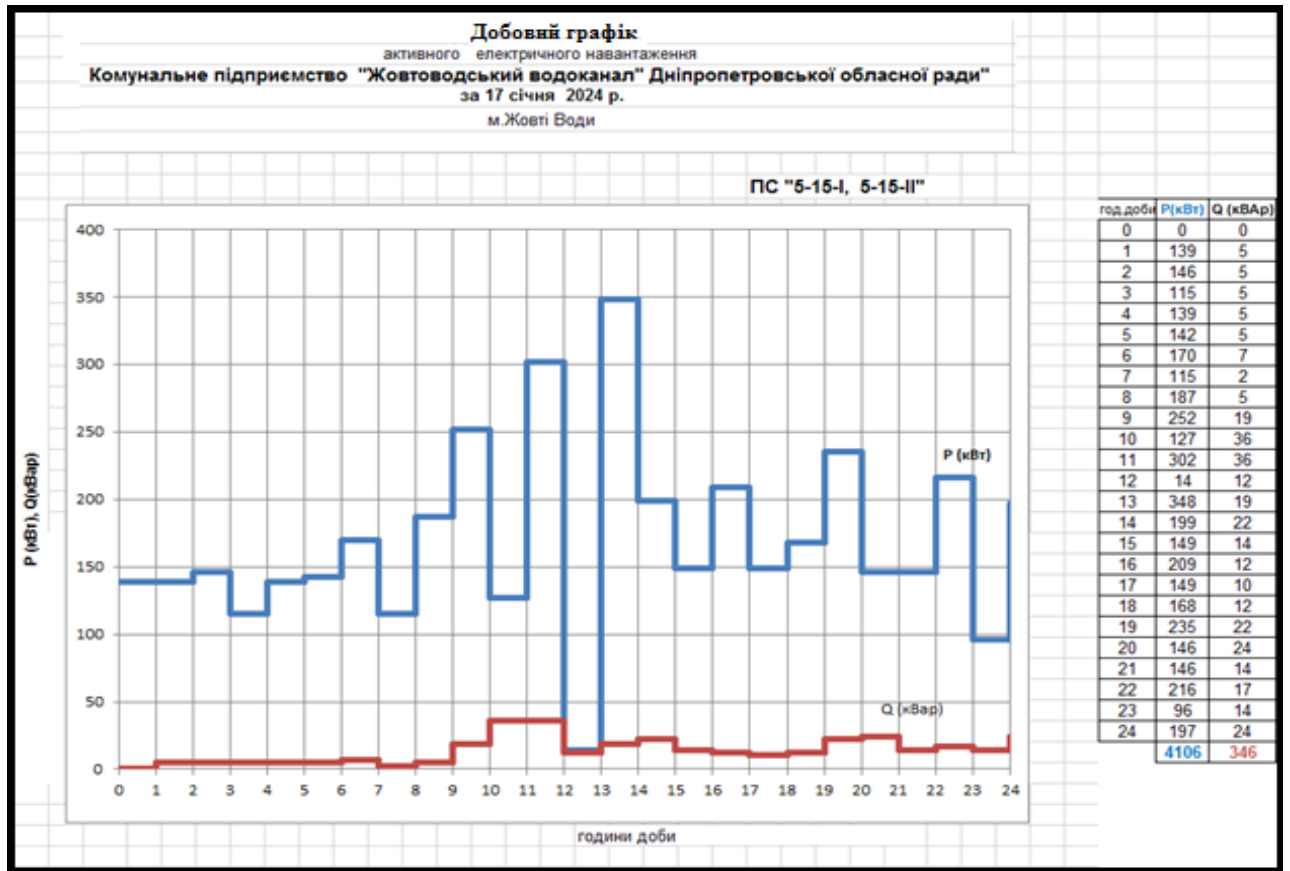


Рис.1.2. Добовий графік

Добове споживання – 4 106 кВт·год на добу;

Пікове споживання за годину – 348 кВт·год.

Найбільше навантаження перепадає на насоси для подачі технічної та питної води Рис.1.3.

Річне споживання основних агрегатів, насоси питної та технічної води

Річне споживання електроенергії kWh		
Кабельна лінія	MDE-A-650L-2-160	MDE-A-1000L-2-250
Споживачі	НПВ-1,НПВ-2	НТВ-1,НТВ-2
Січень	70961	11275
Лютий	69308	12389
Березень	52998	11315
Квітень	57811	11448
Травень	68500	12248
Червень	72380	12690
Липень	70720	11376
Серпень	61570	10600
Вересень	59084	7700
Жовтень	54700	11140
Листопад	63998	14300
Грудень	63914	14290
Споживання по кожному приєднанню	765944	140771
Річне загальне споживання kWh	906715	
Середньомісячне споживання kWh	75560	

Рис.1.3. Річне споживання електроенергії основних агрегатів НПВ/НТВ

Місячне споживання основних агрегатів насоси питної та технічної води

Рис.1.4.



Рис.1.4. Місячний графік

Місячне споживання яких сягає – 82 236 кВт·год на місяць;

Добове максимальне споживанням – 3 318 кВт·год на добу.

У зв'язку з кліматичними умовами регіону та наявністю потенційно доступних площ для розміщення сонячних панелей, розгляд можливості встановлення сонячних електростанцій для резервного живлення є економічно і технічно доцільним кроком для КП "Жовтоводський водоканал". Це не лише дозволить знизити залежність від зовнішніх джерел енергії, а й сприятиме підвищенню енергоефективності підприємства.

1.2. Система електропостачання насосно-фільтрувальної станції

Насосно-фільтрувальна станція (НФС) КП "Жовтоводський водоканал" є критично важливим об'єктом, який забезпечує стабільну подачу очищеної води до споживачів. Для безперебійного функціонування НФС необхідне надійне та стабільне електропостачання, оскільки всі основні технологічні процеси, такі як забір води, її очищення та подача, здійснюються за допомогою електрообладнання.

Структура енергопостачання НФС

Електропостачання НФС здійснюється через підстанцію ПС-15, яка є основним джерелом живлення для цього об'єкта. Підстанція ПС-15 РУ 6 кВ обладнана двома незалежними вводами напругою 6 кВ, а ПС-15 РУ 0.4 кВ обладнана двома трансформаторами ТМ-31000.10 потужністю 1000 кВА Табл.1.2 що забезпечує перетворення вхідної напругу до рівня, необхідного для живлення обладнання та забезпечує додатковий рівень надійності. Наявність двох вводів дозволяє уникнути повного відключення в разі аварійної ситуації або ремонтних робіт на одному з них.

Основні елементи системи електропостачання НФС включають:

Підстанція ПС-15 (РУ 6 кВ та РУ 0.4 кВ) Рис.1.5., яка розміщена на території НФС і має можливість перемикання між двома вводами

електроенергії. Це забезпечує резервування електроживлення та підвищує загальну надійність системи.

Розподільчі пристрої, що керують подачею електроенергії до різних технологічних вузлів НФС, включаючи насоси для забору води, фільтрувальні установки, системи хімічної очистки тощо.

Трансформатори, які перетворюють вхідну напругу до рівня, необхідного для живлення обладнання насосно-фільтрувальної станції.

Трансформатори Т1/Т2

Табл. 1.2

ПС 15 Т1	ПС 15 Т2
ТМ-31000.10	ТМ-31000.10
Потужність 1000 kW.А	Потужність 1000 kW.А
Група з'єднання-зіркою Un.% 5.84	Група з'єднання-зіркою Un.% 5.85
Напруга максимум 6300V	Напруга максимум 6300V
Струм первинної обмотки 96.3А 6000V	Струм первинної обмотки 96.3А 6000V
Напруга вторинної обмотки 400V Струм 1445А	Напруга вторинної обмотки 400V Струм 1445А
1 ступінь 6300V	1 ступінь 6300V
2 ступінь 6150V	2 ступінь 6150V
3 ступінь 6000V	3 ступінь 6000V
4 ступінь 5850V	4 ступінь 5850V
5 ступінь 5700V	5 ступінь 5700V
Вага загальна 4740кг.	Вага загальна 4330кг.
Вага олії 1350кг.	Вага олії 1200кг.
Маса виїмної частини 2040кг.	Маса виїмної частини 2000кг.
Гост 11920.66	Гост 11920.66
Рік випуску 1968р.	Рік випуску 1968р.

Автоматична система управління енергопостачанням, що контролює процес подачі електроенергії, слідкує за станом мережі та забезпечує автоматичне перемикання між основними і резервними джерелами живлення у разі аварійної ситуації.

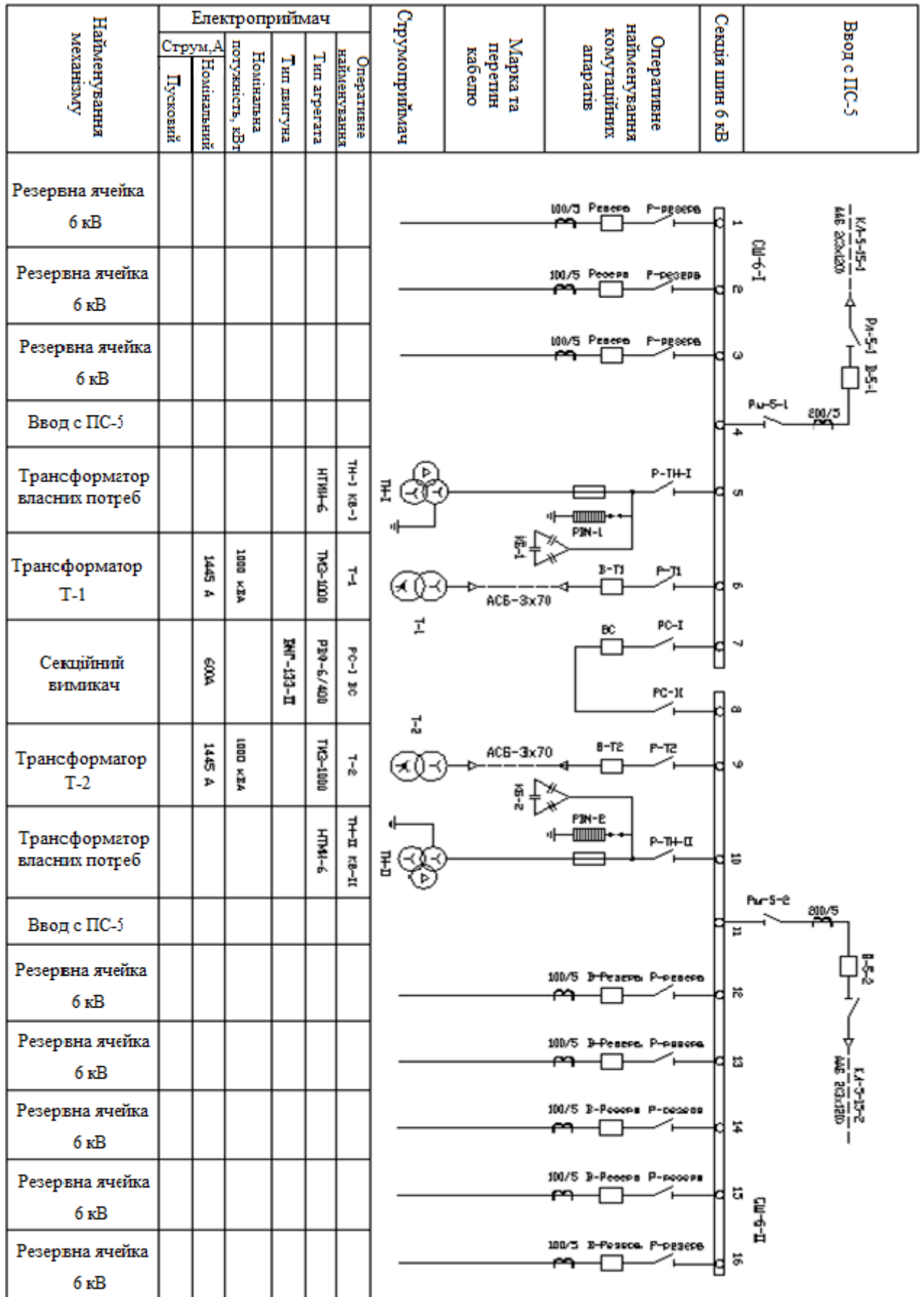


Рис.1.5. Однолінійна схема ПС 15 РУ-6 кВ

Основне енергоспоживче обладнання НФС

Насосно-фільтрувальна станція складається з декількох ключових енергоспоживачів, основними з яких є насоси, які відповідають за забір води з джерел та її транспортування через систему фільтрації та подачу до резервуарів та міської мережі. Насоси є одними з найбільш енергоємних пристроїв на станції, тому стабільне живлення є критично важливим для їхньої роботи.

Електрообладнання НФС включає кілька насосних агрегатів для подачі питної та технічної води, системи очищення, а також допоміжні механізми

Рис.1.6.

Основні агрегати розділені на дві групи:

Насоси технічної води (НТВ);

Насоси питної води (НПВ).

Фільтрувальні установки, які здійснюють очищення води. Вони використовують різні види фільтраційних технологій, що також вимагає надійного електропостачання для забезпечення нормального функціонування.

Системи контролю якості води та хімічного очищення, які включають в себе електричне обладнання для дозування реагентів, моніторингу якості води та підтримки належного рівня очищення відповідно до встановлених стандартів.

Основні характеристики споживання НФС:

Річне загальне споживання електроенергії: 1 131 673 кВт·год на рік;

Середньомісячне споживання: 94 306 кВт·год на місяць;

Добове споживання: 4 106 кВт·год на добу;

Пікове споживання за годину: 348 кВт·год;

Річне споживання основних агрегатів НПВ/НТВ: 906 715 кВт·год на рік;

Середньомісячне споживання основних агрегатів НПВ/НТВ: 75 560 кВт·год на місяць;

Добове максимальне споживання осн. агрег. НПВ/НТВ: 3318 кВт·год.

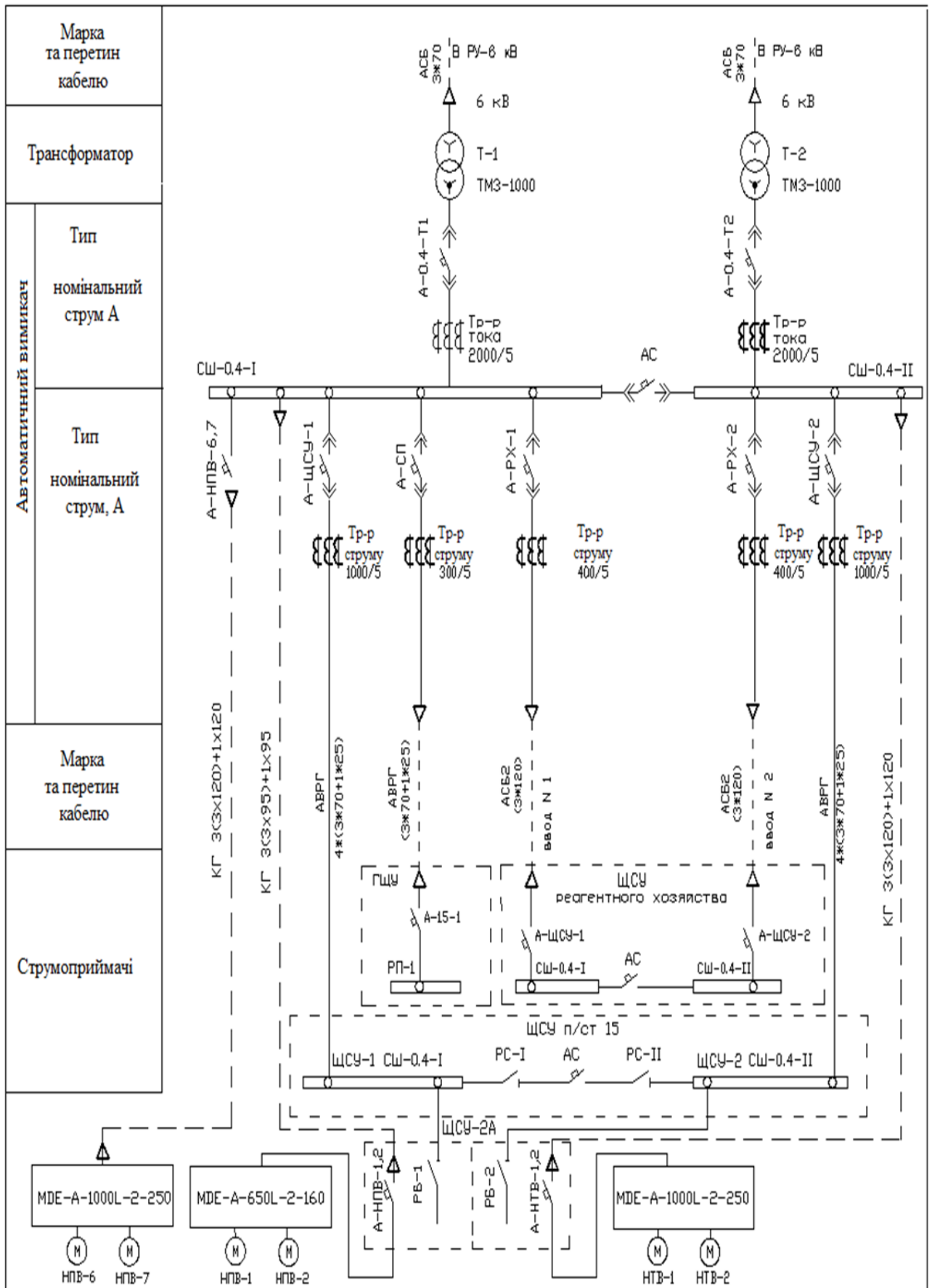


Рис.1.6. Однолінійна схема основних споживачів ПС 15 РУ-0,4 кВ

Надійність енергопостачання та ризику відключень.

Попри наявність двох незалежних введів на підстанції ПС-15, система електропостачання НФС залишається вразливою до зовнішніх факторів, таких як аварійні відключення в енергосистемі, технічні неполадки на підстанції або несправності обладнання. Перебої в енергопостачанні можуть призвести до зупинки насосів та фільтрувальних установок, що у свою чергу призведе до переривання подачі води до споживачів.

Тому однією з ключових задач для КП "Жовтоводський водоканал" є підвищення надійності електропостачання НФС. Одним із рішень може бути впровадження резервних джерел енергії, зокрема використання відновлюваних джерел, таких як сонячні електростанції. Це дозволить забезпечити безперебійне електроживлення навіть у випадку аварійного відключення зовнішньої мережі.

Перспективи резервного енергозабезпечення:

Враховуючи сучасні тенденції до енергоефективності та використання екологічно чистих технологій, встановлення сонячних електростанцій як резервного джерела живлення для НФС є перспективним кроком. Сонячні електростанції можуть працювати паралельно з основними джерелами живлення або автоматично включатися в разі відключення основної енергомережі. Це забезпечить додатковий рівень захисту для критично важливої інфраструктури та підвищить енергетичну автономність підприємства.

1.3. Обґрунтування необхідності резервного живлення

Постійне та надійне електропостачання критично важливе для роботи насосно-фільтрувальної станції, навіть якщо короточасні відключення електроенергії можуть призвести до зупинки подачі води на тривалий час. Статистичні данні про аварії в електропостачанні підтверджують, що такі збої трапляються дедалі частіше. Згідно з нормативними документами,

безперебійне водопостачання є обов'язковим, і підприємство має дотримуватися відповідних стандартів.

За даними державної енергетичної служби, у 2023 році в Україні було зареєстровано понад 2500 аварійних відключень, які вплинули на роботу критичної інфраструктури.

Водопровідні системи підпадають під дію нормативних документів, таких як "Положення про надання безперебійного водопостачання", що вимагають забезпечення безперервної подачі води споживачам. Ці нормативи встановлюють суворі вимоги до резервування електропостачання таких об'єктів, щоб уникнути тривалих перебоїв у роботі через відключення енергопостачання.

Насосно-фільтрувальна станція (НФС) КП "Жовтоводський водоканал" є одним із найбільш критичних об'єктів інфраструктури міста Жовті Води, оскільки її функціонування напряму впливає на водопостачання та водовідведення для населення та підприємств міста.

Безперебійна подача питної води є однією з ключових умов для забезпечення нормальної життєдіяльності міста, тому стабільне енергопостачання НФС має вирішальне значення. Враховуючи існуючі ризики, в умовах постійної загрози відключення електропостачання, спричинених аваріями чи перенавантаженням мережі, використання відновлених джерел енергії, таких як сонячні електростанції (СЕС), стає важливою альтернативою для резервного живлення насосно-фільтрувальної станції.

Вплив перебоїв електропостачання на роботу НФС: Основним елементом роботи НФС є насоси, що забезпечують забір, транспортування та подачу води до фільтраційних установок і далі до споживачів. Перебої у живленні насосів призводять до таких негативних наслідків.

Наслідки припинення водопостачання: Без живлення насоси не можуть виконувати свою функцію, що означає зупинку подачі води до системи. Це особливо критично в літні місяці, коли потреба у воді максимальна.

Наслідки зниження якості води: У разі зупинки систем фільтрації через відсутність електропостачання забруднена вода може потрапити до споживачів, що створює ризики для здоров'я населення та порушує санітарні норми.

Наслідки можливості пошкодження обладнання: Несподівані відключення електроенергії можуть призвести до виходу з ладу чутливого обладнання, що потребує тривалого та дорогого ремонту або заміни.

Перебої в електропостачанні можуть бути спричинені кількома факторами:

Аварійні ситуації в електромережі (перепади напруги, збої в роботі підстанцій, обриви ліній електропередач через погодні умови чи інші обставини);

Планові відключення для ремонту або технічного обслуговування зовнішніх мереж;

Перевантаження електромережі, зокрема у періоди пікового споживання енергії.

Будь-який із цих факторів може викликати відключення, тривалість якого варіюється від кількох хвилин до кількох годин або навіть діб. За відсутності резервного джерела живлення підприємство не зможе виконувати свої функції, що призведе до негативних наслідків для населення та міської інфраструктури.

Статистика аварійних відключень електропостачання свідчить про періодичні перебої, які можуть бути спричинені погодними умовами, зношеністю мереж чи технічними несправностями. Додаткові вимоги до надання резервного живлення обумовлені потребою у мінімізації можливих збоїв, а також відповідальністю перед споживачами. Використання відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні електростанції, може значно

підвищити надійність системи і знизити залежність від централізованого електропостачання.

Економічні та соціальні наслідки відсутності резервного живлення.

Відсутність резервного живлення на НФС може мати значні економічні та соціальні наслідки.

Прямі економічні збитки для підприємства через зупинку його роботи, втрати в результаті простою та необхідність ремонту пошкодженого обладнання.

Зниження доходів від споживачів, якщо вони не отримують належного рівня послуг з водопостачання. Це може спричинити зменшення надходжень від оплати послуг, що негативно вплине на фінансовий стан КП "Жовтоводський водоканал".

Соціальне невдоволення населення. У разі тривалих відключень водопостачання виникає загроза санітарно-епідеміологічної ситуації, що може викликати незадоволення серед жителів міста та створити додатковий тиск на місцеву владу.

Особливо критичною є ситуація в медичних та освітніх закладах, де відсутність води може мати серйозні наслідки для безпеки та здоров'я людей. Тому забезпечення резервного живлення НФС необхідне не тільки для захисту інфраструктури, а й для підтримки життєво важливих умов у місті.

Переваги використання резервного живлення

Запровадження резервного джерела живлення на базі відновлюваних джерел, таких як сонячні електростанції, може забезпечити такі переваги:

Безперервна робота НФС навіть у разі аварійного або планового відключення електромережі, що дозволить уникнути перебоїв у подачі води;

Зниження енергетичних витрат у довгостроковій перспективі завдяки використанню сонячної енергії, що дозволить водоканалу оптимізувати свої витрати на електроенергію.

Екологічна безпека - сонячна енергія є екологічно чистим джерелом енергії, що дозволяє зменшити викиди парникових газів та сприяти енергетичній незалежності підприємства.

Підвищення енергетичної автономності підприємства, що важливо в умовах зростаючої нестабільності на енергетичних ринках.

Використання сонячних електростанцій для резервного живлення є особливо привабливим рішенням для КП "Жовтоводський водоканал" завдяки сприятливим кліматичним умовам регіону.

Дніпропетровська область має високий рівень інсоляції, що робить установку сонячних панелей економічно доцільною. Крім того, сонячні електростанції можуть бути інтегровані у вже існуючу систему енергопостачання, забезпечуючи безперервне живлення критично важливого обладнання НФС.

1.4. Принципи роботи сонячних електростанцій

Сонячні електростанції (СЕС) є одним із найбільш екологічних та ефективних способів отримання електроенергії, використовуючи сонячне випромінювання як основне джерело енергії. Вони базуються на перетворенні енергії сонячного світла в електричну енергію за допомогою сонячних панелей (фотоелектричних модулів). Сонячні електростанції поділяються на кілька типів, зокрема автономні, мережеві та гібридні системи, кожна з яких має свої особливості роботи. Основою будь-якої сонячної електростанції є фотоелектричний ефект, що забезпечує перетворення енергії.

Фотоелектричний ефект і принцип дії сонячних панелей

Основним компонентом будь-якої сонячної електростанції є фотоелектрична панель. Вона складається з багатьох напівпровідникових елементів, які перетворюють енергію сонячного світла на електричний струм за допомогою фотоелектричного ефекту. Це явище було відкрито ще у ХІХ

столітті і полягає в тому, що під впливом світла в матеріалі виникають вільні електрони, які утворюють електричний струм.

Типовий фотоелектричний модуль складається з кремнієвих елементів, що мають напівпровідникові властивості. Коли на поверхню таких елементів потрапляє світло, частинки світла (фотони) передають свою енергію електронам у напівпровіднику, змушуючи їх рухатися та створювати електричний струм. Цей процес можна розбити на наступні етапи:

Поглинання світла. Сонячна панель вловлює сонячне світло, яке містить фотони;

Збудження електронів. Фотони передають свою енергію електронам у напівпровіднику (зазвичай, кремній), збуджуючи їх і змушуючи переходити до вищих енергетичних станів;

Утворення електричного поля. Завдяки спеціальній структурі фотоелектричного елемента електрони спрямовуються в одному напрямку, утворюючи електричне поле і генеруючи постійний струм;

Збір і передача струму. Електрони переміщуються через ланцюги в елементі до зовнішніх контактів, що дозволяє зібрати електричний струм і використовувати його для живлення споживачів.

Сонячні панелі генерують постійний струм, який потім перетворюється в змінний за допомогою інвертора, що дозволяє використовувати електроенергію для побутових потреб або подати її в загальну електромережу.

Основні компоненти сонячної електростанції.

Сонячна електростанція складається з кількох основних компонентів, що забезпечують її роботу:

Фотоелектричні модулі (сонячні панелі) Рис.1.7. – основний елемент станції, який безпосередньо перетворює сонячне світло на електричну енергію. Панелі встановлюються під певним кутом до сонця для максимального уловлювання випромінювання.

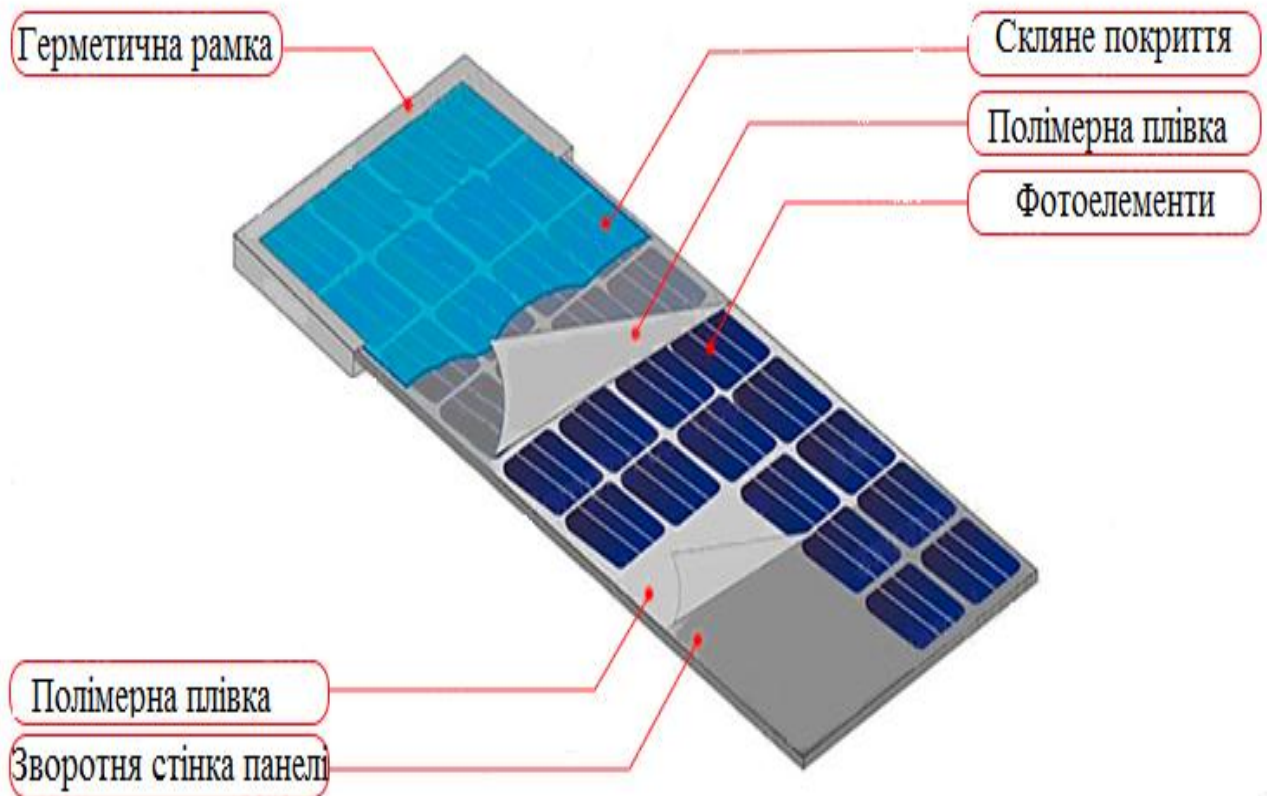


Рис.1.7. Влаштування сонячної панелі

Сонячні панелі

Основним елементом будь-якої сонячної електростанції є фотогальванічні модулі (сонячні панелі), які перетворюють сонячну енергію в електричну. Вибір типу панелей залежить від ряду факторів, таких як ефективність, довговічність, вартість і кліматичні умови.

Види сонячних панелей: Монокристалічні панелі Рис.1.8., Полікристалічні панелі Рис.1.9., Тонкоплівкові панелі Рис.1.10.

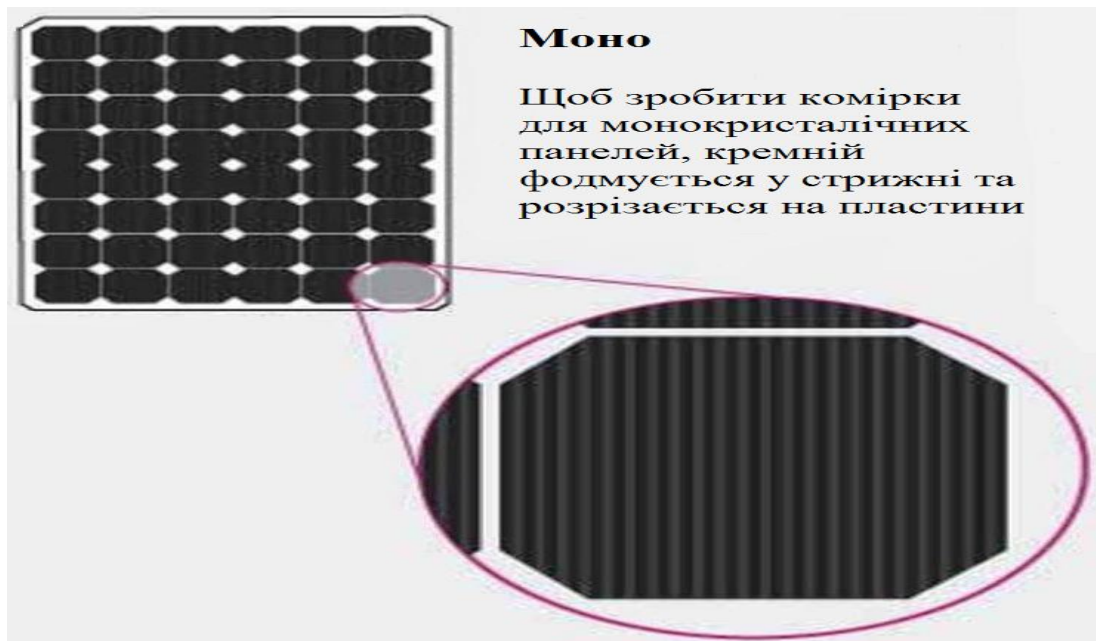


Рис.1.8. Монокристалічні панелі (Mono-Si)

Найефективніший тип панелей із середнім ККД близько 18-22%. Вони займають менше місця для тієї ж потужності в порівнянні з іншими типами, що є важливим при обмеженій площі для установки. Монокристалічні панелі добре підходять для регіонів з відносно стабільною сонячною інсоляцією, як у Жовтих Водах.



Рис.1.9. Полікристалічні панелі (Poly-Si)

Дешевші за монокристалічні, але з нижчим ККД (близько 13-17%). Вимагають більше місця для досягнення тієї ж потужності, тому їх зазвичай вибирають для бюджетних проектів, де площа не є критичною.

Тонкоплівкові панелі Рис.1.10 мають низький ККД (6-12%) і зазвичай використовуються в специфічних умовах. Вони менш підходять для даного проекту через їх меншу ефективність.



Рис.1.10. Тонкоплівкові панелі

Вибір сонячних панелей

Для насосно-фільтрувальної станції краще підходять монокристалічні панелі, оскільки вони:

Забезпечують високий ККД і мінімізують площу, необхідну для установки;

Мають більший термін служби (20-25 років) і кращі гарантійні умови від виробників;

Зберігають стабільну роботу при змінних погодних умовах.

Інвертори

Сонячні панелі генерують постійний струм (DC), але більшість електричних систем працюють на змінному струмі (AC).

Інвертор – пристрій, який перетворює постійний струм, що генерується сонячними панелями, у змінний струм, придатний для

живлення побутових та промислових пристроїв та є ключовим елементом будь-якої сонячної електростанції.

Інвертори бувають - мережеві, гібридні, автономні. Мережеві інвертори дозволяють підключити електростанцію до загальної мережі та реалізовувати надлишкову енергію за "зеленим" тарифом. Гібридні інвертори поєднують в собі функції мережевого та автономного режимів, дозволяючи ефективно використовувати збережену енергію. Автономні інвертори дозволяють створювати незалежні системи живлення без підключення до мережі.

Види інверторів

Мережевий інвертор. Особливості: Призначений для з'єднання з головною електричною мережею. Постачає вироблену сонячними панелями електроенергію в мережу або використовує її для живлення побутових пристроїв. Принцип роботи: Трансформує постійний струм з панелей в змінний струм, який може бути використаний в будинку та переданий в електричну мережу. Призначення та застосування: Використовується для економії на рахунках за електроенергію, продажу надлишку виробленої енергії мережі та зменшення впливу на навколишнє середовище. Переваги: Зручне рішення для зниження рахунків за електрику та вироблення зеленої енергії.

Гібридний інвертор. Особливості: Поєднує можливості мережевого та автономного інверторів. Може працювати як у зв'язці з електричною мережею, так і в автономному режимі з акумуляторами. Принцип роботи: Забезпечує баланс між споживанням, накопиченням та постачанням електроенергії від сонячних панелей та акумуляторів. Призначення та застосування: Відмінний вибір для тих, хто шукає більшу незалежність від електромережі та можливість зберігати енергію для нічних часів або піків споживання. Переваги: Ефективне використання сонячної енергії, можливість резервного живлення.

Автономний інвертор. Особливості: Призначений для створення незалежного джерела електроенергії без зв'язку з електричною мережею.

Принцип роботи: Перетворює постійний струм з сонячних панелей та акумуляторів в змінний струм для живлення побутових пристроїв.

Призначення та застосування: Ідеальний для віддалених регіонів, дач, будівель без доступу до електромережі, де необхідно забезпечити стале живлення. Переваги: Гарантує незалежність від електричної мережі, можливість накопичення та використання енергії за власним графіком.

Також інвертори поділяються на:

Централізовані інвертори. Зазвичай використовуються для великих сонячних електростанцій, де всі панелі підключені до одного інвертора. Недолік цього типу — можливість втрати ефективності через нерівномірне затінення або збої в роботі однієї з панелей;

Струнні інвертори (String inverters). Підходять для середніх і малих систем, де кілька струн панелей підключені до одного інвертора. Це знижує ризик втрати ефективності через затінення окремих панелей;

Мікроінвертори. Найбільш ефективний, але дорогий варіант. Кожна панель має свій власний інвертор, що дозволяє максимально ефективно використовувати всю генерацію незалежно від умов.

Сучасні інвертори Рис.1.11. також можуть відслідковувати ефективність роботи панелей і регулювати потужність системи залежно від умов.

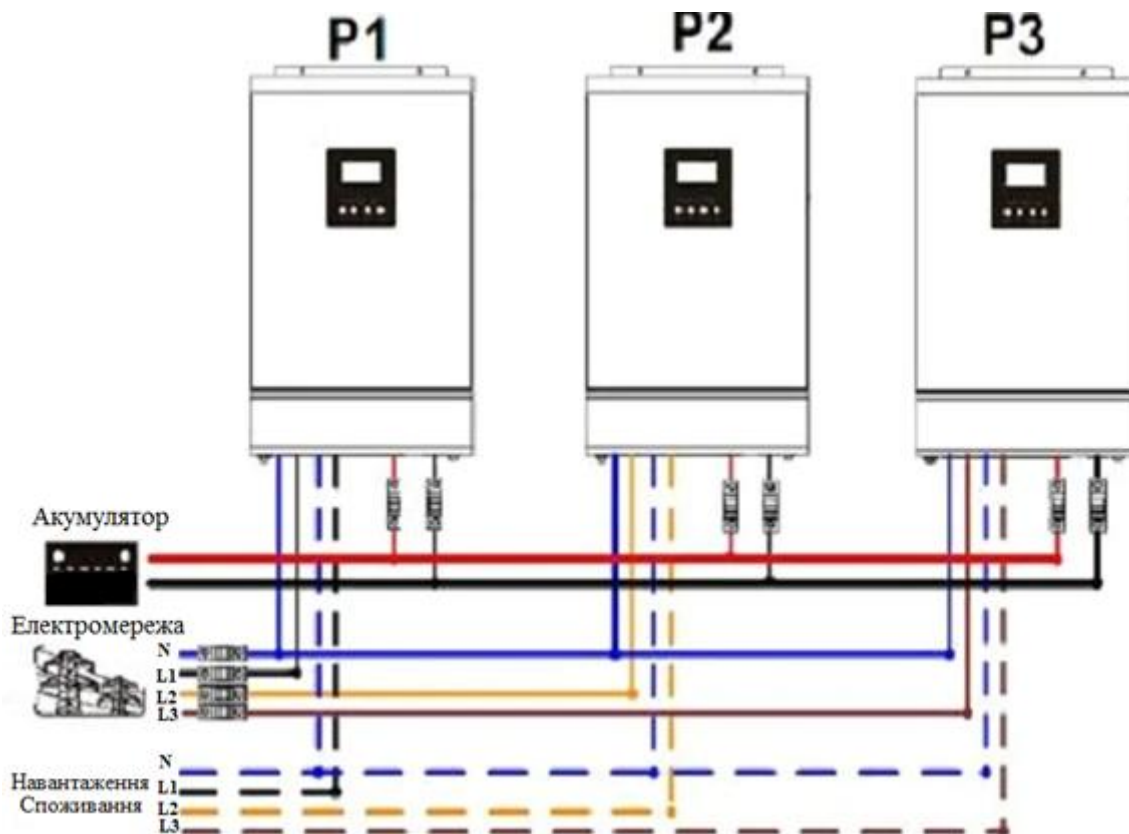


Рис.1.11. Схема підключення інверторів

Акумуляторна батарея (у випадку автономних або гібридних систем) – використовується для накопичення надлишкової енергії, що генерується вдень, для її подальшого використання у нічний час або під час відсутності сонця. Це дозволяє забезпечити безперебійне живлення об'єктів.

Види акумуляторів

Літій-іонні акумулятори (Li-ion) Рис.1.12. Є найбільш популярними завдяки високій щільності енергії, тривалому терміну служби та ефективності. Вони забезпечують більше циклів заряду-розряду і мають відносно низькі втрати енергії.

Акумулятори типу LFP (літій-залізо-фосфатні). Хоча вони мають трохи нижчу щільність енергії, але більш надійні і безпечні, особливо при великих температурних коливаннях, що робить їх хорошим вибором для промислових установок.

Свинцево-кислотні акумулятори. Старіша технологія, яка має нижчу вартість, але також значно меншу тривалість життя і ефективність порівняно з літій-іонними акумуляторами.



Рис.1.12. Акумулятори для СЕС

Контролер заряду Рис.1.13. – пристрій, який регулює процес зарядки акумуляторних батарей, запобігаючи їх перевантаженню або надмірному розрядженню.

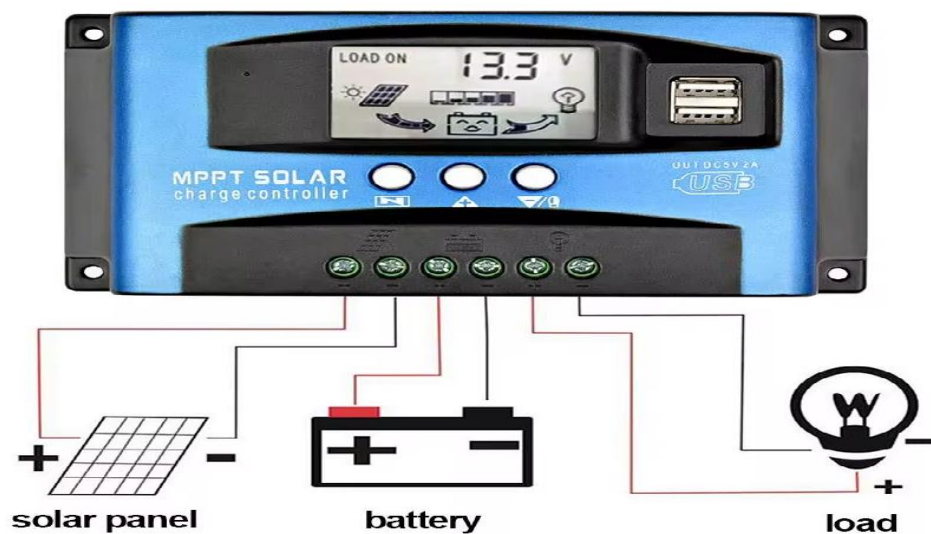


Рис.1.13. Контролер заряду

Моніторингова система Рис.1.14. – сучасні сонячні електростанції оснащуються системами моніторингу, які дозволяють в режимі реального часу слідкувати за станом роботи станції, зокрема за рівнем генерованої потужності, станом акумуляторів та іншими показниками.



Рис.1.14. Моніторингова система

Типи сонячних електростанцій

Залежно від призначення та умов використання, існують три основні типи сонячних електростанцій:

Мережеві сонячні електростанції Рис.1.15. – такі станції підключені до загальної електричної мережі і використовуються для виробництва електроенергії, яка споживається або подається назад до мережі. Мережеві СЕС не мають акумуляторів і не можуть працювати автономно під час відключення електрики, оскільки залежать від стабільного постачання з мережі.

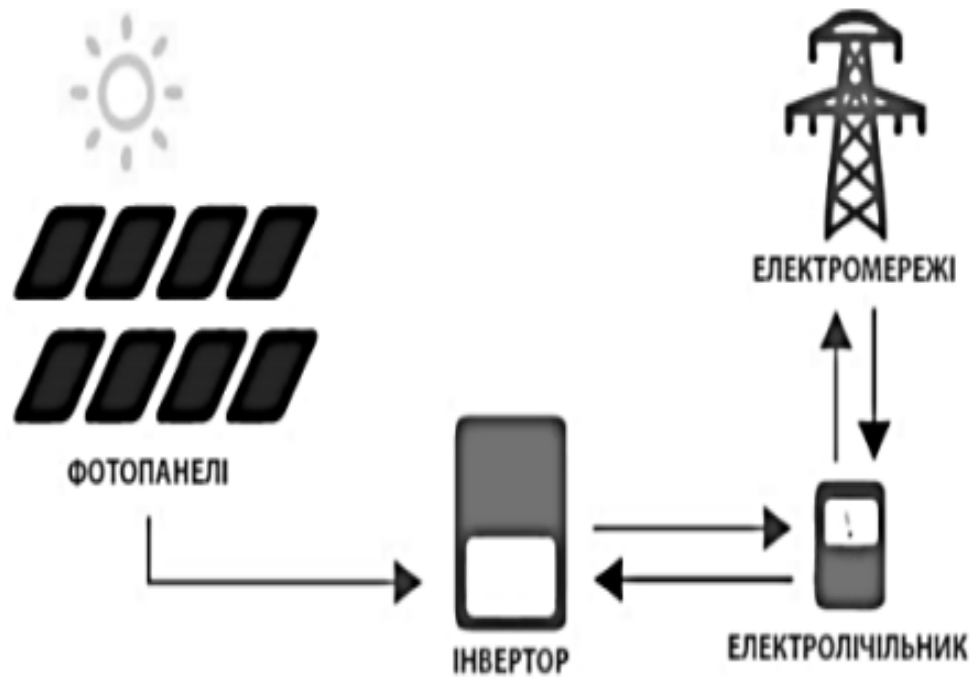


Рис.1.15. Мережева сонячна електростанція

Автономні сонячні електростанції Рис.1.16. – ці станції забезпечують повну енергетичну незалежність для об'єкта, на якому встановлені. Вони не підключені до зовнішньої мережі і використовуються для живлення ізольованих об'єктів. Автономні СЕС оснащуються акумуляторами, що дозволяє зберігати енергію для використання під час відсутності сонця.

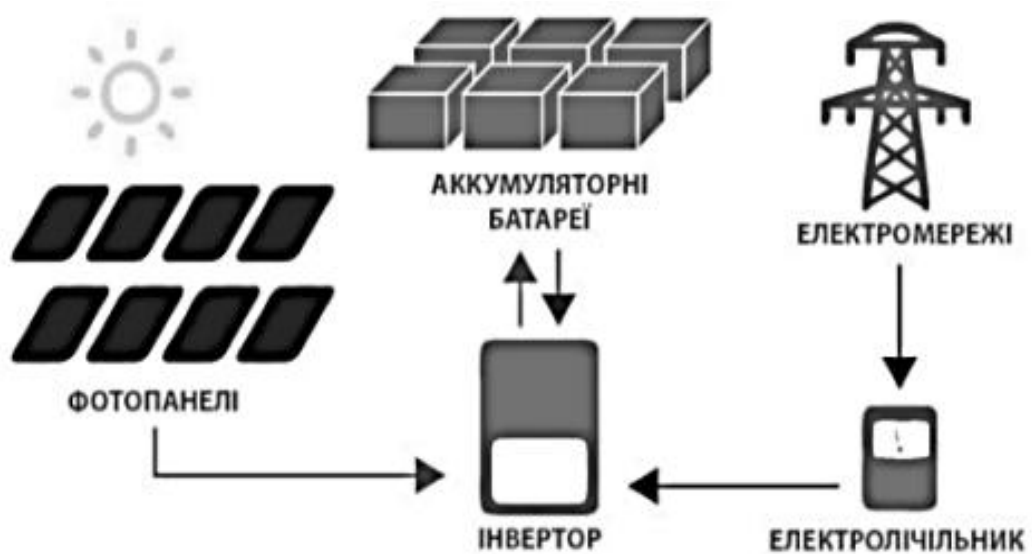


Рис.1.16. Автономна сонячна електростанція

Гібридні сонячні електростанції Рис.1.17. – поєднують риси мережевих і автономних станцій. Вони можуть працювати як від загальної електромережі, так і автономно завдяки акумуляторним батареям. Це дозволяє забезпечити резервне живлення під час відключення основної мережі, а також накопичувати надлишкову енергію для подальшого використання.

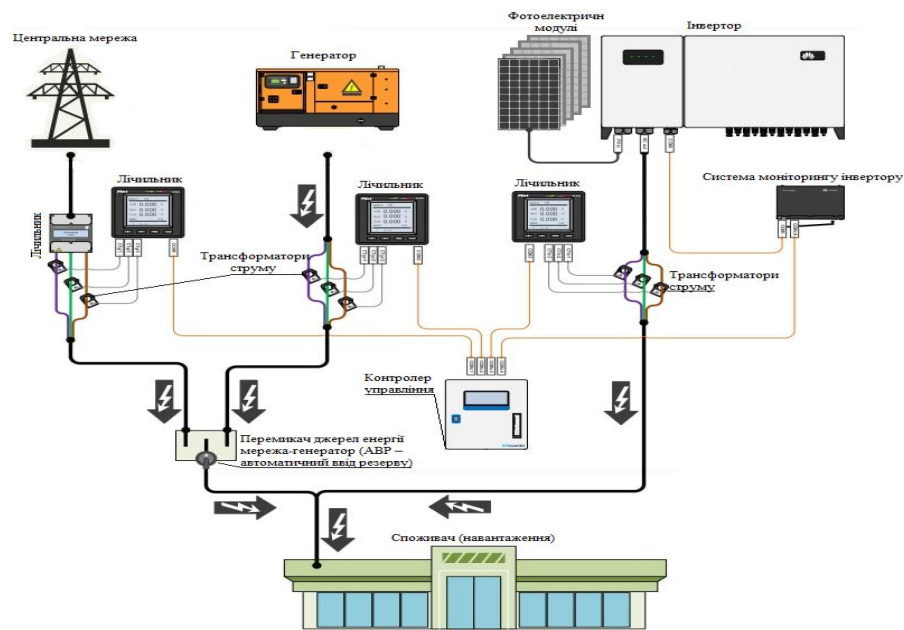


Рис.1.17. Гібридна сонячна електростанція

Фактори, що впливають на ефективність сонячних електростанцій

Ефективність роботи сонячної електростанції залежить від кількох основних факторів:

Інсоляція. Рівень сонячного випромінювання, яке досягає поверхні Землі, впливає на обсяг енергії, що може бути згенерована сонячними панелями. В регіонах з високою інсоляцією, як Дніпропетровська область, ефективність СЕС буде максимальною.

Кут нахилу та орієнтація панелей. Сонячні панелі повинні бути правильно орієнтовані відносно сонця для максимального збору енергії. Оптимальний кут нахилу визначається залежно від географічного положення та пори року.

Температура. Високі температури можуть знижувати ефективність фотоелектричних модулів, тому важливо забезпечити адекватне охолодження панелей.

Забрудненість поверхні панелей. Пил, бруд або інші забруднення можуть знижувати ефективність збору сонячної енергії, тому необхідно регулярно очищати поверхню панелей.

Переваги сонячних електростанцій для резервного живлення

Сонячні електростанції мають кілька важливих переваг, що роблять їх ефективним джерелом резервного живлення для об'єктів критичної інфраструктури, таких як НФС:

Енергонезалежність. Сонячні електростанції можуть забезпечити автономне енергопостачання, особливо у випадках відключення центральної мережі.

Низька експлуатаційна вартість. Після початкових капіталовкладень на встановлення СЕС, вартість її експлуатації є низькою, оскільки вона не вимагає постійних витрат на паливо або технічне обслуговування.

Екологічність. Сонячна енергія є чистим, відновлюваним джерелом енергії, що знижує викиди парникових газів і допомагає зменшити негативний вплив на довкілля.

1.5. Вітчизняний досвід використання сонячних електростанцій для живлення електроустановок водопостачання

В останні роки в Україні спостерігається зростання інтересу до використання відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячних електростанцій (СЕС), для забезпечення потреб водопостачання. Це обумовлено як екологічними вимогами, так і економічною доцільністю через зростання цін на традиційні енергоносії та часті перебої в постачанні електроенергії. Ряд вітчизняних водоканалів вже впровадили або активно розглядають можливість впровадження СЕС для резервного або постійного живлення своїх установок. У цьому підрозділі буде розглянуто кілька

прикладів вітчизняного досвіду використання СЕС для живлення об'єктів водопостачання.

Приклади впровадження сонячних електростанцій на об'єктах водоканалів

Проект на базі КП «Вінницяоблводоканал» є одним із перших в Україні прикладів використання сонячної енергії для забезпечення потреб водопостачання є проект КП «Вінницяоблводоканал». У 2019 році на території підприємства було встановлено сонячну електростанцію потужністю 400 кВт для забезпечення частини потреб електроенергії насосної станції. Основна мета проекту – зменшення витрат на електроенергію та підвищення енергетичної незалежності підприємства. За результатами впровадження проекту, підприємству вдалося досягти економії на електроенергії до 15% на рік, що є вагомим показником в умовах зростання тарифів на електроенергію.

Проект на базі КП «Херсонський водоканал». У 2020 році Херсонський водоканал запустив сонячну електростанцію потужністю 500 кВт для забезпечення роботи насосних станцій водопостачання та водовідведення. Підприємство відзначило значне зниження витрат на електроенергію, що дозволило спрямувати вивільнені ресурси на модернізацію водопровідної інфраструктури. Цей проект є яскравим прикладом використання СЕС для зниження залежності від зовнішніх джерел енергії, особливо в умовах частих перебоїв в електропостачанні у південних регіонах України.

Проект на базі КП «Полтававодоканал». Полтавський водоканал також активно впроваджує відновлювані джерела енергії. У 2021 році підприємство запустило сонячну електростанцію потужністю 300 кВт для забезпечення живлення насосних установок. Основними причинами для впровадження цього проекту були стабільні перебої в електропостачанні та висока вартість електроенергії. Завдяки використанню сонячних панелей, підприємство

змігло не лише забезпечити стабільну роботу насосних станцій, а й суттєво знизити експлуатаційні витрати.

Переваги впровадження сонячних електростанцій на об'єктах водопостачання.

Впровадження сонячних електростанцій на об'єктах водопостачання в Україні приносить значні переваги.

Зниження витрат на електроенергію. В умовах постійного зростання вартості електроенергії, використання СЕС дозволяє водоканалам оптимізувати свої витрати на енергопостачання. Для об'єктів, які споживають великі обсяги електроенергії, такі як насосно-фільтрувальні станції, це є критично важливим аспектом.

Енергетична незалежність. Використання СЕС дозволяє водоканалам стати більш незалежними від зовнішніх енергопостачальників, особливо в умовах нестабільної роботи електромереж або аварійних ситуацій. Це особливо важливо для об'єктів, розташованих у віддалених районах або з недостатньо розвиненою енергетичною інфраструктурою.

Забезпечення безперебійної роботи об'єктів. Враховуючи критичне значення насосних станцій для забезпечення водопостачання населенню, стабільне енергопостачання є вирішальним фактором. Сонячні електростанції можуть слугувати надійним джерелом резервного живлення, що мінімізує ризики простоїв та перебоїв у подачі води.

Зменшення впливу на навколишнє середовище. Впровадження СЕС допомагає знизити викиди парникових газів і сприяє переходу до екологічно чистих джерел енергії. Це відповідає сучасним тенденціям у сфері екологічної політики та сталого розвитку.

ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 1

В результаті аналізу системи електропостачання насосно-фільтрувальної станції КП «Жовтоводський водоканал» було виявлено, що підприємство використовує традиційну централізовану систему енергопостачання, яка має дві незалежні точки підключення. Основним

джерелом живлення є мережа високовольтного електропостачання, яка забезпечує роботу всіх основних технологічних процесів станції. Проте, через ризики пов'язані з нестабільністю електромереж, аваріями або перевантаженням, виникає необхідність впровадження резервних джерел живлення для забезпечення безперебійної роботи об'єкту.

Резервне електропостачання є критично важливим для насосно-фільтрувальних станцій, оскільки перебої в подачі електроенергії можуть призводити до порушення водопостачання на значних територіях, а також до потенційної шкоди для технічного обладнання. Тому впровадження сучасних рішень у сфері резервного енергопостачання є важливим етапом розвитку інфраструктури водоканалу.

Сонячні електростанції (СЕС) є перспективним і надійним джерелом енергії для резервного живлення об'єктів водопостачання. В основі роботи СЕС лежить фотоелектричний ефект, завдяки якому енергія сонячного світла перетворюється на електричний струм. Основними компонентами СЕС є сонячні панелі, інвертори, акумуляторні батареї та контролери заряду, що забезпечують безперебійну роботу системи.

Сонячні електростанції мають ряд важливих переваг, зокрема енергетичну незалежність, екологічність та низькі експлуатаційні витрати.

Використання СЕС для резервного живлення насосно-фільтрувальних станцій дозволяє зменшити залежність від зовнішніх постачальників електроенергії та підвищити надійність роботи водопостачальних об'єктів. Враховуючи можливість акумуляування енергії, СЕС можуть забезпечити стабільне живлення об'єктів навіть у разі тривалих відключень від централізованої мережі.

Український досвід використання сонячних електростанцій на об'єктах водопостачання демонструє високий потенціал для впровадження таких рішень на території країни. Успішні приклади КП «Вінницяоблводоканал», КП «Херсонський водоканал» та КП «Полтававодоканал» свідчать про значні економічні переваги, включаючи зниження витрат на електроенергію,

підвищення надійності роботи водопостачальних систем, а також зменшення залежності від зовнішніх енергопостачальників.

Використання СЕС у водопостачальній сфері України доводить свою ефективність, особливо в умовах зростання вартості енергоресурсів та частих перебоїв у централізованому електропостачанні. Успішне впровадження СЕС дозволяє не тільки забезпечити резервне живлення об'єктів, але й сприяє сталому розвитку підприємств, зменшенню викидів в атмосферу та економії ресурсів.

На основі проведеного дослідження можна зробити висновок, що впровадження сонячних електростанцій для резервного живлення насосно-фільтрувальних станцій КП «Жовтоводський водоканал» є технічно доцільним і економічно вигідним рішенням. Сонячні електростанції забезпечують стабільність енергопостачання, особливо в умовах можливих відключень електроенергії. Завдяки накопиченому вітчизняному досвіду впровадження таких систем, можна зробити висновок, що дане рішення є перспективним і здатним забезпечити високий рівень надійності та економічної ефективності для водоканалів в Україні.

РОЗДІЛ 2

ПРОЕКТУВАННЯ РЕЗЕРВНОГО ЖИВЛЕННЯ НА ОСНОВІ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Мета цього розділу полягає в детальному аналізі та проектуванні резервного живлення насосно-фільтрувальної станції КП «Жовтоводський водоканал» на основі сонячних електростанцій (СЕС). У сучасних умовах необхідність забезпечення стабільного та безперебійного живлення об'єктів водопостачання є важливою складовою енергетичної безпеки. Резервне живлення від сонячних електростанцій є одним із найбільш перспективних варіантів для підприємств водопостачання через можливість використання відновлюваних джерел енергії, мінімізацію витрат на електроенергію та зменшення залежності від зовнішніх постачальників.

Цей розділ складається з чотирьох підрозділів, які розглядають основні етапи проектування СЕС для резервного живлення, включаючи оцінку інсоляції, розрахунок необхідної потужності станції, вибір обладнання та технологічних рішень, а також оцінку витрат і економічної ефективності проекту.

При проектуванні сонячної електростанції для резервного живлення насосно-фільтрувальної станції КП "Жовтоводський водоканал" однією з ключових змінних є рівень інсоляції – кількість сонячної енергії, яка досягає поверхні землі протягом року. Для цього аналізу використовуються дані з метеорологічних джерел, таких як **SolarGIS** або **Meteonorm**, що надають точні показники середньої річної інсоляції для різних регіонів світу, зокрема для України.

2.1 Оцінка інсоляції для м. Жовті Води

Оцінка інсоляції є важливим етапом проектування сонячної електростанції, оскільки від кількості сонячної енергії, яку отримує певна

територія протягом року, залежить ефективність і потужність СЕС. Інсоляція визначає кількість сонячної радіації, що досягає поверхні Землі, і виражається у вигляді кількості енергії на одиницю площі (кВт-год/м²).

Для м. Жовті Води, розташованого в Дніпропетровській області, характерна помірно-континентальна кліматична зона з досить високим рівнем сонячної активності протягом року. За даними з SolarGIS та Meteonorm Рис. 2.1, середньорічна інсоляція для м. Жовті Води становить приблизно 1200–1400 кВт-год/м² на горизонтальній поверхні.

Цей показник може варіюватися в залежності від пори року, кута нахилу сонячних панелей та кількості сонячних днів. Це робить регіон сприятливим для впровадження сонячних електростанцій, оскільки такі показники є достатніми для ефективного вироблення електроенергії від сонячних панелей.



Рівні сонячної інсоляції в Україні

Рис. 2.1 Середньорічна інсоляція по регіонах

Оцінка інсоляції включає аналіз даних за кілька років, що дозволяє врахувати сезонні коливання рівня сонячної радіації. Найбільша кількість сонячної енергії надходить у літній період, коли середня тривалість світлового дня та інтенсивність сонячної радіації досягають максимальних значень. У зимовий період інсоляція є мінімальною, однак, завдяки використанню акумуляторних систем, можна забезпечити безперервне електропостачання протягом доби.

Середній показник сонячної інсоляції за спостереженнями НАСА за останні 22 роки, кВт-год /м²/ день Рис. 2.2.

	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопа	Грудень	Сер./рік
Дніпропетровська область	1,21	1,99	2,98	4,05	5,55	5,57	5,70	5,08	3,66	2,27	1,20	0,96	3,36

Рис. 2.2. Показник сонячної інсоляції

Основні дані щодо інсоляції для м. Жовті Води:

Середньорічна інсоляція: 1200-1400 кВт-год/м² на рік;

Максимальна денна інсоляція: спостерігається в літні місяці (червень–серпень), коли показники інсоляції досягають 5-6 кВт-год/м² день;

Мінімальна денна інсоляція: у зимові місяці (грудень–лютий), коли інсоляція знижується до 1-2 кВт-год/м² день.

Сезонна інсоляція:

Весняно-літній період (з березня по вересень) забезпечує близько 70% річної інсоляції завдяки тривалості світлового дня і мінімальній хмарності.

Осіньно-зимовий період характеризується суттєво зниженими показниками інсоляції.

Оцінка інсоляції є основою для наступних розрахунків потужності сонячної електростанції та вибору необхідного обладнання. На основі цих

даних можна визначити кількість сонячних панелей, їхню потужність та можливість ефективної роботи в різні періоди року.

Також важливо враховувати, що географічне розташування м. Жовті Води дозволяє досягти стабільних показників генерації електроенергії протягом усього року, особливо в літні та весняні місяці, коли інсоляція знаходиться на максимальних значеннях.

Особливості інсоляції для розрахунків СЕС у Жовтих Водах

Кут нахилу панелей: У регіонах середньої широти, до яких належить м. Жовті Води, ефективний кут нахилу панелей становить 34.9° до горизонту
Рис. 2.3. Такий кут оптимізує продуктивність панелей протягом року, забезпечуючи максимальну інсоляцію в літній період і часткове використання в зимовий.

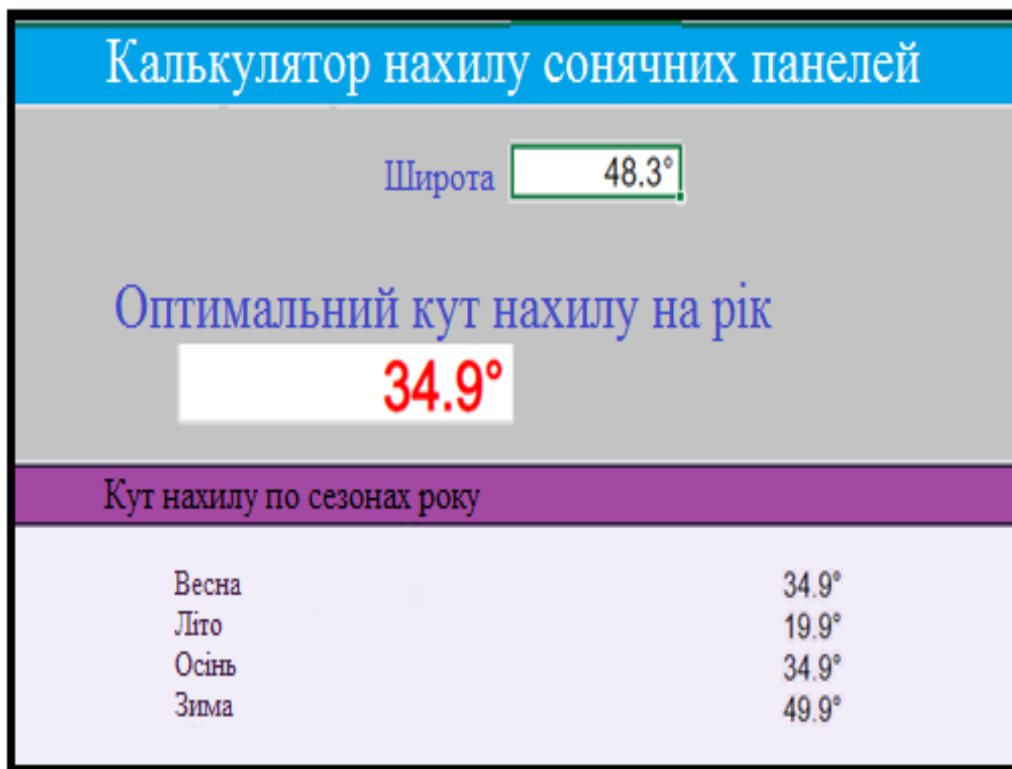


Рис. 2.3. Калькулятор нахилу сонячних панелей

Погодні умови та хмарність

Хоча м. Жовті Води має достатньо сонячних днів, взимку частота хмарності зростає, що знижує продуктивність сонячних панелей. В таких

умовах потрібна зміна кута сонячних панелей Рис. 2.4., або ефективні накопичувальні батареї для забезпечення безперебійного живлення.

Корекція потужності для місяців з меншою інсоляцією: З урахуванням нерівномірності інсоляції протягом року, необхідно визначити резерв потужності панелей або додаткових джерел живлення для зимових місяців.

Кут нахилу на кожен місяць	
Січень	44.9°
Лютий	39.9°
Березень	34.9°
Квітень	29.9°
Травень	24.9°
Червень	19.9°
Липень	24.9°
Серпень	29.9°
Вересень	34.9°
Жовтень	39.9°
Листопад	44.9°
Грудень	49.9°

Рис. 2.4. Кут нахилу сонячних панелей

2.2 Розрахунок необхідної потужності сонячної електростанції

Для забезпечення резервного живлення для основних агрегатів насосно-фільтрувальної станції на основі сонячних електростанцій необхідно розрахувати потужність СЕС, яка буде здатна покривати середньомісячні потреби станції під час відключень. Також важливо розглянути можливість використання акумуляторів для накопичення енергії, що дозволить використовувати її в нічний час або під час несприятливих погодних умов.

Інсоляція для м. Жовті Води

Сонячна інсоляція важлива для будь-якої сонячної електростанції, як для автономної, так і для мережевої, так як саме від неї залежить вироблення всіх встановлених сонячних батарей і ефективна робота всього комплексу обладнання СЕС і їх окупність. Інсоляція є важливим показником для розрахунків у сфері сонячної енергетики.

Оптимізація інсоляції: Кут нахилу панелей залежить від широти місця встановлення, оскільки це забезпечує найбільше отримання сонячного випромінювання протягом року. У північній півкулі оптимальний кут нахилу приблизно дорівнює широті місця установки або дещо менше для досягнення балансу між зимовими та літніми місяцями.

Неправильний кут може значно зменшити виробництво енергії, особливо в зимовий період, коли інсоляція і так менша. Правильний кут допомагає максимально використовувати доступну сонячну енергію, що є особливо важливим для проектів з високим рівнем автономності, як-от резервне живлення для насосної станції.

Правильне розміщення панелей на певній відстані одна від одної гарантує, що тіні від верхнього ряду не падають на нижній. Це особливо важливо взимку, коли сонце знаходиться низько над горизонтом. Неврахування цього може значно знизити виробництво енергії, оскільки навіть часткове затінення може знизити вихід потужності на окремих панелях.

Таким чином, правильні розрахунки всіх трьох аспектів — кута нахилу, орієнтації на основі широти та відстані між рядами — є основою для побудови ефективної сонячної електростанції Рис. 2.5. Це допомагає максимізувати виробництво енергії та зменшити витрати, пов'язані з низькою продуктивністю або додатковими роботами з переналаштування.

Калькулятор мінімальної відстані між модулями

Висота панелей h	2	m
Кут нахилу панелей α	34.9	°
Широта (для північної півкулі) φ	48.3	°
Кут нахилу променів β	18.43	°
Відстань між рядами, що рекомендується Z	5.081	m

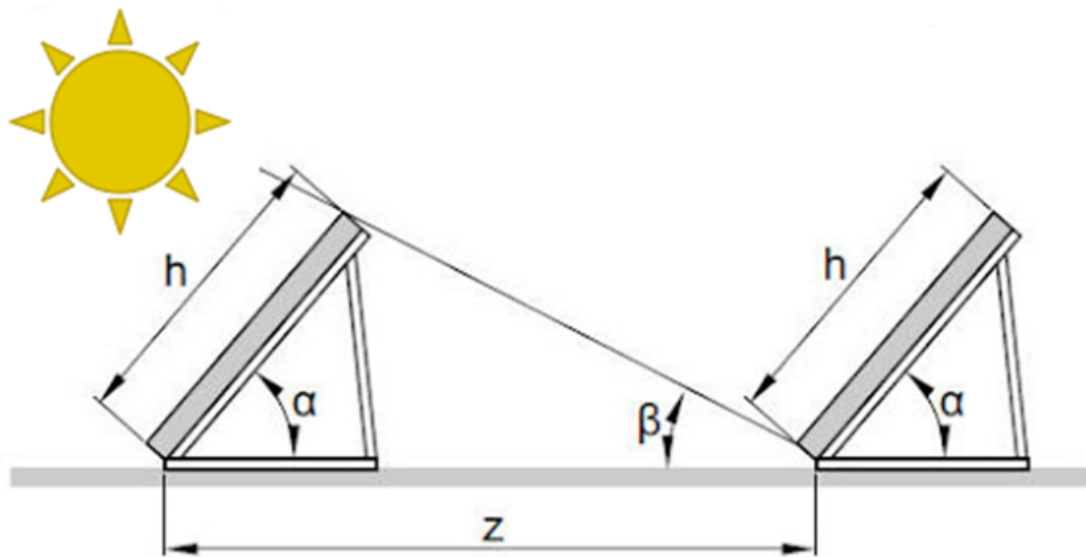


Рис. 2.5. Відстань між рядами

Імовірна інсоляція залежить від атмосферних умов та хмарності в певному регіоні. Цей показник враховується при плануванні сонячних електростанцій і вираховується на основі середніх значень для конкретного регіону.

За допомогою Калькулятора PVWatts ® от NREL Рис. 2.6. Який оцінює виробництво енергії підключеними до мережі фотоелектричними (PV) енергетичними системами по всьому світу. Та дозволяє установникам та виробникам легко розробляти оцінки продуктивності потенційних PV-установок, розраховано можливості СЕС.

Результати 866,825 кВт-год/рік*

Місяць	Сонячне випромінювання 2 (кВт-год / м / день)	Енергія змінного струму (кВт-год)
Січень	1.39	28,006
Лютий	2.43	43,881
Березень	3.52	68,306
Квітень	4.89	89,257
Трава	5.89	106,899
Червень	6.27	107,727
Липень	6.50	115,661
Серпень	6.23	111,302
Вересень	4.92	87,853
Жовтень	3.42	65,516
Листопад	1.34	25,193
Грудень	0.87	17,223
За рік	3.97	866,824

Розташування та ідентифікація станції

Запитане місце розташування	Жовті Води
Джерело даних про погоду	Lat, Lng: 48,33, 33,5 1,1 миль
Широта	48,33° пн
Довгота	33,50° сх.д

Технічні характеристики фотоелектричної системи

Розмір системи постійного струму	752,1 кВт
Тип модуля	Преміум
Тип масиву	Фіксована (відкрита стійка)
Системні втрати	14,08%
Нахил масиву	35°
Азимут масиву	180°
Співвідношення розмірів постійного та змінного струму	1.2
Ефективність інвертора	96%
Коефіцієнт покриття землі	0,4
Альbedo	З файлу погоди
Двосторонній	Ні (0)

Рис. 2.6. Розрахунок можливості СЕС

Інсоляція — це кількість сонячної енергії, яка надходить на поверхню землі. Для України, зокрема для Дніпропетровської області, середньорічна кількість сонячної енергії коливається в межах 3,5–4,5 kWh/m^2 на день. Калькулятор PVWatts розрахував середнє значення:

$$H_{\text{сон}} = 3,97 \text{ kWh}/m^2/\text{день}$$

Це значення дозволяє визначити, скільки енергії сонячні панелі зможуть згенерувати в середньому на один квадратний метр на день.

Розрахунок необхідної площі сонячних панелей

Сонячна станція має забезпечити достатньо електроенергії для покриття середньомісячного споживання основних агрегатів НФС. При цьому врахуємо, що середній ККД сучасних монокристалічних сонячних панелей становить близько 20%.

Добова потреба в енергії: $E_{\text{добове}} \approx 3\,320 \text{ kWh}/\text{доба}$

Необхідну площу сонячних панелей можливо розрахувати за формулою:

$$P_{\text{СЕС}} = \frac{E_{\text{добове}}}{H_{\text{сон}} * \eta_{\text{СЕС}}} \quad (2.1)$$

Де:

$P_{\text{СЕС}}$ — необхідна добова потужність сонячної електростанції;

$E_{\text{добове}}$ — добова потреба в електроенергії;

$H_{\text{сон}}$ — середньодобова сонячна інсоляція для регіону розташування;

$\eta_{\text{СЕС}}$ — загальний коефіцієнт корисної дії сонячної електростанції, що враховує втрати в панелях, інверторах, проводах тощо 0.2.

Підставивши значення в калькулятор PVWatts ® от NREL отримуємо приблизне розрахункове рішення: $P_{\text{СЕС}} \approx 5\,014 \text{ м}^2$

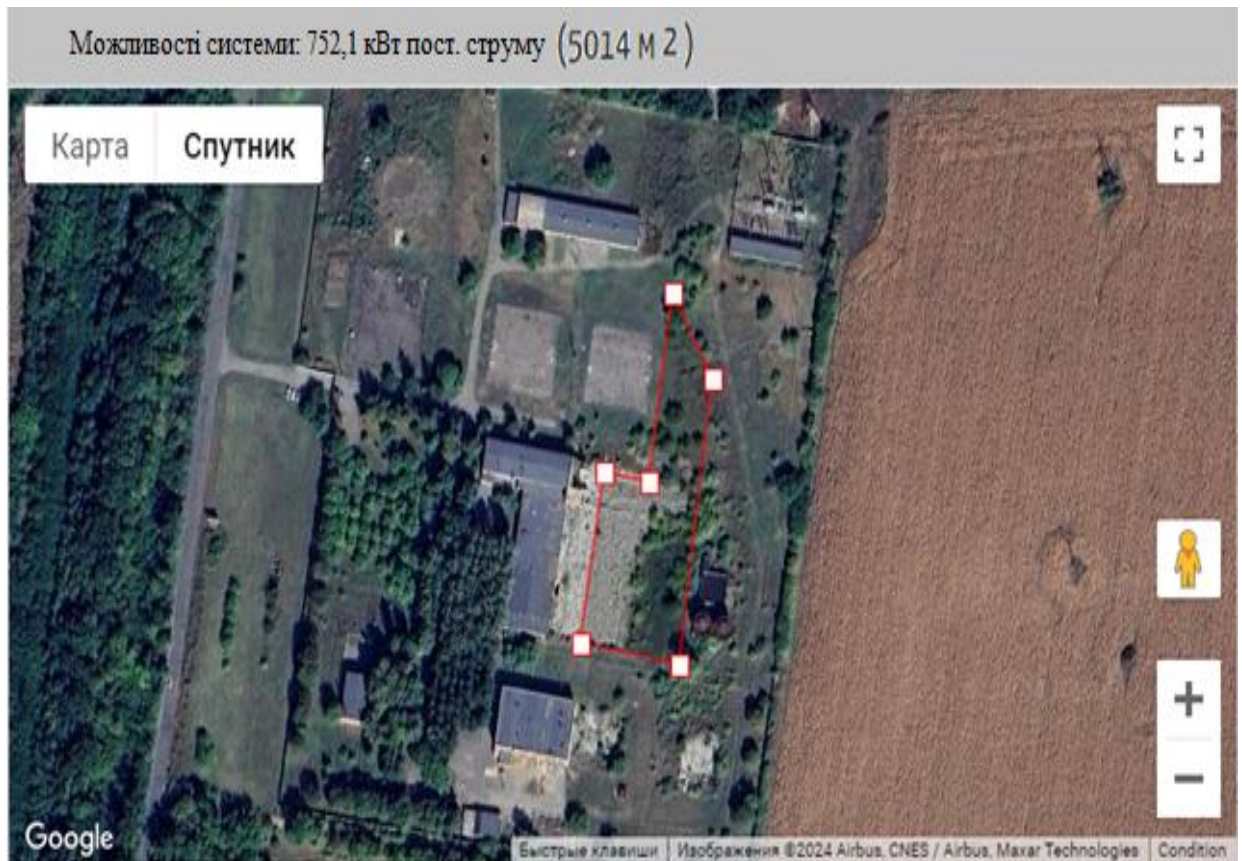


Рис. 2.7. Приблизна площа під сонячні панелі

Отже, для забезпечення добової потреби НФС в електроенергії необхідно встановити приблизно 5 014 м² сонячних панелей Рис. 2.7.

Використання акумуляторних батарей

Для забезпечення резервного живлення НФС необхідно також врахувати накопичувальні потужності акумуляторів.

Припустимо, що потрібно забезпечити резерв електроенергії на 1 день без інсоляції (у випадку поганих погодних умов).

Резервна потреба в енергії:

$$E_{\text{резерв}} = E_{\text{добове}} * 1 = 3\,320 \text{ kWh} * 1 = 3\,320 \text{ kWh на добу} \quad (2.2)$$

Щоб акумуляторна система могла забезпечити 1-добовий резерв, необхідно встановити акумулятори загальною ємністю близько 3320 кВт-год на добу.

Підсумок:

Річне споживання: 906 715 kWh на рік;

Необхідна площа сонячних панелей: приблизно 5 014 м²;

Акумуляторна ємність для дня резервного живлення: приблизно 3 400 кВт-год на добу.

2.3. Вибір обладнання та технологічних рішень

При виборі обладнання для сонячної електростанції та акумуляторних систем, важливо враховувати не тільки потужність та ємність обладнання, але й його надійність, експлуатаційні витрати та інтеграцію в наявну енергосистему насосно-фільтрувальної станції (НФС). Нижче наведено детальне обґрунтування вибору ключових компонентів.

Для даного проекту, як розраховано раніше, необхідна площа становить приблизно 5 014 м² панелей для покриття середньомісячної потреби в електроенергії основних агрегатів НФС (75 560 кВт-год на місяць).

Вибір сонячних панелей

Було вирішено вибрати монокристалічні панелі, оскільки вони мають високий коефіцієнт корисної дії (ККД) і кращу продуктивність при змінних погодних умовах.

SunPower SPR-X22-480-COM

- Потужність: 480 Вт;
- ККД: 22.2%;
- Гарантія: 25;
- Розміри: 2067 x 1046 x 46 мм (2,16 м² - площа одного модуля).

Для забезпечення необхідної генерації потрібно:

$$\frac{P_{\text{СЕС}}}{2,16 \text{ м}^2} = \frac{5\,014 \text{ м}^2}{2,16 \text{ м}^2} \approx 2\,325 \text{ панелей} \quad (2.3)$$

Отже, потрібно приблизно 2 325 панелей SunPower SPR-X22-480-COM або еквівалентних.

Вибір інвертора

Вибір інвертора – це важлива складова будь-якої сонячної електростанції.

Для НФС краще використовувати струнні інвертори, які забезпечують баланс між ефективністю та вартістю, дозволяючи масштабувати систему і підтримувати стабільність при змінних умовах інсоляції.

Інвертори обрані на основі кількості панелей і сумарної потужності станції. Загальна потужність сонячних панелей складатиме:

$$480 \text{ Вт} * 2\,322 \text{ панелей} \approx 1\,115 \text{ кВт} \quad (2.4)$$

Струнні інвертори, забезпечують надійну роботу та є ефективними для середніх і великих проектів.

Інвертор - HUAWEI SUN2000-40KTL:

- Номінальна потужність: 40 кВт;
- Максимальна ефективність: 98.6%;
- Підтримка підключення до інтелектуальної системи моніторингу;
- Підтримує кілька MPPT для оптимізації генерації при частковому затіненні.

Для покриття сумарної потужності сонячних панелей потрібно:

$$\frac{1115 \text{ кВт}}{40 \text{ кВт}} \approx 27 \text{ інверторів Huawei SUN2000-40KTL} \quad (2.5)$$

Акумуляторні системи

Для резервного живлення важливе значення мають акумулятори, які будуть накопичувати надлишкову енергію для використання в періоди низької або відсутньої інсоляції.

Для даного проекту було вирішено вибрати літій-залізо-фосфатні акумулятори, оскільки вони мають високу ефективність, тривалість життя і можуть зберігати достатньо енергії для тривалих періодів резервного живлення. Необхідна ємність, яка була розрахована раніше, становить близько 3 320 кВт·год на добу резервного живлення.

Акумуляторна батарея: LiFePO₄ DYNESS 9.6 кВт 48V/200Ah

- Ємність: 9.6 кВт·год;
- ККД при розряді: 90%;
- Гарантія: 10 років.

Для забезпечення резерву на 1 добу потрібно:

$$\frac{3320 \text{ кВт}}{9,6 \text{ кВт}} \approx 346 \text{ акумуляторів} \quad (2.6)$$

Отже, потрібно приблизно 346 акумуляторів LiFePO₄ DYNESS 9.6 кВт 48V/200Ah або еквівалентних акумуляторних систем.

Система моніторингу і контролю

Для ефективної роботи всієї системи необхідно впровадити автоматизовану систему моніторингу, яка буде контролювати:

- Виробництво електроенергії сонячними панелями;
- Стан зарядки/розрядки акумуляторів;
- Наявність або відсутність затінення панелей;
- Роботу інверторів та інших компонентів.

Система моніторингу має бути інтегрована з інверторами та акумуляторами для забезпечення безперервного контролю роботи системи, а також для своєчасного виявлення можливих проблем. Наприклад система моніторингу: Huawei Smart PV Management System

Забезпечує моніторинг виробництва енергії, ефективності інверторів, стану акумуляторів і загальної роботи системи, підтримує аналітику в режимі реального часу.

Ця система дозволить забезпечити стабільну роботу сонячної електростанції і своєчасно реагувати на зміни в умовах експлуатації.

Резервне живлення основних агрегатів НФС за допомогою сонячної електростанції потребує ретельного підбору обладнання:

- Монокристалічні сонячні панелі для максимальної ефективності;
- Струнні інвертори для стабільної роботи і балансування вартості;
- LFP акумулятори для тривалого резервного живлення;
- Система моніторингу для автоматизованого контролю та оптимізації енерговитрат.

2.4. Оцінка витрат і економічної ефективності проекту

Для проведення аналізу витрат і економічної ефективності проекту резервного живлення основних агрегатів насосно-фільтрувальної станції КП "Жовтоводський водоканал" за допомогою сонячної електростанції (СЕС), розглянемо капітальні витрати на обладнання, експлуатаційні витрати, очікувані доходи від економії електроенергії та термін окупності. Наведено докладний розрахунок цих показників з відповідними формулами.

Вартість сонячних панелей

Кількість сонячних панелей для проекту становить 2 325 одиниць (як розраховано раніше). Нехай середня вартість однієї сонячної панелі потужністю 480 Вт складає 150 USD (ціна може змінюватися в залежності від виробника та ринку).

$$C_{\text{панелі}} = 2\,325 \times 150 = 348\,750 \text{ USD} \quad (2.7)$$

Вартість інверторів

Кількість інверторів, необхідних для проекту, становить 35 одиниць. Нехай середня вартість одного інвертора Huawei SUN2000-40KTL складає 4 200 USD.

$$C_{\text{інвертори}} = 27 \times 4\,200 = 113\,400 \text{ USD} \quad (2.8)$$

Вартість акумуляторних батарей

Для резервного живлення для однієї доби необхідно приблизно 346 акумуляторів LiFePO4 DYNESS ємністю 9.6 кВт·год кожен. Нехай середня вартість одного акумулятора складає 2 150 USD.

$$C_{\text{акумулятори}} = 346 \times 2\,150 = 743\,900 \text{ USD} \quad (2.9)$$

Вартість монтажу та допоміжного обладнання

Зазвичай вартість монтажу та допоміжного обладнання (системи кріплення, кабелі, системи захисту, системи моніторингу тощо) складає приблизно 10-15% від загальної вартості обладнання.

$$C_{\text{монтаж}} = 0.15 \times (348\,750 + 113\,400 + 743\,900) = 180\,908 \text{ USD} \quad (2.10)$$

Загальні капітальні витрати

Загальні капітальні витрати на проект можна обчислити як суму витрат на обладнання та монтаж:

$$C_{\text{загальні}} = 348\,750 + 113\,400 + 743\,900 + 180\,908 = 1\,386\,958 \text{ USD} \quad (2.11)$$

Оцінка експлуатаційних витрат

Для сонячних електростанцій експлуатаційні витрати, зазвичай, становлять приблизно 1-2% від загальних капітальних витрат на рік. У нашому випадку, з капітальними витратами в 1 386 958 USD, приймемо середнє значення 1.5%.

$$E_{\text{експлуатаційні витрати}} = 1\,386\,958 \times 0.015 \approx 20\,805 \text{ USD/рік} \quad (2.12)$$

Оцінка економії електроенергії

СЕС може забезпечити 866 825 кВт·год/рік, що покриває більшу частину річного споживання основних агрегатів НПВ/НТВ (906 715

кВт·год/рік). Таким чином, економія на витратах за електроенергію буде обчислена так:

$$E_{\text{економія електроенергії}} = 866\,825 \times 0.2 = 173\,365 \text{ USD/рік} \quad (2.13)$$

Термін окупності проекту

Термін окупності визначається як співвідношення загальних капітальних витрат до річної економії на електроенергії, скоригованої на експлуатаційні витрати.

$$\text{Термін окупності} = \frac{C_{\text{загальні}}}{E_{\text{економія електроенергії}} - E_{\text{експлуатаційні витрати}}} \quad (2.14)$$

Підставимо значення:

$$\text{Термін окупності} = \frac{1\,386\,958}{173\,365 - 20\,805} = \frac{1\,386\,958}{152\,560} = 9 \text{ років} \quad (2.15)$$

ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 2

Проект установки сонячної електростанції для резервного живлення основних агрегатів НПВ/НТВ КП "Жовтоводський водоканал" виглядає економічно вигідним з доволі чіткою перспективою окупності.

Встановлення СЕС потужністю, здатною виробляти 866,825 кВт·год/рік, дозволить забезпечити до 95% річного споживання основних агрегатів, що зменшить залежність від зовнішніх джерел електроенергії і підвищить енергетичну незалежність підприємства. Очікувана економія на електроенергії складає 173 365 USD/рік, а експлуатаційні витрати — близько 20 805 USD/рік. Таким чином, термін окупності проекту становить близько 9 років.

З огляду на строк служби сонячних панелей у 25 років, економічна ефективність проекту в довгостроковій перспективі є високою.

РОЗДІЛ 3

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА

Цей розділ присвячений дослідженню ефективності системи резервного живлення насосно-фільтрувальної станції (НФС) на основі сонячної електростанції, розробленої для забезпечення надійного постачання електроенергії основним агрегатам, насосам питної та технічної води НФС.

3.1. Опис методики моделювання системи резервного живлення насосно-фільтрувальної станції

Для моделювання системи резервного живлення насосно-фільтрувальної станції було використано програмне забезпечення System Advisor Model (SAM), розроблене Національною лабораторією відновлюваної енергетики США (NREL). Ця програма є потужним інструментом для моделювання енергетичних систем, особливо в галузі сонячної енергетики, завдяки її функціональності та адаптивності до різних сценаріїв.

Основними етапами моделювання був збір початкових даних.

Враховано річне споживання основних агрегатів НФС Рис.3.1., насоси технічної води (НТВ) і питної води (НПВ) — 906715 кВт-год/рік; Максимальне добове споживання основних агрегатів — 3318 кВт-год.; розраховано ємність акумуляторної системи для забезпечення добового резерву, яка склала 4156.8 кВт-год. Середня вартість електроенергії: 0.2 USD/кВт-год.

	Energy (kWh)	Peak (kW)
Jan	82,236.00	241.35
Feb	81,697.00	281.79
Mar	64,313.00	203.16
Apr	69,259.00	240.75
May	80,748.00	272.59
Jun	85,070.00	282.26
Jul	82,096.00	252.45
Aug	72,170.00	220.40
Sep	66,784.00	230.78
Oct	65,840.00	224.11
Nov	78,298.00	225.82
Dec	78,204.00	250.42
Annual	906,715.00	282.26

Рис.3.1. Річне споживання основних агрегатів НФС

Для моделювання було використано кліматичні дані для міста Жовті Води, завантажені з бази даних погодних умов програми SAM. Дані включали річний рівень сонячної інсоляції, температуру та інші погодні характеристики.

В ході ознайомлення з програмою були відібрані параметри системи:

Фотоелектричні панелі - SunPower SPR-X22-480-COM (потужність 480 Вт кожна) Рис.3.2. у двох масивах загальною кількістю 2325 штук,



Рис.3.2. Характеристики фотоелектричних панелей

Інвертори - Huawei SUN2000-40KTL-US (480 В), 24 шт. Рис.3.3.

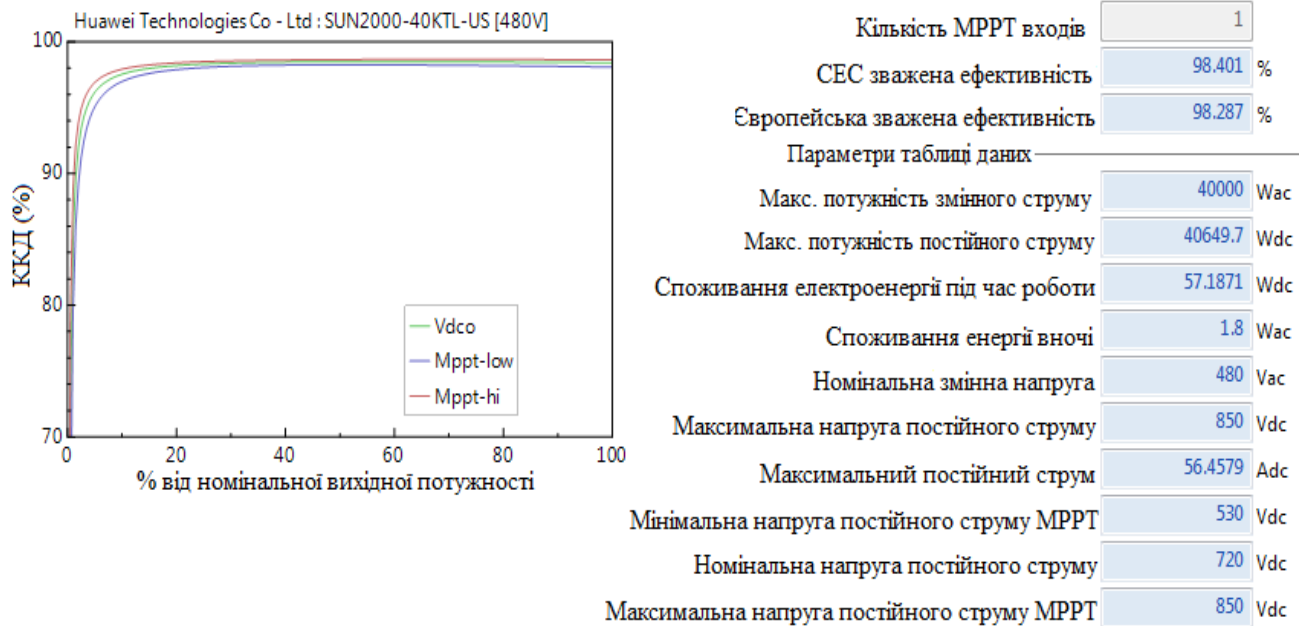


Рис.3.3. Характеристики інверторів

Розрахункове співвідношення DC/AC: 1.16.

При налаштуванні параметрів у SAM був вибраний тип системи Рис.3.4., а саме - фіксоване кріплення панелей з оптимальним нахилом (35° для Жовтих Вод).

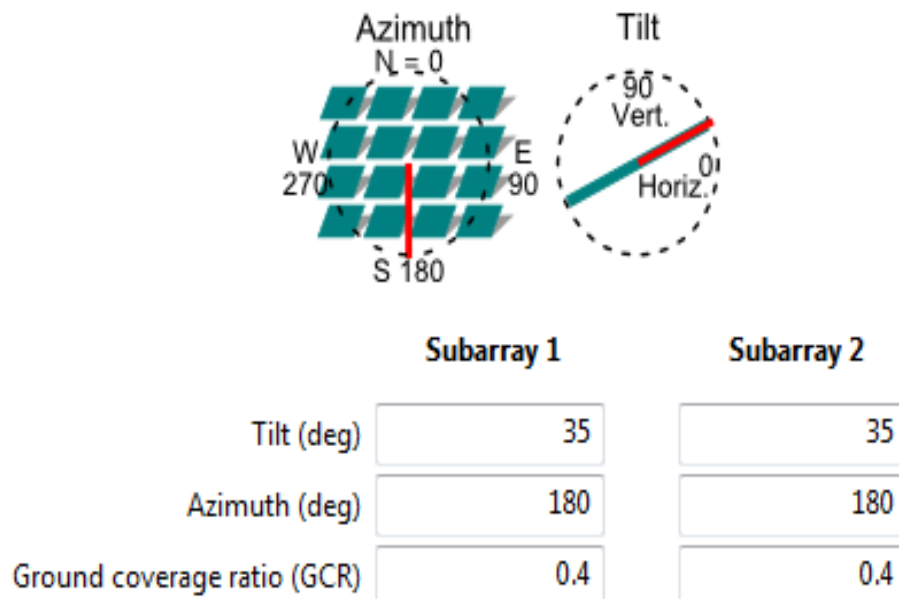


Рис.3.4. Кут нахилу та азимут

Враховані втрати на кабелях, інверторах, та інших компонентах (загальний коефіцієнт втрат ~14%).

В ході проведення симуляції було вирішено скоротити кількість інверторів до 24 завдяки інтеграції акумуляторного сховища, що зменшило потребу в піковій потужності інверторів.

При проведенні симуляції з параметрами, що враховували 24 інверторів Huawei SUN2000-40KTL-US та фотоелектричними панелями SunPower SPR-X22-480-COM в кількості 2325 шт. система досягла оптимального співвідношення DC/AC = 1.16, що дозволило ефективно використовувати генерацію панелей. Річна генерація електроенергії склала 1,084,555 кВт-год/рік, що повністю відповідає прогнозам. Вдалося уникнути обмеження вихідної потужності інверторів та недовантаження, завдяки чому ефективність системи суттєво зросла.

Для оптимізації втрат в системі було зменшено втрати за рахунок оптимізації параметрів: Soiling Loss (втрати через забруднення модулів) знижено з 5% до 1%, що підвищило продуктивність системи.

Module mismatch (Невідповідність модуля), Diodes and connections (Діоди і з'єднання), Wiring losses (Втрати проводки) налаштовано з урахуванням технічних характеристик модулів SunPower SPR-X22-480-COM, що дозволило досягти коефіцієнта PR Performance Ratio (Коефіцієнт продуктивності) на рівні 0.69.

Провівши аналіз результатів, можна з упевненістю стверджувати, що система працює з високою ефективністю. Річна генерація сонячної електростанції покриває основну частину потреб насосно-фільтрувальної станції, забезпечуючи її автономність під час відключень електроенергії. Інвертори використовуються на номінальному рівні потужності, що дозволяє уникнути суттєвих перевантажень або втрат генерації.

Економічний аналіз підтвердив доцільність проекту. При середній вартості електроенергії для підприємства \$0.2/кВт-год, річна економія

становить \$165,840, що забезпечує окупність початкових капітальних витрат у розмірі \$1,714,158 протягом близько 10,4 років.

Методика моделювання за допомогою System Advisor Model (SAM) продемонструвала свою ефективність, дозволивши оптимально налаштувати параметри системи резервного живлення насосно-фільтрувальної станції. Зокрема, точний підбір кількості інверторів (24 одиниці) і параметрів роботи системи дозволив досягти високої ефективності генерації при мінімальних витрат.

Результати симуляції підтвердили, що встановлена сонячна електростанція здатна забезпечувати необхідний рівень резервного живлення, підвищуючи надійність функціонування станції в умовах частих відключень електроенергії. Крім того, вона сприяє значній економії витрат на електроенергію та забезпечує екологічно чисте виробництво енергії.

3.2. Моделювання резервного живлення насосно-фільтрувальної станції та його результати

Метою моделювання було визначити ефективність використання сонячної електростанції (СЕС) із акумуляторною системою резервного живлення для забезпечення роботи основних агрегатів насосно-фільтрувальної станції (НФС) в умовах відключень електропостачання. Враховувалася необхідність забезпечення енергонезалежності та покриття критичних потреб НФС у разі перебоїв в енергопостачанні, що є ключовим для надійності водопостачання в місті.

Для моделювання використовувалося програмне забезпечення System Advisor Model (SAM), яке дозволяє аналізувати технічні, енергетичні та економічні аспекти роботи сонячної електростанції.

Основні кроки моделювання

Введення вхідних даних:

Річне споживання основних агрегатів (НПВ/НТВ) – 906,715 кВт·год.

Пікове споживання становить 348 кВт. Встановлена потужність СЕС – 1,116.744 кВт (1,080 кВт в АС). Акумуляторна система складається з 433 LiFePO₄ DYNNESS батарей ємністю 9.6 кВт·год кожна. Загальна ємність становить 4,156.8 кВт·год, що забезпечує добове резервування критичних навантажень. Використано 24 інвертори Huawei SUN2000-40KTL, що забезпечують надійний перетворення енергії з постійного на змінний струм.

Зниження втрат від забруднення поверхні панелей (Soiling Loss) із 5% до 1% за рахунок оптимізації регулярного очищення. Зменшення втрат через невідповідність модулів (Module mismatch), діоди та з'єднання (Diodes and connections), а також через кабелі (Wiring losses). Загалом ці оптимізації дозволили підвищити коефіцієнт продуктивності системи (PR) до 0.69.

Заряд акумуляторів здійснюється лише від СЕС. Мінімальний стан заряду (SOC) встановлено на рівні 10%, щоб запобігти глибокому розряду.

Батарея забезпечує енергопостачання основних агрегатів НФС у випадку відключення від мережі.

У розділі Grid Outage було задано, що критичне навантаження становить 80% від загального навантаження, враховуючи потреби основних агрегатів НФС.

Результати моделювання та енергетичні показники Рис.3.5.

Річна генерація енергії: 1,084,555 кВт·год, що становить 96% від потреб основних агрегатів НФС;

Ефективність роботи системи: коефіцієнт продуктивності (PR) – 0.69;
ефективність батарей при циклі заряд/розряд – 91.93%.

Економічні результати:

Річна економія на оплаті електроенергії становить 165,840 USD;

Рівень LCOE (реальний) – 16.84 ¢/кВт·год, що є прийнятним з огляду на резервну функцію системи;

Чиста приведена вартість (NPV) проекту становить 1,261,428 USD, що свідчить про довгострокову вигідність проекту.

Окупність капітальних витрат – 10.4 років.

Метрика	Значення
Річна енергія змінного струму за рік 1	1,084,555 kWh
Коефіцієнт ємності постійного струму в рік 1	11.1%
Вихід енергії в рік 1	971 kWh/kW
Коефіцієнт продуктивності за рік 1	0.69
Ефективність батареї в обидві сторони	91.93%
Енергія заряду батареї від системи	98.3%
LCOE Вирівняна вартість енергії номінальна	20.55 €/kWh
LCOE Вирівняна реальна вартість енергії	16.84 €/kWh
Рахунок за електроенергію без системи (рік 1)	\$181,343
Рахунок за електроенергію з системою (рік 1)	\$15,503
Чисті заощадження з системою (рік 1)	\$165,840
Чиста поточна вартість	\$1,261,428
Простий термін окупності	10.4 years
Знижений термін окупності	15.3 years
Чиста вартість капіталу	\$1,714,158
Власний капітал	\$1,714,158
Борг	\$0

Рис.3.5. Результат моделювання

На Рисунок 3.6. представлено місячну генерацію змінного струму сонячною електростанцією протягом першого року експлуатації. Найвища продуктивність спостерігається в літні місяці (червень—серпень) завдяки максимальній сонячній інсоляції, тоді як найменша генерація припадає на зимові місяці (грудень—лютий) через коротший світловий день та низький кут падіння сонячного проміння. Ці дані підтверджують, що система ефективно адаптується до сезонних змін, забезпечуючи основну частину потреб насосно-фільтрувальної станції.

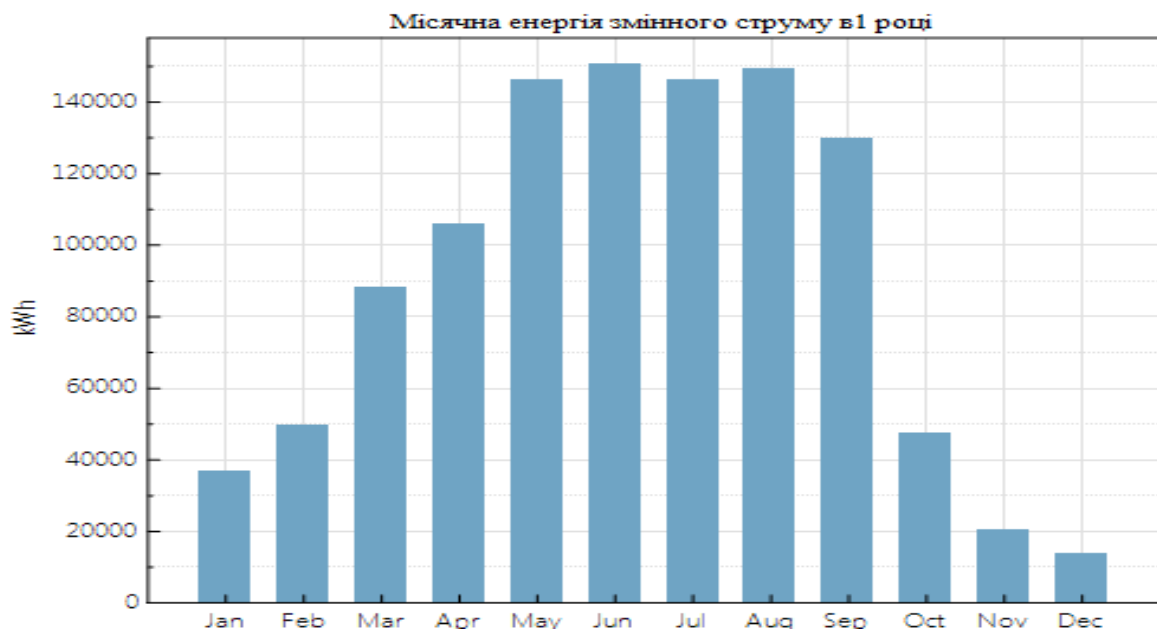


Рис. 3.6. Річна генерація електроенергії системою.

Рис. 3.7. відображає загальну кількість енергії змінного струму, згенерованої сонячною електростанцією протягом першого року експлуатації. Сумарна генерація становить 1,084,555 кВт-год, що відповідає розрахованій потужності системи та враховує усі втрати, включаючи ефекти забруднення панелей, електричних з'єднань і модулів. Цей показник демонструє здатність електростанції забезпечувати енергетичні потреби насосно-фільтрувальної станції, навіть за сезонних коливань продуктивності.

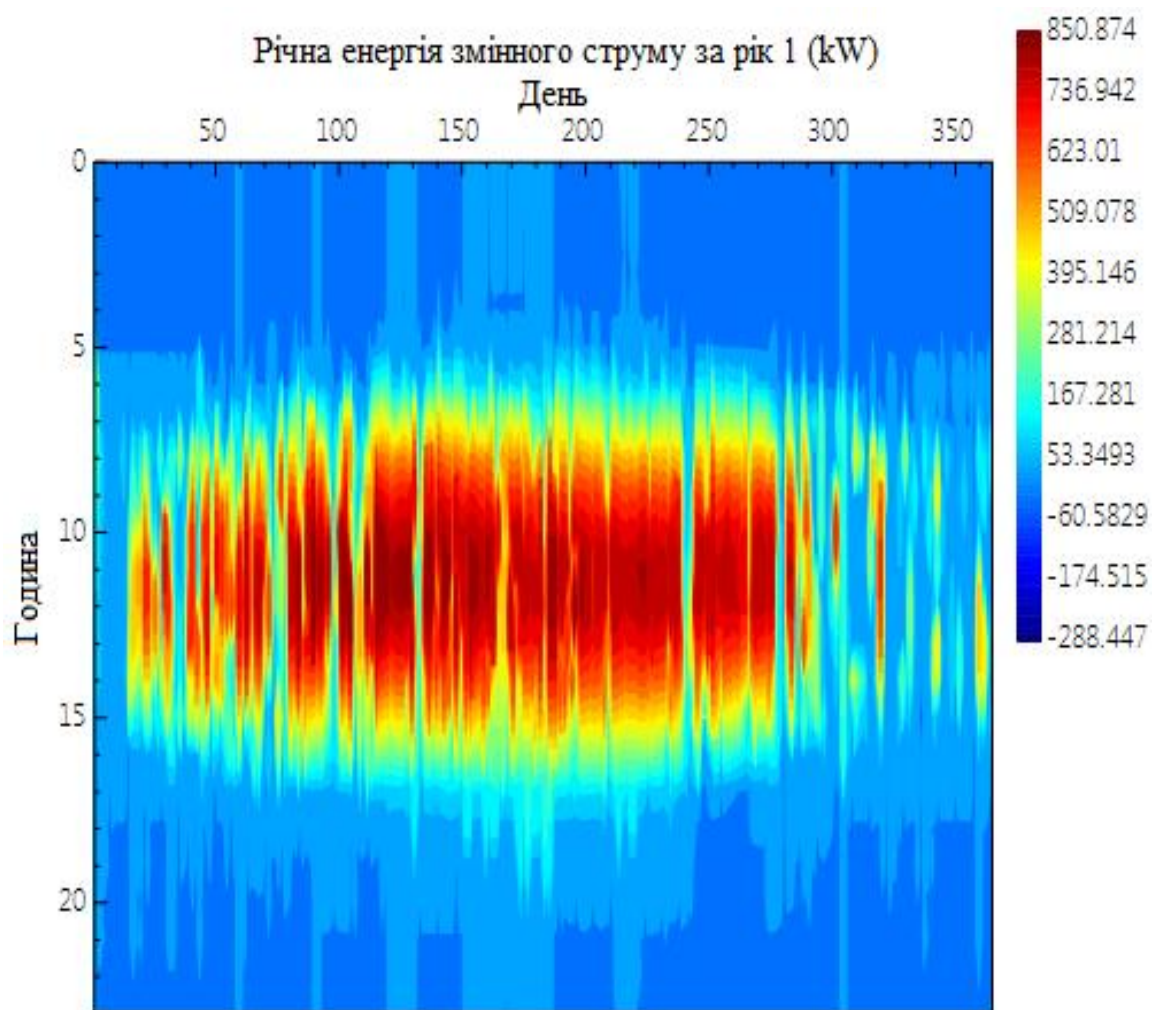


Рис. 3.7. Річна генерація електроенергії системою.

Рис. 3.8. порівнює місячну генерацію змінного струму сонячною електростанцією (AC Energy) із місячним енергоспоживанням насосно-фільтрувальної станції (Load) протягом першого року експлуатації. Він показує, що вироблена енергія системи суттєво перевищує споживання у літні місяці завдяки більшій інсоляції та довшим світловим дням, тоді як у зимовий період спостерігається зменшення генерації. Це дозволяє оцінити ефективність системи у різні сезони та підтверджує її здатність компенсувати основне споживання.

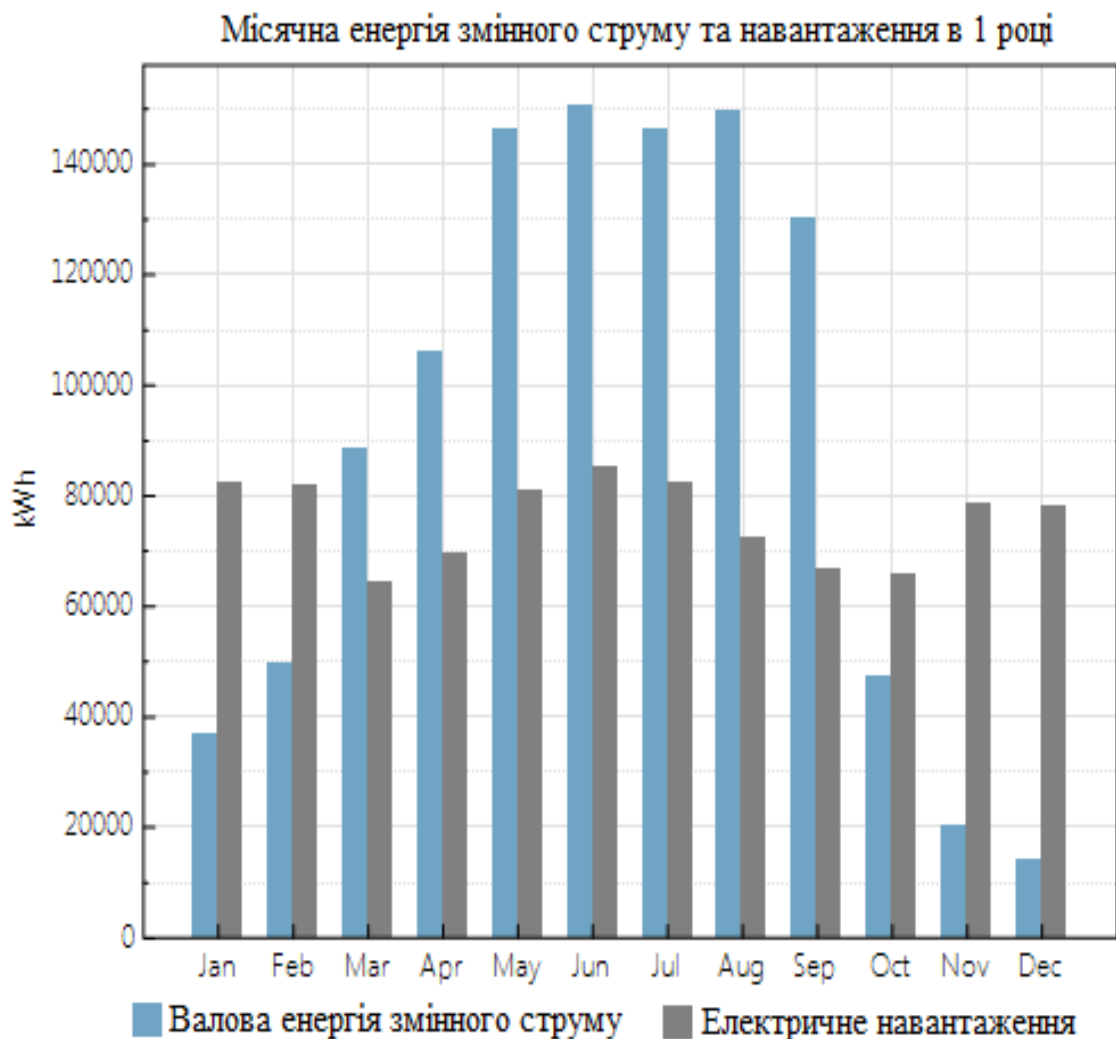


Рис. 3.8. Місячна енергія змінного струму та навантаження в 1 році.

Рис. 3.9. демонструє річне виробництво електроенергії сонячною електростанцією протягом 25 років експлуатації. Видно, що генерація залишається стабільною завдяки оптимально підібраним параметрам системи та незначним деградаційним втратам у фотоелектричних модулях. Це підтверджує довготривалу надійність та ефективність роботи СЕС.

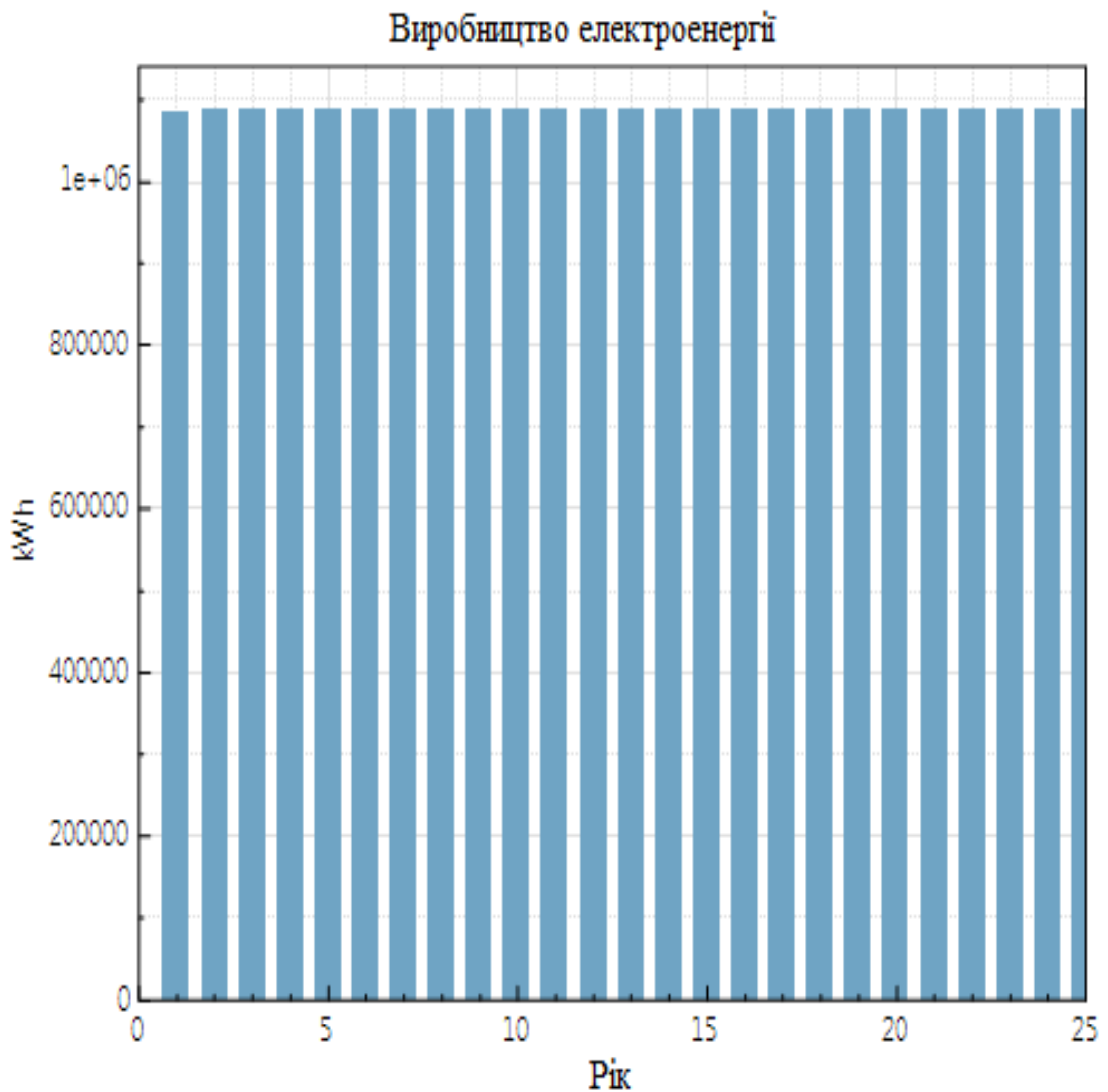


Рис. 3.9. Річне виробництво електроенергії.

Переваги резервного живлення

Система здатна забезпечувати повну автономність критичних навантажень НФС під час аварійних відключень.

Завдяки оптимізації параметрів та зниженню втрат забезпечено максимальну ефективність використання доступної енергії.

Результати моделювання підтвердили, що сонячна електростанція з акумуляторною системою є ефективним рішенням для забезпечення резервного живлення основних агрегатів насосно-фільтрувальної станції. Завдяки використанню сучасних технологій та оптимізації параметрів системи вдалося досягти балансу між енергетичною незалежністю та економічною ефективністю. Система забезпечує надійність роботи основних агрегатів НФС у разі перебоїв в енергопостачанні та сприяє суттєвій економії витрат на електроенергію.

3.3. Аналіз отриманих даних та їх інтерпретація

Згідно з результатами моделювання, річне виробництво електроенергії сонячною електростанцією (СЕС) у першому році становить 1 084 555 кВт-год. Це повністю відповідає технічним умовам для забезпечення резервного живлення насосно-фільтрувальної станції (НФС). Річна генерація залишається стабільною протягом терміну експлуатації, що свідчить про високу ефективність запропонованої конфігурації.

Сезонні коливання виробництва енергії очікувані та пов'язані з інсоляцією. Найвищі показники спостерігаються в літні місяці (червень-серпень) з максимальною генерацією, що перевищує 140,000 кВт-год на місяць. Натомість у зимові місяці (грудень-січень) виробництво суттєво знижується через меншу тривалість світлового дня та рівень сонячного випромінювання.

Фінансові розрахунки підтверджують економічну доцільність впровадження СЕС. Простий період окупності системи становить 10.4 роки, а дисконтований період окупності — 15.3 роки. Це враховує початкові

капітальні витрати в розмірі \$1 714 158 та економію на оплаті електроенергії в розмірі \$165 840 на рік у перший рік експлуатації.

Інтерпретація отриманих даних

Стабільність генерації: СЕС забезпечує стабільне виробництво електроенергії, яке покриває потреби основних агрегатів НФС. Навіть у зимові місяці генерація достатня для підтримання резервного живлення.

Енергетична незалежність: Проект дозволяє значно зменшити залежність від зовнішніх джерел енергії, забезпечуючи надійність роботи НФС навіть у випадку аварійних ситуацій.

Економічна ефективність: Впровадження системи приносить довгострокову економію для підприємства завдяки скороченню витрат на енергоресурси, незважаючи на високі початкові капітальні витрати.

ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 3

У третьому розділі магістерської роботи виконано моделювання резервного живлення основних агрегатів (насосів питної та технічної води) насосно-фільтрувальної станції КП «Жовтоводський водоканал» за допомогою фотоелектричної системи, розробленої у програмному забезпеченні SAM (System Advisor Model). На основі отриманих даних проведено аналіз роботи системи та її відповідність вимогам безперебійного електропостачання об'єкта.

Було встановлено, що розрахована фотоелектрична система потужністю 1 116.744 кВт забезпечує щорічне виробництво змінного струму на рівні 1 084 555 кВт-год, що задовольняє значну частину енергетичних потреб насосів НТВ/НПВ. Аналіз даних показав стабільність генерації енергії протягом року з деякими варіаціями, обумовленими змінами інсоляції в залежності від сезону. Найбільший рівень генерації припадає на літні місяці, що узгоджується з характером сонячної активності.

Моделювання також показало, що завдяки оптимально обраним параметрам нахилу модулів (35°) та їх орієнтації (азимут 180°), система досягає високого рівня ефективності виробництва енергії. Додатково проведені розрахунки підтвердили, що розроблена система забезпечує покриття навантаження основних агрегатів насосно-фільтрувальної станції, дозволяючи значно знизити залежність підприємства від основного енергопостачання.

Проведений аналіз дозволив підтвердити доцільність впровадження сонячної електростанції як резервного джерела живлення для основних агрегатів, насосів питної та технічної води, насосно-фільтрувальної станції. Результати моделювання свідчать про економічну ефективність системи, оскільки впровадження сонячної електростанції дозволяє зменшити витрати підприємства на електроенергію, сприяє покращенню надійності енергопостачання та відповідає сучасним вимогам екологічної безпеки.

ВИСНОВОК

У магістерській роботі було досліджено доцільність, технічну реалізацію та ефективність впровадження резервного живлення для основних агрегатів насосів технічної та питної води, насосно-фільтрувальної станції КП "Жовтоводський водоканал" на основі сонячної електростанції. Робота включала теоретичний аналіз, технічне проектування, моделювання системи та оцінку її економічної ефективності.

У роботі обґрунтовано, що забезпечення безперебійного живлення критично важливих об'єктів водопостачання є ключовим завданням для підвищення енергетичної стійкості та екологічної безпеки регіону. Використання сонячної енергії як резервного джерела є перспективним рішенням, що дозволяє зменшити витрати на електроенергію та залежність від зовнішніх джерел енергопостачання.

У першому розділі було досліджено поточну систему енергозабезпечення насосно-фільтрувальної станції, визначено щорічне та пікове споживання енергії, а також обґрунтовано необхідність впровадження резервного живлення. Проаналізовано принципи роботи сонячних електростанцій і розглянуто успішні вітчизняні приклади їх використання для водопостачання.

У другому розділі проведено оцінку інсоляції для умов м. Жовті Води, розраховано необхідну потужність сонячної електростанції та здійснено вибір обладнання. Також оцінено капітальні витрати та економічну ефективність проекту. Запропонована система забезпечує значну частину енергетичних потреб насосно-фільтрувальної станції з мінімальними витратами на експлуатацію.

У третьому розділі за допомогою програмного забезпечення SAM було змодельовано роботу системи резервного живлення. Проведено аналіз отриманих даних, що підтвердив технічну і економічну доцільність

впровадження сонячної електростанції для потреб насосно-фільтрувальної станції.

Результати економічної ефективності показали, що впровадження сонячної електростанції дозволяє значно скоротити витрати на електроенергію, одночасно забезпечуючи надійність енергопостачання. Крім того, це сприяє покращенню екологічного стану за рахунок зниження викидів парникових газів.

Виконане дослідження підтвердило, що впровадження сонячної електростанції як резервного джерела живлення для насосно-фільтрувальної станції є технічно здійсненним і економічно обґрунтованим. Результати роботи можуть бути використані для реалізації подібних проектів на інших об'єктах водопостачання.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сотник І. М. Енергоефективність та відновлювальна енергетика в Україні: проблеми управління : монографія. Суми: Університетська книга, 2019. 247 с.
2. Кудря С. О. Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії: підручник, НТУУ «КПІ», 2013. 492 с.
3. Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А., Солнечная энергетика: Москва: Издательский дом МЭИ, 2008. 276с.
4. Правила улаштування електроустановок. Видання офіційне. Міненерговугілля України: Видавництво "Форт", 2017. 760 с.
5. Возняк О.Т. Енергетичний потенціал сонячної енергетики та перспективи його використання в Україні // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". 2010. № 664 : Теорія і практика будівництва. С. 7–10.
6. Плюси і мінуси сонячної енергії (19.12.2019). URL: <https://www.greenmatch.co.uk/blog/2014/08/5-advantages-and-5-disadvantages-of-solar-energy>
7. Сім причин, чому слід використовувати сонячну енергію(01.10.2019) URL: <https://www.greenmatch.co.uk/blog/2014/07/7-reasons-why-you-should-use-solarpower>
8. Терміни окупності сонячних батарей. URL:<https://axiomplus.com.ua/news/solnechnye-paneli-dlyazarabotka/>
9. National Solar Jobs Census. URL:<https://www.thesolarfoundation.org/national/>
10. Які нюанси роботи сонячної електростанції в зимовий період. URL:<https://prel.prom.ua/n234221-yaki-nyuansi-roboti.html>
11. Як працюють сонячні батареї в дощ, вночі та взимку. URL:<https://sun-energy.com.ua/articles/paneli-v-doshch-snih-vzymku>
13. Сонячні батареї в Україні. URL:<http://ukrenerho.com/sonyachni-batareyi-kupiti-v-ukrayini/>.
14. Сонячні батареї: типи та принцип роботи.

URL:<https://comfortsellers.com.ua/sonyachni-batareyi-typy-ta-pryntsyp-roboty/>

15. Ефективність сонячних модулів у 2022 році.

URL:<https://avenston.com/articles/solar-panels-2022/>

16. Як вибрати акумулятор для сонячної електростанції

URL:<https://www.solargarden.com.ua/yak-vybraty-akumulyator-dlya-sonyachnoi-elektrostantsii/>