МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії та енергетики
Кафедра електрифікації, автоматизації виробництва та інженерної екології

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Уманський Олександр Іванович

УДК 621.359.4

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Обгрунтування ефективності використання фотоелектричних панелей в сільському господарстві
(тема роботи)

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Уманський О. І.
(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи

Островерхов Микола Якович
(прізвище, ім'я, по батькові)
д.т.н., професор кафедри електрифікації, автоматизації виробництва та інженерної екології
(науковий ступінь, вчене звання)

Житомир – 2026

АНОТАЦІЯ

Уманський О. І. Обгрунтування ефективності використання фотоелектричних панелей в сільському господарстві. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка – Поліський національний університет, Житомир, 2026.

Метою роботи є обґрунтування ефективності використання фотоелектричних панелей в сільському господарстві в рамках подальшого сталого іноваційного розвитку сільського господарства .

Основними напрямами дослідження за даною темою являється доцільність використання сонячних електростанцій на сільських територіях.

Ключові слова: сонячне випромінювання, сільські території, сонячні електростанції.

ABSTRACT

Umanskyi O. I. Justification of the effectiveness of the use of photovoltaic panels in agriculture. Qualification work for the degree of bachelor in specialty 141 – Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics – Polissia National University, Zhytomyr, 2026.

The purpose of the work is to substantiate the effectiveness of the use of photovoltaic panels in agriculture within the framework of further sustainable innovative development of agriculture.

The main areas of research on this topic are the feasibility of using solar power plants in rural areas.

Keywords: solar radiation, rural areas, solar power plants.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ1. СОНЯЧНЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ ЯК ДЖЕРЕЛО ОСНОВНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ	7
1.1 Оцінка потенціалу сонячного випромінювання	7
1.2 Аналіз активності сонця у різних регіонах України	9
1.3 Фактори які визначають рівень сонячного опромінення	12
Висновки по розділу 1	19
РОЗДІЛ 2. ДОЦІЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ НА СІЛЬСЬКИХ ТЕРИТОРІЯХ	20
2.1 Сонячні енергетичні системи для сільського господарства	20
2.2 Обгрунтування доцільності використання сонячних електростанцій на сільських територіях	23
Висновки по розділу 2	30
РОЗДІЛ 3. ІНОВАЦІЇ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ	31
3.1 Огляд іноваційних сонячних технологій, доступних для агропромислового сектору	32
3.2 Сонячна насосна система для сільського господарства та іригації	33
3.3 Агрівольтаїка як новий підхід до виробництва сонячної енергії	36
Висновки по розділу 3	42
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	43
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	44

ВСТУП

В епоху, відзначену зміною клімату і попитом, що зростає, на стійкі методи ведення сільського господарства, інтеграція відновлюваної енергії в сільське господарство не просто вигідна, а й необхідна. Сонячні енергетичні системи для сільського господарства є революційним кроком до інноваційного та екологічно чистого виробництва продуктів харчування. Використання сонячної енергії може значно підвищити ефективність сільськогосподарських операцій, мінімізуючи при цьому вплив на довкілля. У цій статті розглядаються різні аспекти сонячних енергетичних систем для сільського господарства, досліджуються їхні переваги, технології, галузі застосування та майбутній потенціал.

Застосування сонячної енергії у сільському господарстві виходить далеко за межі базового енергопостачання. Інноваційні способи використання цього відновлюваного ресурсу постійно з'являються, відображаючи адаптивність сільськогосподарських методів у відповідь на екологічні міркування, що змінюються, і технологічні досягнення.

Значне застосування сонячної енергії – зрошення. Традиційні методи зрошення часто енергоємні через використання дизельних насосів. Навпаки, насоси на сонячних батареях можуть працювати ефективно та стійко, забезпечуючи життєво важливі послуги з доставки води та мінімізуючи експлуатаційні витрати. Ці системи можна контролювати віддалено, що дозволяє фермерам краще управляти своїми водними ресурсами та оперативно реагувати на мінливі умови.

Сонячна енергія також відіграє у роботі теплиць. Теплиці потребують постійного рівня температури та вологості, вимагаючи надійного джерела енергії. Сонячні панелі, встановлені на теплицях або поруч із ними, можуть живити системи вентиляції, опалювальні прилади та додаткове освітлення, забезпечуючи оптимальні умови для зростання цілий рік. Додавання використання сонячних систем кондиціювання повітря ще більше покращує

середовище зростання, регулюючи клімат у приміщенні за екстремальних температур.

Вплив сонячної енергії можна побачити і в управлінні тваринництвом. Системи сонячних огорож не лише пропонують рішення в галузі відновлюваної енергії, а й підвищують ефективність утримання худоби. Крім того, сонячні водяні насоси можуть полегшити гідратацію на вимогу для тварин, що пасуться, забезпечуючи їх благополуччя і продуктивність.

Крім конкретних практичних застосувань, сонячна енергія може підтримувати інноваційні технології, такі як точне землеробство. Датчики та автоматизовані системи на сонячних батареях збирають дані про вологість ґрунту, здоров'я врожаю та погодні умови, озброюючи фермерів інформацією, необхідною для прийняття обґрунтованих рішень. Цей орієнтований на цей підхід дозволяє виробникам оптимізувати вкладення - будь то вода, добрива чи пестициди — що в кінцевому підсумку призводить до більш стійких практик.

Загалом застосування сонячної енергії в сільському господарстві різноманітно і постійно розширюється. У міру розвитку технологій та переходу сільськогосподарського сектора до сталого розвитку, майбутнє обіцяє ще інноваційніше та ефективніше використання сонячної енергії.

Відповідно до вище зазначеного **метою даної кваліфікаційної роботи є** обґрунтування ефективності використання фотоелектричних панелей в сільському господарстві в рамках подальшого сталого іноваційного розвитку сільського господарства .

Основними **напрямами дослідження за даною темою** являється доцільність використання сонячних електростанцій на сільських територіях.

Для досягнення поставленої мети в роботі були використані наступні **методи дослідження**: системного аналізу, оцінки кліматичних умов та аналізу сонячного випромінювання на території країни, екологічної безпеки.

Перелік публікацій автора за темою дослідження :

Уманський Д.А. ОЦІНКА ПОТЕНЦІАЛУ СОНЯЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ТЕРІТОРІЇ УКРАЇНИ

Матеріали науково-практичної конференції факультету інженерії та енергетики «НАУКОВІ ЧИТАННЯ за підсумками І-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей» 29 квітня 2026 року. Житомир: Поліський національний університет, 2026.- С 195-198.

Уманський Д.А., Свченко В. В. АНАЛІЗ ФАКТОРІВ ЯКІ ВИЗНАЧАЮТЬ РІВЕНЬ СОНЯЧНОГО ОПРОМІНЕННЯ

Матеріали науково-практичної конференції факультету інженерії та енергетики «НАУКОВІ ЧИТАННЯ за підсумками І-го туру Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузей знань і спеціальностей» 29 квітня 2026 року. Житомир: Поліський національний університет, 2026.- С 195-198.

РОЗДІЛ 1
СОНЯЧНЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ ЯК ДЖЕРЕЛО ОСНОВНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ

1.1 Оцінка потенціалу сонячного випромінювання

Основним джерелом енергії для нашої планети є сонячна енергія. Саме Сонце є прабатьком усіх основних енергетичних ресурсів, що використовуються людством – Сонце нагріває атмосферу і поверхню Землі, завдяки чому дмуть вітри, переміщуються маси води, розвиваються рослини, утворюються органічні види палива. Сонце являє собою величезну, яскраво сяючу газову кулю, яка складається в основному з водню (70%) і гелію (27%). У надрах Сонця безперервно протікають термоядерні реакції, що супроводжуються виділенням величезної кількості енергії. Інтенсивність випромінювання на поверхні Сонця становить 70-80 тис. кВт/м^2 при температурі близько 6000˚С. Сумарна потужність променистої енергії, що надходить до Земної атмосфери, дорівнює приблизно 180000 млрд. кВт. Кількість сонячної променистої енергії, що надходить за рік до атмосфери Землі, становить колосальну величину – 1,5·1018 кВт·год. Через відбиття, розсіювання та поглинання її атмосферними газами та аерозолями лише 47% всієї енергії, або приблизно 7·1017 кВт·год, досягає поверхні Землі[1].

Інтенсивність сонячного випромінювання залежить від безлічі факторів: географічної широти, кута нахилу приймальної поверхні по відношенню до Сонця, місцевого клімату, хмарності, запиленості повітря, висоти над рівнем моря, пори року та часу доби. У середніх широтах вдень інтенсивність сонячного випромінювання досягає 800 Вт/м^2 влітку і 200...350 Вт/м^2 взимку, зменшуючись практично до нуля із заходом Сонця.

Спектральний склад і густина потоку сонячного випромінювання на поверхні Землі змінюються залежно від довжини оптичного шляху світлових променів в атмосфері. Довжина цього шляху характеризується величиною, що називається оптичною атмосферною масою *m,* яка пов'язана з кутом α (кут висоти Сонця над горизонтом) залежністю $m = (\sin \alpha)^{-1}$. Рівень інтенсивності

потоку сонячного випромінювання в навколоземному космічному просторі прийнято позначати як АМ0, на екваторі — АМ1 (m=1), у середніх широтах при висоті сонця 41°49’ – АМ1,5 (m=1,5), при висоті Сонця 30° – АМ2 (m=2) тощо. На рис. 1.1 наведено залежності спектральної потужності E(λ) сонячного випромінювання від довжини хвилі λ при різних значеннях атмосферної маси.

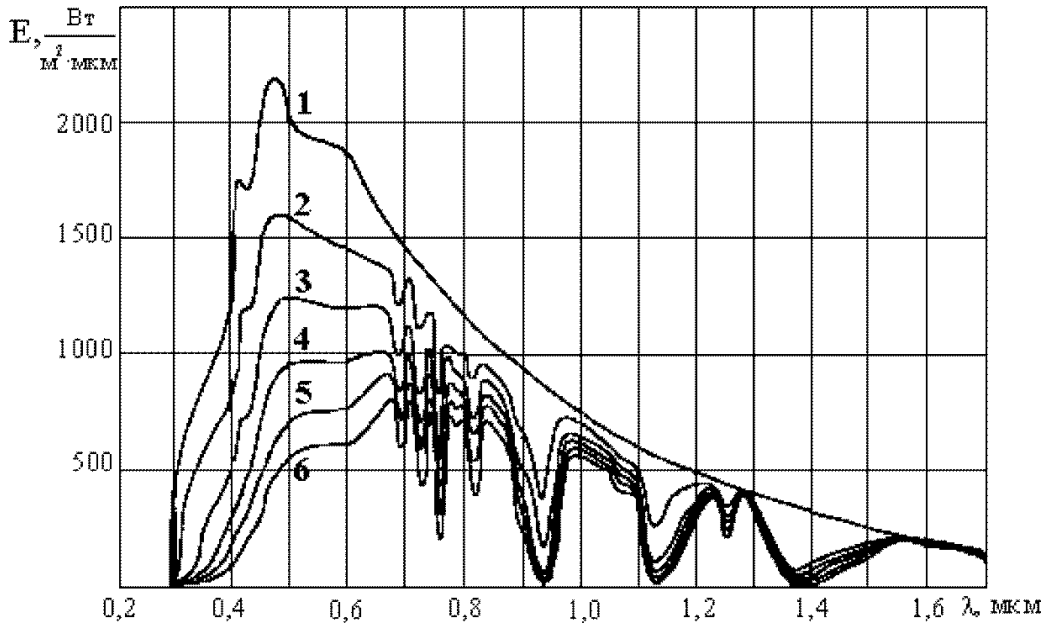


Рис. 1.1. Спектральний розподіл енергії сонячного випромінювання при різних значеннях атмосферної маси: 1 – АМ0; 2 – АМ1; 3 – АМ2; 4 – АМ3; 5 – АМ4; 6 – АМ5[3]

Діапазоном видимого світла вважається ділянка довжин хвиль від 380 нм (глибокий фіолетовий) до 760 нм (глибокий червоний). Все, що має меншу довжину хвилі, має вищу енергію фотонів і поділяється на ультрафіолетовий, рентгенівський та гамма-діапазони випромінювання. Незважаючи на високу енергію фотонів, самих фотонів у цих діапазонах не так вже й багато, тому загальний енергетичний внесок цієї ділянки спектра є досить малим. Все, що має більшу довжину хвилі, має меншу порівняно з видимим світлом енергію фотонів і поділяється на інфрачервоний діапазон (теплове випромінювання) та різні ділянки радіодіапазону. З графіка видно, що в інфрачервоному діапазоні Сонце випромінює практично стільки ж енергії, як і у видимому (рівні менші, зате діапазон ширший), а ось у радіочастотному діапазоні енергія випромінювання дуже мала.

Приблизний розподіл енергетичного потоку сонячного випромінювання за різними спектральними діапазонами має такий вигляд [9]:

– інфрачервоний діапазон і довші хвилі ($\lambda > 750$ нм і частота $F < 400$ ТГц) – 46,3%;

– видимий спектр (400 нм $< \lambda <$ 750 нм і 400 ТГц $< F <$ 750 ТГц) – 44,6%;

– ультрафіолетове випромінювання і вищі частоти ($\lambda < 400$ нм і $F > 750$ ТГц) – 9,1%.

1.2 Аналіз активності сонця у різних регіонах України

Річний показник сонячного опромінення в Україні коливається від 1080 до 1400 кВт·год/м² залежно від регіону. Географічно країна розташована між 44 і 52 північної широти, і ця різниця в 8^0 створює помітний перепад сонячного ресурсу[2]. Карта сонячної активності показана на рис. 1.2.

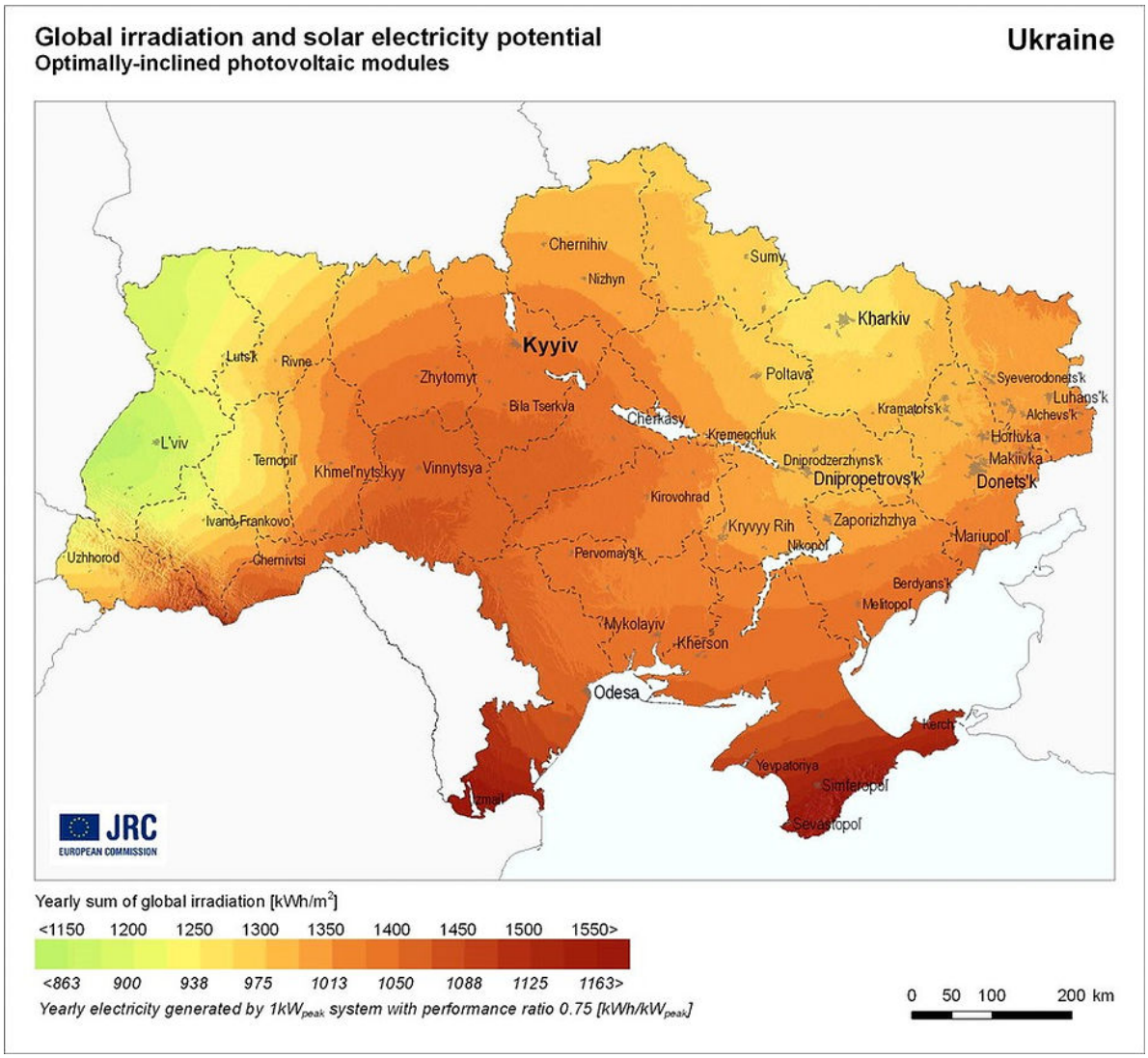


Рисунок 1.2. Карта сонячної активності України (*Дані : агрегат PVGIS/Global Solar Atlas.*)

Різниця між Півднем та Північчю досягає 25%. Для системи 10 кВт це означає від 1000 до 1500 кВт·год/рік додатково або втрачено. Навіть найслабший за сонячним ресурсом регіон України (Чернігівщина, Сумщина) за рівнем сонячного ресурсу відповідає найкращим регіонам Польщі та перевищує більшість земель Німеччини. За окремими дослідженнями, capacity factor дахових СЕС в Україні може становити близько 14,1%; для Польщі та Німеччини типові значення часто нижчі, але конкретний показник залежить від методики, року та типу системи (див. Табл.1.1) [3].

Таблиця 1.1. Сонячні ресурси регіонів України.

Регіон	PSH/день (середнє)	GHI кВт·год/м²/рік	Рейтинг
Південь (Одеська, Херсон, Запоріжжя)	3,7-3,9	1 350-1 400	1
Дніпропетровська	3,4	~1 240	2
Центр (Київська, Полтавська)	3,1-3,4	1 150-1 250	3
Харківська	3,1	~1 130	4
Захід (Львівська, Закарпаття)	3,0-3,3	1 100-1 200	5
Північ (Чернігівська, Сумська)	2,9-3,1	1080-1120	6

Як змінюється сонячне випромінювання протягом року.

У червні-липні центральна Україна отримує 5,2-6,5 PSH/день, у грудні-січні - лише 1,0-2,0. Система 1 кВт виробляє влітку 140-160 кВт · год / місяць, а взимку 20-40 кВт · год / місяць.

Розрахунок для центральної України (Київська/Полтавська обл.), система 10 кВт, коефіцієнт системи дорівнює 0,80 показано в табл. 1.2[3].

Таблиця 1.2. Величина сонячної генерації для центральної України.

Місяць	PSH/день (центр.)	Генерація 10 кВт, кВт·год/міс	% від річного max
Січень	1,2-1,6	280-380	16-19%
Лютий	1,6-2,2	340-470	19-24%
Березень	2,6-3,2	610-770	33-39%
Квітень	3,6-4,4	860-1 060	46-54%
Травень	4,8-5,6	1 150-1 340	62-68%
Червень	5,2-6,5	1 250-1 560	67-80%
Липень	5,4-6,2	1 300-1 490	70-76%
Серпень	4,8-5,6	1 150-1 340	62-68%
Вересень	3,2-3,8	770-910	41-46%
Жовтень	2,0-2,8	480-670	26-34%
Листопад	1,2-1,8	280-430	16-22%
Грудень	1,0-1,4	240-340	13-17%

Зимова генерація реальна, хоч і не велика. Хмарний день дає розсіяну радіацію. Проблема у іншому. Бувають цілі тижні, коли снігопади та тумани зводять генерацію майже нанівець. За наведеною таблицею, у грудні-січні система 10 кВт у центрі України дає орієнтовно 240-380 кВт·год/місяць;

частка покриття потреб залежить від фактичного споживання будинку, тому її слід рахувати окремо.

Літній пік генерації збігається із підвищеним споживанням кондиціювання. Для домогосподарств це зручно: найбільше виробляєте саме тоді, коли найбільше витрачаєте.

1.3 Фактори які визначають рівень сонячного опромінення

П'ять факторів визначають, скільки сонячної енергії отримає конкретна ділянка.

Географічна широта: Чим на північ розташований будинок, тим нижче піднімається сонце над горизонтом і тим менше годин пікового випромінювання. Різниця між Херсоном (46°N) та Черніговом (51°N) за PSH становить до 25%[2].

Пора року: Нахил земної осі на 23,5 ° обумовлює сезонну нерівномірність. Влітку кут падіння сонця вищий, світловий день довший, PSH зростає в 3-5 разів у порівнянні з зимою.

Хмарність та клімат: Хмарність знижує PSH у порівнянні з ясними умовами. У регіонах зі складним рельєфом, зокрема у Карпатах та на Закарпатті, значення можуть суттєво відрізнятись локально, тому для проекту краще перевіряти конкретні координати, а не середню область.

Кут нахилу панелей: Оптимальне значення для річного балансу у більшості регіонів України становить 35-40° до горизонту. Відхилення на 15 ° знижує генерацію на 3-5%. Зимовий пріоритет (якщо потрібна рівномірна генерація) вимагає крутішого кута 60-65 °, що додає 10-15% вироблення в грудні-лютому за рахунок літнього піку.

Орієнтація та затінення: Розворот панелей на південь дає максимальну генерацію. Орієнтація на схід чи захід забирає 15-20% річного виробітку. Затінення навіть 10% площі масиву (дерева, труба, сусідній дах) здатне знизити генерацію на 20-30% в системах без оптимізаторів, так як ряди панелей з'єднані послідовно і один затінений осередок обмежує весь ряд.

Кількість сонячної радіації, яку принципово можливо використати, збільшиться, якщо приймальну поверхню нахилити під певним кутом, при цьому максимум буде досягнуто, якщо поверхню розташувати перпендикулярно сонячним променям на панелях, що відстежують Сонце, які динамічно орієнтуються відносно його видимого положення. Це збільшує денний прихід сонячної радіації влітку на 25-40%, взимку – на 10-15%. Найчастіше на практиці кут нахилу робочих поверхонь орієнтують на південь і приймають рівним широті місцевості: такий нахил вважається оптимальним і найбільш технічно реалізованим. Збільшити величину одержуваної енергії дозволяє сезонне коригування розташування геліоприймачів.

Випромінювання, що досягає земної поверхні, складається з двох складових: прямої та дифузійної. Пряме випромінювання – це випромінювання, що надходить від Сонця, без зміни його напрямку. Дифузійне (розсіяне) випромінювання - це сонячне випромінювання після зміни його напрямку внаслідок відбиття та заломлення атмосферою.

На рис.1.3 наведена розрахункова схема, що використовується при розрахунку сонячного випромінювання, яке надходить на довільно орієнтований майданчик [6]. При розрахунку використовуються наступні поняття.

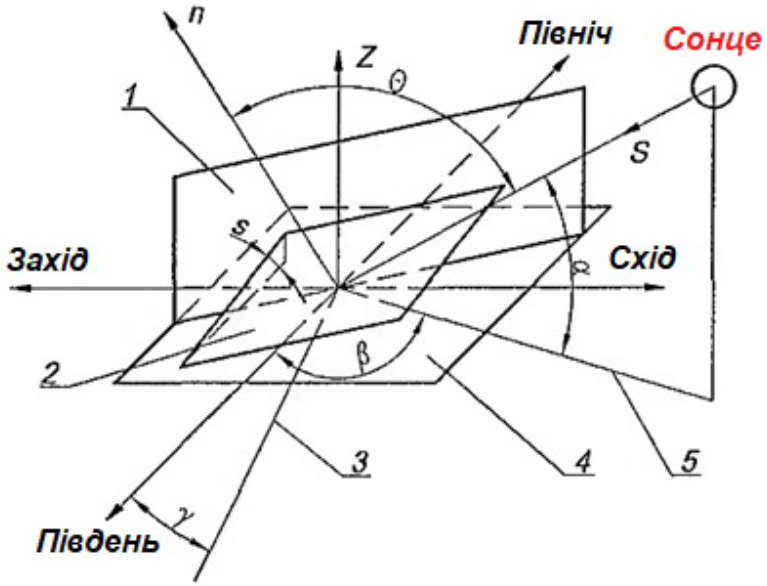


Рисунок 1.3. Розрахункова схема: 1 – вертикальна площина; 2 – похила площина (досліджувана ділянка); 3 – горизонтальна проєкція нормалі n; 4 – горизонтальна площина; 5 – горизонтальна проєкція сонячного променя; Z – вертикаль місця; n – нормаль до похилої площини; S – пряме сонячне випромінювання на поверхню Землі; α – висота Сонця; β – азимут Сонця; γ – азимутальний кут досліджуваної ділянки; θ – кут падіння прямого сонячного випромінювання; s – кут нахилу досліджуваної ділянки

Кут падіння прямого сонячного випромінювання θ – кут між напрямком випромінювання на будь-яку поверхню та нормаллю n до цієї поверхні. Схилення δ – кутове положення Сонця в сонячний полудень відносно площини екватора (значення додатне для північної півкулі). Азимутальний кут площини γ – відхилення нормалі до площини від місцевого меридіана (відхилення на схід вважається додатним, на захід – від'ємним).

Висота Сонця α – кут між напрямком прямого сонячного випромінювання та горизонтальною проєкцією сонячного променя.

Азимут Сонця β – кут між горизонтальною проєкцією сонячного променя та напрямком на південь.

Годинний кут ω – кут, що визначає кутове зміщення Сонця протягом доби. В полуденну годину кут дорівнює нулю. Значення годинного кута до полудня вважається додатним, після полудня – від'ємним. Для визначення сонячної радіації, що падає на похилу досліджувану плоску площадку, скористаємося виразом

$$Q_{нах} = Q_{пр} + Q_{роз} + Q_{відб}\ , \qquad (2.1)$$

де $Q_{нах}$ − сумарна сонячна радіація, що падає на похилу площину, Вт/м^2; $Q_{пр}$ − пряме сонячне випромінювання, що падає на похилу поверхню, Вт/м^2; $Q_{роз}$ − розсіяна сонячна енергія, що падає на похилу поверхню, Вт/м^2; $Q_{відб}$ − випромінювання, відбите від поверхні Землі, Вт/м2.

Значення $Q_{пр}$ знаходять з виразу

$$Q_{пр} = Q_{орт} \cos\theta\ , \qquad (2.2)$$

де $Q_{орт}$ – пряме сонячне випромінювання, що падає на ортогональну до променів площину, Вт/м^2.

Значение $Q_{орт}$ можно найти по формуле Кастрова[1]

$$Q_{орт} = \frac{Q_0 \cdot \sin\alpha}{\sin\alpha + c}, \tag{2.3}$$

де Q_0 – сонячна стала, 1370 Вт/м^2; c – безрозмірна величина, що характеризує ступінь прозорості атмосфери. Для середньої прозорості c=0,81. Кут падіння прямого сонячного випромінювання θ можна знайти з вираз

$$\cos\theta = \sin\delta\sin\varphi\cos s - \sin\delta\sin s\cos\varphi\cos\gamma + \cos\delta\cos\varphi\cos s\cos\omega + \\ + \cos\delta\sin\varphi\sin s\cos\gamma\cos\omega + \cos\delta\sin s\sin\gamma\sin\omega$$

де φ – географічна широта місця, рад; δ – схилення Сонця, рад; s – кут нахилу досліджуваної площини до горизонту, рад.

Значення схилення δ можна знайти за наближеною формулою Купера [7],

$$\delta = 0.41 \cdot \sin\left(\frac{360(284+N)}{365}\right), \tag{2.4}$$

де N – порядковий номер дня в році, що відраховується від першого січня. Кут нахилу s розглядуваного плоского майданчика до горизонту змінюється від 0 до π/2. Кут, рівний 0, відповідає горизонтально розташованому майданчику, а π/2 – вертикально розташованому майданчику. Азимутальний кут майданчика γ може змінюватися в діапазоні від –π до π. γ = 0 – відповідає площині, орієнтованій на південь, γ = π/2 – при орієнтації на південний схід, γ = –π/2 – при орієнтації на південний захід. Годинний кут ω визначає кутове зміщення Сонця протягом доби і становить π/12 на одну годину часу. Висоту Сонця α (рис.1.4) можна визначити з виразу

$$\sin\alpha = \sin\varphi\sin\delta + \cos\varphi\cos\delta\cos\omega. \tag{2.5}$$

Азимут Сонця визначається з виразу

$$\cos\beta = \frac{\sin\alpha\sin\varphi - \sin\delta}{\cos\alpha\cos\varphi} sign(\varphi). \tag{2.7}$$

Причому $\cos\theta_{ZS} = \sin\alpha$.

Розсіяну сонячну радіацію $Q_{роз}$, що надходить на розглядувану похилу площину, визначимо за виразом [10]

$$Q_{роз} = Q_{роз.гор}\left[0,55 + 0,434\cos\theta + 0,313\left(\cos\right)^2\right]. \quad (2.8)$$

де $Q_{роз.гор}$ – потік розсіяної сонячної енергії, що падає на горизонтальну площину. Його можна визначити за формулою Берлаге [10].

$$Q_{роз.гор} = \frac{1}{3}\left(Q_0 - Q_{орт}\right)\sin\alpha. \quad (2.9)$$

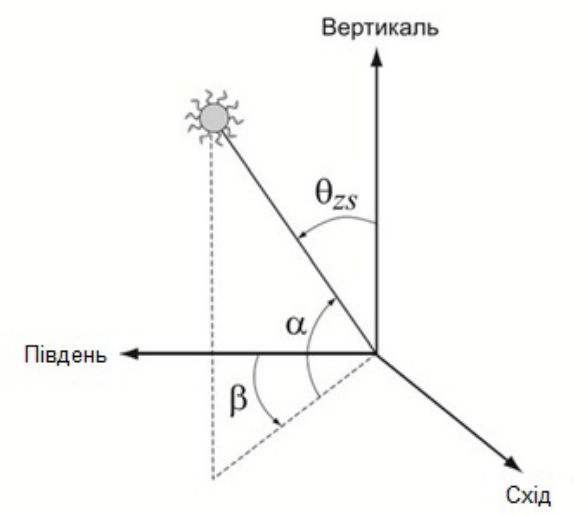


Рисунок 1.4. Координати Сонця відносно географічно орієнтованої системи координат

Відбите від поверхні Землі та падаюче на похило встановлену площину випромінювання $Q_{відб}$, що враховується у виразі (2.1) для сумарного потоку сонячної радіації, є мізерно малим і його можна не враховувати. Таким чином, використовуючи наведені вирази (2.1)-(2.9) можна розрахувати сумарну сонячну радіацію, що падає на нерухомий похилий плоский майданчик:

$$Q_{нах}(\varphi,\omega,\gamma,s,N) = Q_{пр}(\varphi,\omega,\gamma,s,N) + Q_{роз}(\varphi,\omega,s,N). \quad (2.10)$$

Для того, щоб врахувати зменшення потоку випромінювання за рахунок хмарності, можна використовувати емпіричні коефіцієнти *a,b,n* [11,15]. *a* – коефіцієнт, що залежить від середовища (суходіл або море) та від широти місця; *b* – коефіцієнт, який у цьому випадку можна вважати постійним і рівним 0,38; *n* – кількість хмар у частках одиниці (*n* = 0 за безхмарного неба, *n* =1 за

суцільної хмарності). Тоді вираз для розрахунку сонячної радіації, що падає на довільний похилий майданчик в умовах хмарності, запишеться у вигляді [13]:

$$Q_{нах}(\varphi,\omega,\gamma,s,N) = [Q_{пр}(\varphi,\omega,\gamma,s,N) + Q_{роз}(\varphi,\omega,s,N)]\cdot[1-(a+bn)n] \quad (2.11)$$

Таким чином, задаючи кути орієнтації майданчика γ і s, використовуючи вирази (2.10) або (2.11), можна обчислити величину сонячної радіації, що падає, для даної точки місцевості для будь-якого дня року та моменту часу. Для визначення питомої добової енергії, що надходить на похилий майданчик, необхідно провести інтегрування за виразом

$$W_{ПИТ.ДОБ.}(N) = \frac{12}{\pi}\left(10^{-3}\right)\int_{\omega_k}^{\omega_n} Q_{нах}(\varphi,\omega,\gamma,s,N)\,d\omega, \text{кВт} \quad (2.12)$$

де ω_n, ω_k - часові кути, що відповідають моментам часу початку та закінчення процесу опромінення поверхні, відповідно.

Також за даною методикою можна визначити оптимальне значення кута нахилу майданчика (сонячної панелі) для даного інтервалу часу (місяця, сезону, року). Для проведення розрахунків краще використовувати відомі математичні програмні пакети, наприклад, MATLAB.

Можливо кілька випадків орієнтації сонячних панелей в процесі їх роботи:

1) Установка за допомогою фотоелектричних датчиків та відстежуючих систем перпендикулярно потоку падаючого випромінювання. При цьому можливі варіанти відстеження як по двох осях (азимуту та нахилу), так і по одній осі (нахилу).

2) Програмні розвороти сонячних панелей залежно від розташування світила за допомогою спеціальних приводів. При цьому можливі варіанти поворотів як по двох осях (азимуту та нахилу), так і по одній осі (нахилу).

3) Дискретна посезонна (помісячна) зміна кута нахилу панелі. При цьому в азимуті панель орієнтується на південь.

4) Фіксоване положення панелі, як за кутом нахилу, так і в азимуті, на весь період експлуатації.

З точки зору енергоефективності перший варіант найкращий. Він дозволяє отримувати на 30% добової сонячної енергії, що падає на панель, більше, але водночас вимагає застосування дорогих відстежуючих приводів та спеціальних конструкцій стійок кріплення сонячних панелей. Вартість приводів співмірна з вартістю самих сонячних панелей.

Другий спосіб за ефективністю поступається першому на 3-5%, але для його реалізації можна використовувати розімкнутий (без зворотного зв'язку) кроковий електропривод, що дещо знижує вартість, але вона також буде значна. Розглянуті вище способи, як правило, застосовуються для орієнтації концентраторів сонячної енергії в сонячних електростанціях теплового типу. Для їх застосування у складі фотоелектричних станцій потрібне техніко-економічне обґрунтування.

Четвертий спосіб з фіксованою орієнтацією панелей на всьому проміжку експлуатації має найнижчу енергоефективність, але простий у реалізації. Він, як правило, застосовується у фотоелектростанціях різних потужностей.

Слід зазначити, що орієнтація в азимуті на південь може здійснюватися не надто точно (з точністю в кілька градусів). Як показали дослідження, зміна азимуту на 15^0 зменшує надходження сонячної радіації на майданчик на 5%.

Таким чином, використовуючи описану методику, можна розрахувати рівень питомої інсоляції для типового дня кожного місяця року за середніх умов хмарності для аналізованого місяця.

Як типовий день можна рекомендувати середину місяця. Характеристики хмарності можуть бути визначені на основі бази даних метеоспостережень [ ]).

Множачи питому добову енергію сонячного випромінювання на кількість днів у місяці, отримуємо питому місячну енергію сонячного випромінювання у місці розміщення фотоелектростанції.

Зазвичай фотопанелі розміщуються під кутом нахилу, що дорівнює широті місцевості з орієнтацією на південь. Якщо кількість фотопанелей дозволяє з прийнятними трудовитратами проводити сезонні зміни кута нахилу, то слід врахувати цю особливість у процесі розрахунку. Отриманий помісячний

розподіл питомої енергії сонячного випромінювання для конкретної місцевості дозволяє вибирати обладнання фотоелектростанції та будувати енергетичні баланси автономної системи електропостачання.

Висновки по першому розділу

Практичне поширення наразі отримав метод оцінки сонячного потенціалу за допомогою комп'ютерних баз даних, наприклад «NASA». За допомогою такого роду інформації, отриманої на основі даних глобальних метеоспостережень, можна з прийнятною точністю оцінити інтегральну енергію сонячного випромінювання в заданому районі з урахуванням реальної хмарності та орієнтації приймальної панелі у просторі.

Даний підхід універсальний і дозволяє об'єктивно отримувати необхідну інформацію.

РОЗДІЛ 2
ДОЦІЛЬНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ НА СІЛЬСЬКИХ ТЕРИТОРІЯХ

2.1 Сонячні енергетичні системи для сільського господарства

Сільськогосподарське виробництво нині - це виробництво, технології якого базуються на сучасних технічних засобах. Відмінністю його від промислового виробництва є наявність в його основі біологічного об'єкта (рослина, тварина). Технології та технічні засоби механізованого виробництва продукції рослинництва та тваринництва. Результативність виробництва залежить від екології навколишнього середовища, ґрунтово-кліматичних умов та надійності забезпечення якісною енергією протягом усього біологічного циклу виробництва.

Розуміння технології сонячної енергетики у сільському господарстві

Технологія сонячної енергії в основі заснована на перетворенні сонячного світла в корисну енергію, в першу чергу за допомогою фотоелектричних (PV) панелей. Ці панелі містять ряд кремнієвих осередків, які генерують електрику під впливом сонячного світла. Для сільськогосподарських застосувань сонячна енергія може підтримувати різні завдання, від живлення систем зрошення до забезпечення електроенергією тепличних господарств та управління худобою.

Одним із перших кроків для фермерів, які розглядають сонячну енергію, є оцінка їх енергетичних потреб та здійснення установки сонячних панелей. Необхідно враховувати такі фактори, як доступність землі, орієнтація будівель та місцеві правила. Наприклад, інтеграція сонячних панелей з коморами або іншими фермерськими спорудами може оптимізувати використання простору, а також забезпечити укриття для панелей та полегшити обслуговування.

Фермери також повинні вибирати між мережевими та автономними сонячними системами. Мережеві системи дозволяють виробникам отримувати електроенергію з комунальної мережі, коли сонячної генерації стає недостатньо, тоді як автономні системи потребують акумуляторних батарей

для забезпечення безперебійного електропостачання. Вибір між цими системами залежить від моделей споживання енергії на фермі та загальних цілей[14].

Декілька передових технологій підвищують ефективність сонячних енергосистем. До них відносяться сонячні трекери, які регулюють кут нахилу панелей для максимального впливу сонячного світла, та двосторонні панелі, які захоплюють сонячне світло з обох боків для збільшення вироблення енергії. Для сільського господарства починають з'являтися інновації в обладнанні на сонячних батареях, такі як безпілотники та автоматизовані машини, демонструючи перспективне злиття сонячних технологій та сучасних методів ведення сільського господарства.

Загалом розуміння базової технології сонячної енергетики має життєво важливе значення для фермерів, які прагнуть зробити відновлювані джерела енергії наріжним каменем своєї сільськогосподарської практики.

Екологічні переваги сонячної енергетики у сільському господарстві

Поява сонячних енергетичних систем у сільському господарстві є значним кроком до екологічної стійкості. Традиційні методи ведення сільського господарства часто значною мірою залежать від викопного палива, що сприяє викидам парникових газів та глобальному потеплінню[14]. Навпаки, сонячна енергія генерує чисту електрику без викидів забруднюючих речовин, що робить її придатною альтернативою екологічно свідомих методів ведення сільського господарства.

Впровадження сонячної енергії сільському господарстві може значно скоротити вуглецевий слід. Наприклад, використовуючи сонячну енергію для живлення іригаційних систем, фермери можуть зменшити залежність від дизельних насосів та скоротити викиди в атмосферу. Цей перехід не тільки приносить користь навколишньому середовищу, а й може принести економічні переваги, оскільки зазвичай призводить до зниження витрат на енергію з часом.

Більше того, сонячна енергія підтримує біорізноманіття у сільськогосподарських умовах. Наприклад, встановлення сонячних панелей може забезпечити затінені області, які допомагають утримувати вологу в ґрунті, сприяють зростанню певних культур і створюють місце існування для диких тварин. Природа та сільське господарство можуть співіснувати більш гармонійно завдяки стратегічному впровадженню сонячних технологій.

Економія води ще одна ключова область, де застосування сонячної енергії сяє. Оскільки зміна клімату загрожує водопостачанню, системи зрошення на сонячних батареях можуть підвищити ефективність водокористування. Технологічні досягнення призвели до розробки сонячних насосів, які можуть працювати автономно, використовуючи датчики для вимірювання вологості ґрунту та відповідної подачі води. Це не тільки заощаджує воду, а й знижує робоче навантаження на фермерів[12].

Підсумовуючи, можна сказати, що інтеграція сонячної енергії в сільськогосподарську практику не тільки знижує вплив на навколишнє середовище, а й підвищує стійкість за рахунок підвищення ефективності та біорізноманіття. Довгострокове здоров'я екосистем і угруповань може бути позитивно торкнутися цими далекоглядними рішеннями.

Економічні переваги впровадження сонячних енергетичних систем

Економічне обґрунтування впровадження сонячних енергосистем у сільському господарстві переконливе. Хоча початкові інвестиції можуть бути значними, перспектива довгострокової економії швидко робить сонячні установки привабливим варіантом для багатьох фермерів. Зменшуючи чи усуваючи витрати на енергію, фермери можуть перенаправити ресурси на інші критичні галузі, такі як розвиток сільськогосподарських культур чи покращення земель[12].

Сонячна енергія може значно знизити витрати на електроенергію для сільськогосподарських операцій, особливо у пікові періоди зростання та виробництва. Багато ферм зазнають підвищеного споживання енергії в ці періоди, і істотна економія може бути досягнута при використанні сонячної

енергії. Це особливо очевидно у випадку із сонячними іригаційними системами, де контроль експлуатаційних витрат може мати вирішальне значення для прибутку.

Сільське господарство також виграє від державних стимулів, які сприяють впровадженню відновлюваної енергії. Вони можуть включати податкові пільги, гранти та знижки, призначені для компенсації витрат на встановлення. Залежно від юрисдикції деякі регіони навіть пропонують спеціальні програми, націлені на фермерів, які бажають перейти на сонячну енергію. Доступ до цих фінансових можливостей може значно знизити початкові витрати, пов'язані із встановленням сонячних батарей, що робить її ще менш страшною для сільськогосподарських виробників.

З іншого боку, перехід на сонячну енергію може підвищити ринкову привабливість ферми. Споживачі все частіше вибирають продукти, які ставлять в основу стійкість, і ферми, що використовують відновлювані джерела енергії, можуть ефективно рекламувати себе цій демографічній групі, що росте. Фермери можуть не тільки підвищити імідж свого бренду, але й встановлювати вищі ціни на свою екологічно чисту продукцію.

Зрештою, сонячна енергія є захистом від коливань цін на енергію. Традиційні витрати на енергію можуть бути непередбачуваними, на них впливають такі фактори, як місцева інфраструктура, ринковий попит та зміни регулювання. Інвестуючи в сонячну енергію, фермери можуть стабілізувати свої витрати на енергію та отримати більшу передбачуваність у своїх бюджетах.

Підсумовуючи, можна сказати, що економічні переваги сонячних енергетичних систем для сільського господарства виходять за рамки простої економії коштів, охоплюючи державні стимули, ринкову привабливість та покращену бюджетну передбачуваність, що робить сонячну енергетику привабливою бізнес-стратегією для сучасних фермерів.

2.2 Обгрунтування доцільності використання сонячних електростанцій на сільських територіях

У світовій та вітчизняній практиці для безперебійного цілорічного забезпечення виробництва якісною енергією від відновлюваних джерел проведені та проводяться наукові дослідження та створюються системи обладнання. При цьому успішно вирішуються проблеми екології [1,2,3,4,5], надійності енергопостачання [6,7,8] та економічної ефективності [9,10]. Потенціал використання ВДЕ на планеті великий (табл. 1) [11,12].

Таблиця 1. Потенційна енергія відновлюваних і невідновлюваних джерел енергії

Вид джерела	Потенціальна енергія, трлн. тон/рік
Енергія сонця	131
Енергія вітру	2
Гідроенергія	7
Енергія біомаси	0,1
Вугілля	11

Як видно з таблиці 1, сонячна енергія має найбільший потенціал використання. Відомо, що сонячна енергія використовується для отримання електричної енергії та тепла [13,14,15,16,17]. Дедалі ширше використання відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) наразі відбувається на сільськогосподарських підприємствах. Цьому сприяє тенденція переходу від централізованих систем енергозабезпечення до автономних [18,19]. У зв'язку з цим виникає питання про доцільність застосування фотоелектричних електростанцій у сільськогосподарських підприємствах. Фотоелектрична станція (рис. 1) являє собою набір наступних пристроїв [11,20]: сонячних генераторів, пристрою відбору потужності, регулятора зарядки-розрядки, інвертора. Обов'язковою умовою в автономній фотоелектричній станції, на відміну від мережевих (рис. 1а) [12,12], є наявність блоку акумуляторних батарей (рис. 1б).

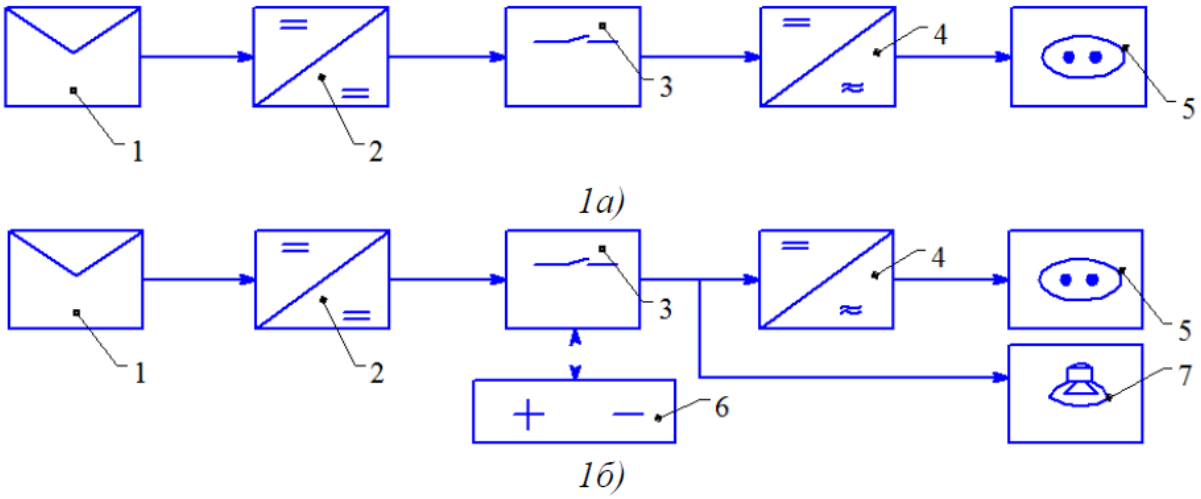


Рис.1 Схема фотоелектричної електростанції (1*а* – мережева, 1*б* – автономна): 1 – сонячний генератор, 2 – пристрій відбору потужності, 3 – регулятор зарядки – розрядки, 4 – інвертор, 5 – споживачі змінного струму, 6 – акумуляторна батарея, 7 – споживачі постійного струму.

Надходження сонячної радіації на земну поверхню нерівномірне протягом доби та місяців року. Нині опубліковано багато наукових досліджень та прикладних робіт щодо ефективного використання всієї сонячної енергії, що надходить на земну поверхню протягом року [4,5,6].

Наприклад для Житомира та Житомирської області середньорічний показник добової суми сонячної радіації (інсоляції) на горизонтальну поверхню становить приблизно 3,04 кВт·год/м² на день. Протягом року цей показник значно коливається: від мінімальних 0,83 кВт·год/м² у грудні до максимуму в 5,19 кВт·год/м² у червні. Сумарна річна радіація для регіону становить близько 1150 кВт·год/м². Даний показник по місяцям року показано на рис. 2

Як первинний матеріал для аналізу беремо результати енергетичних обстежень господарств [8]. Методом випадкової вибірки зупинилися на господарстві, основними споживачами електроенергії від централізованих мереж якого є: тваринницькі ферми (12 шт.), майстерні, овочесховище, навіс для сільгосптехніки, забійний цех, гаражі, магазин та пилорама. Оцінку доцільності застосування сонячних електростанцій здійснимо із

застосуванням коефіцієнта енергоекологічності [9], а також проаналізуємо площі, займані джерелами генерації.

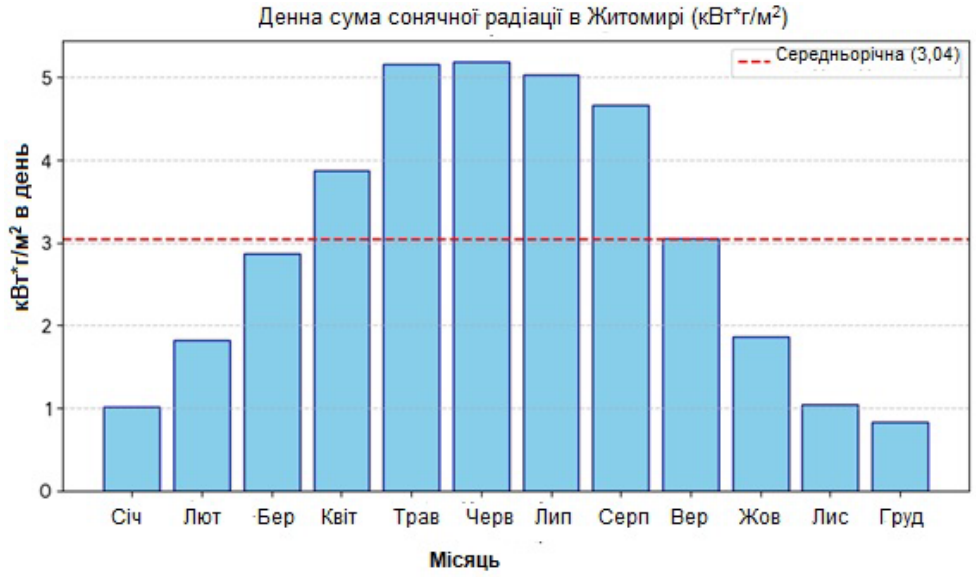


Рисунок 2. Денна сума сонячної радіації в Житомирі

Розмір споживання електрики -об'єктами сільськогосподарського виробництва представлені в таблиці 2.

Таблиця 2. Величина споживання електроенергії об'єктами сільськогосподарського виробництва

Найменування сільгосп об'єктів	Ел.привід кВт * год / рік	Водонагрівання кВ*год/рік	Освітлення кВт * год / рік	Загальне споживання електроенергії, кВт * год / рік
Тваринницькі ферми	65850	61280	37960	165090
Майстерні	27631	-	2920	30551
Навіс с-х машин	-	-	70	70
Бійня	40	-	400	440
Овочесховище	59300	-	1400	60700
Гаражі	150	320	1095	1565
Магазин	26280	-	13140	65700
Пилорама	350	-	80	430

Електроенергія використовується для живлення електроприводів, водонагрівання та освітлення. Величину спожитої потужності визначали за

величині встановленої потужності з урахуванням часу роботи обладнання та cosφ.[31,32,33]

Споживачів електроенергії умовно можна розділити на великі – тваринницькі ферми, середні - майстерні та овочесховище і дрібні - до 1500 кВт * год / год. [5] /

Розглянемо наступний варіант використання сонячної енергії:

- водопідігрів здійснюємо від сонячних колекторів вакуумного типу;
- електропостачання дрібних та середніх споживачів (тільки електропривод та освітлення) від автономних фотоелектричні станції.

Результати розрахунку та вибору автономної фотоелектричної електростанції для електропостачання споживачів обраного сільськогосподарського підприємства представлені у таблиці 3.

Таблиця 3 Величина споживання електроенергії об'єктами сільськогосподарського виробництва

Найменування сыльхоз об’єктів	Ел.привід кВт*г/рік	Водонагрів кВ*г/рік	Освітлення кВт*г/рік	Загальне споживання електроенергії, кВт*ч/год
Тваринницька ферма	65850	61280	37960	165090
Майстерні	27631	-	2920	30551
Навіс с-г машин	-	-	70	70
Бойня	40	-	400	440
Овочесховище	59300	-	1400	60700
Гаражі	150	320	1095	1565
Магазин	26280	-	13140	65700
Пилорама	350	-	80	430

Електроенергія використовується для живлення електроприводів, водонагріву та освітлення. Величину спожитої потужності визначали за величиною встановленої потужності з урахуванням часу роботи обладнання та cosφ.[13]

Споживачів електроенергії умовно можна розділити на великі – тваринницькі ферми, середні – майстерні та овочесховище і дрібні – до 1500 кВт*год/рік.[4,5]

Розглянемо наступний варіант використання сонячної енергії:

- водопідігрів здійснюємо від сонячних колекторів вакуумного типу;

- електропостачання дрібних та середніх споживачів (тільки електропривід та освітлення) від автономних фотоелектричних станцій.

Результати розрахунку та вибору автономної фотоелектричної електростанції для електропостачання споживачів обраного сільськогосподарського підприємства представлені в таблиці 4.

Таблиця 4 Результати розрахунку та вибору автономної фотоелектричної електростанції

Найменування сельгоспоб'єктів	Потужність електростанції, кВт	Річне вироблення електроенергії, кВт*год/рік	Кількість і ємність акумуляторів, шт.* аг	Ціна електростанції, тыс.*дол.	Площа, яку займає фотоелектрична станція, м²
Тваринницька ферма	50	182500	200*200	9600	1700
Майстерня	20	30660	24*200	2800	670
Навіс с-г машин	1	730	1*200	58	33
Бойня	1	730	1*200	58	33
Овочесховище	30	7300	80*200	3840	1000
Гаражі	3	2960	4*100	129	100
Магазин	30	7300	80*200	3840	1000
Пилорама	1	730	1*200	58	33

Проведемо вибір автономної електростанції також з використанням енергоекологічного критерію оцінки [6].

$$K_{\text{ЕЕ}} = f(C_{\text{б}};\ C_{\text{г}};\ З_{\text{в}};\ К_{\text{вв}};\ S;\ З_{\text{ш}};\ )$$

де $K_{\text{ЕЕ}}$ – еколого-енергетичний критерій оцінки,

$C_{\text{б}}$ – вартість будівництва електростанції, грн/кВт,

$C_{\text{г}}$ – вартість генерації електроенергії, грн/кВт*год,

$З_в$ – викид забруднюючих речовин при генерації електроенергії, кг/кВт*год

$К_{вв}$ – величина шкідливого впливу цих речовин на навколишнє середовище,

S – площа, яку займає генеруюча установка, $м^2$;

$З_ш$ – шумове забруднення навколишнього середовища.

Оцінюючи можливість використання сонячної фотоелектричної електростанції, видно, що на енергоекологічний критерій впливає лише вартість будівництва та займана площа (табл. 4). Вартість генерації мала і зводиться лише до обслуговування станції – прибирання снігу, миття скла тощо. Викидів забруднюючих речовин при генерації немає.

Площі, які займають різні типи електростанцій, тісно пов'язані з їхніми потужностями (табл. 5)[11].

Таблиця 5 Питомі потужності різних типів електростанцій з 1$км^2$ площі

Тип електростанції	Питома потужність, $МВт/км^2$
Фотоелектричні (сонячні)	50…100
Вітрові	до 15
Гідроелектростанції	до 10
Енергія біомаси	до 5
Теплові	до 30
Атомні	60…120

З таблиці 5 випливає, що для вироблення 50-100 Вт потрібен 1 м² площі. Проте, аналізуючи дані, представлені в таблицях 2 і 4, бачимо, що з 1 м² площі можна отримати 30 Вт електричної енергії або 280 Вт теплової з урахуванням ККД фотоелектричної панелі та сонячного колектора. Для цього конкретного сільгосппідприємства знадобиться майже вдвічі більша площа земельної ділянки під будівництво сонячної електростанції.

Оцінюючи можливість використання фотоелектричної станції у сільськогосподарському виробництві за еколого-енергетичним критерієм, слід зазначити, що фотоелектричні станції є екологічними, надійними та простими в експлуатації. Суттєвий вплив на еколого-енергетичний критерій мають вартість будівництва фотоелектричної станції та займана нею площа земельної

ділянки. Як правило, це ділянка оброблюваної землі, яка не має будівель та дерев. Вартість такої ділянки висока і в перспективі збільшуватиметься. Вартість будівництва поступово знижуватиметься через постійне зниження вартості фотоелектричних панелей та інших комплектуючих.

Рішення щодо будівництва сонячної електростанції для сільгоспвиробництва прийматиметься з умов охорони навколишнього середовища на конкретній території. Якщо в основу прийняття рішення буде покладено захист навколишнього середовища, надійність енергопостачання та простота експлуатації, то доцільно будувати фотоелектричну електростанцію. В інших випадках слід враховувати, що терміни окупності капітальних вкладень будуть значно вищими за нормативні.

Висновки по другому розділу

Підсумовуючи, можна сказати, що економічні переваги сонячних енергетичних систем для сільського господарства виходять за рамки простої економії коштів, охоплюючи державні стимули, ринкову привабливість та покращену бюджетну передбачуваність, що робить сонячну енергетику привабливою бізнес-стратегією для сучасних фермерів.

РОЗДІЛ 3

ІНОВАЦІЇ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ

Майбутнє сонячних енергосистем у сільському господарстві виглядає яскравим, із численними тенденціями та інноваціями на горизонті. Потреба у стійких методах у поєднанні з технологічними досягненнями прокладає шлях до нової ери сільськогосподарського виробництва, що характеризується ефективністю та зниженим впливом на довкілля.

Однією з важливих тенденцій є зростаюча інтеграція сонячних технологій із сільськогосподарськими методами, такими як агровольтаїка. Цей інноваційний підхід передбачає спільне розміщення сонячних панелей із сільськогосподарськими культурами або худобою. Подвійне використання землі може підвищити виробництво енергії, одночасно підтримуючи сільськогосподарські операції. Оптимізуючи використання землі, фермери можуть збільшити потоки доходів як від сільськогосподарських культур, так і від виробництва енергії, максимізуючи потенціал прибутку та сприяючи стійкості.

Крім того, досягнення в галузі технологій зберігання енергії в акумуляторах революціонізують спосіб використання сонячної енергії на фермах. Традиційно генерація сонячної енергії обмежувалася денним годинником. Однак, поява акумуляторів великої ємності дозволяє фермерам зберігати енергію для використання в періоди без генерації, підвищуючи загальну надійність енергопостачання. Ця додаткова гнучкість може допомогти фермерам уміло управляти ресурсами, одночасно знижуючи залежність від мережі.

Штучний інтелект та машинне навчання також проникають у сонячне сільське господарство[17]. Аналітика даних може покращити управління енергією, моніторинг ґрунту та управління врожаєм через прийняття рішень на основі даних. Ці технології надають інформацію в режимі реального часу, дозволяючи фермерам швидко адаптуватися до мінливих умов, оптимізувати

використання енергії та підвищувати врожайність, зберігаючи при цьому цінні ресурси.

Оскільки все більше фермерів усвідомлюють економічні та екологічні переваги сонячної енергії, зростає готовність запроваджувати інноваційні моделі фінансування, такі як суспільні сонячні ферми. Ці угоди дозволяють кільком фермерам або членам спільноти спільно інвестувати в сонячний проект, розподіляючи фінансовий тягар та одночасно максимізуючи спільне використання ресурсів та кооперативне зростання.

Насамкінець слід зазначити, що траєкторія сонячних енергетичних систем у сільському господарстві готова до значного прогресу. З інноваціями у технологіях, додатках та фінансуванні сільськогосподарський сектор, ймовірно, побачить, як стійке використання сонячної енергії займе центральне місце, що призведе до більш зеленого та стійкого майбутнього для виробництва продовольства.

3.1 Огляд іноваційних сонячних технологій, доступних для агропромислового сектору

Давайте детально розглянемо сонячні технології, доступні для агропромислового сектора, включаючи фотовольтаїчні системи, сонячні водонагрівачі та сонячні насоси для зрошення. Ці технології є інноваційними рішеннями, які можуть істотно підвищити ефективність і стійкість сільськогосподарського виробництва.

1. *Фотовольтаїчні системи.* Фотовольтаїчні (ФВ) системи, також відомі як сонячні панелі, перетворюють сонячне світло безпосередньо на електрику. ФВ системи можуть бути встановлені на дахах будівель, наземних кріпленнях або навіть у формі сонячних трекерів, які стежать за сонцем для максимізації ефективності. В агропромисловому секторі фотовольтаїчні системи можуть використовуватись для забезпечення енергією фермерських будинків, господарських будівель, систем штучного освітлення для рослин, а також для живлення систем управління, моніторингу та зрошення. Завдяки своїй здатності знижувати залежність від традиційних джерел енергії та

мінімізувати експлуатаційні витрати, ФВ системи стають все більш популярними у сільському господарстві[16].

2. *Сонячні водонагрівачі.* Сонячні водонагрівачі використовують сонячну енергію для нагрівання води, яка потім може використовуватися для різних потреб у сільському господарстві, включаючи полив, догляд за тваринами та обігрів приміщень. Ці системи зазвичай складаються із сонячних колекторів, які поглинають сонячне випромінювання, та резервуара для зберігання нагрітої води. Існують активні та пасивні системи водонагрівання: активні використовують насоси для циркуляції води через колектори, тоді як пасивні покладаються на природну конвекцію. Сонячні водонагрівачі можуть значно скоротити витрати на нагрівання води, особливо в регіонах з високим рівнем сонячної інсоляції. Вони також сприяють зниженню вуглецевого сліду агрогосподарств, підвищуючи їхню екологічну стійкість.

3. *Сонячні насоси для зрошення.* Сонячні насоси для зрошення є високоефективним рішенням для забезпечення водопостачання сільськогосподарських угідь. Ці системи працюють на електриці, що виробляється фотовольтаїчними панелями, і можуть використовуватися для забору води з колодязів, річок або водосховищ. Сонячні насоси особливо ефективні у віддалених чи віддалених районах, де підключення до централізованих енергомереж утруднене чи неможливе. Переваги використання сонячних насосів включають низькі операційні витрати, оскільки вони не вимагають закупівлі палива або оплати за електроенергію, а також зменшення впливу на навколишнє середовище. Крім того, ці системи часто мають модульну структуру, що дозволяє легко масштабувати їх залежно від потреб господарства[17].

3.2 Сонячна насосна система для сільського господарства та іригації

Вода для зрошення життєво важлива для вирощування фруктів, овочів і зернових, які необхідні харчування населення світу. 70% світового запасу прісної води використовується для зрошення[10]. Сонячна

сільськогосподарська водонасосна система повинна доставляти воду в місця без будь-якої існуючої інфраструктури рис.3.1).



Рисунок 3.1. Сучасна водонасосна система SolarIrrigations

Сонячна система зрошення води в основному використовує сонячну енергію для перекачування води з річок, озер і ставків. Зазвичай використовується в іригації, підвищенні тиску та інших сценаріях застосування.

Коли сонце світить поверхню сонячної панелі, рух електронів генерує постійний струм, який передається на перетворювач частоти водяного насоса через підключені дроти. Перетворювач частоти водяного насоса є мозком системи, в якій використовуються складні технології і входи датчиків для перетворення постійного струму, що генерується сонячною панеллю, в потужність змінного або постійного струму для приведення в дію водяного насоса. Перетворювач частоти водяного насоса зазвичай має такі функції, як визначення рівня води на вході Перекачування всуху і перекачування. Він також може автоматично зупиняти і починати зціджування в залежності від змін освітленості протягом дня і ночі.

Сучасна автоматична сонячна водяна насосна система (рис.3.2) складається з наступних складових:

- Водяний насос
- Сонячні панелі

- Батареї (не обов'язково)
- Інвертор насоса
- Датчики рівня води

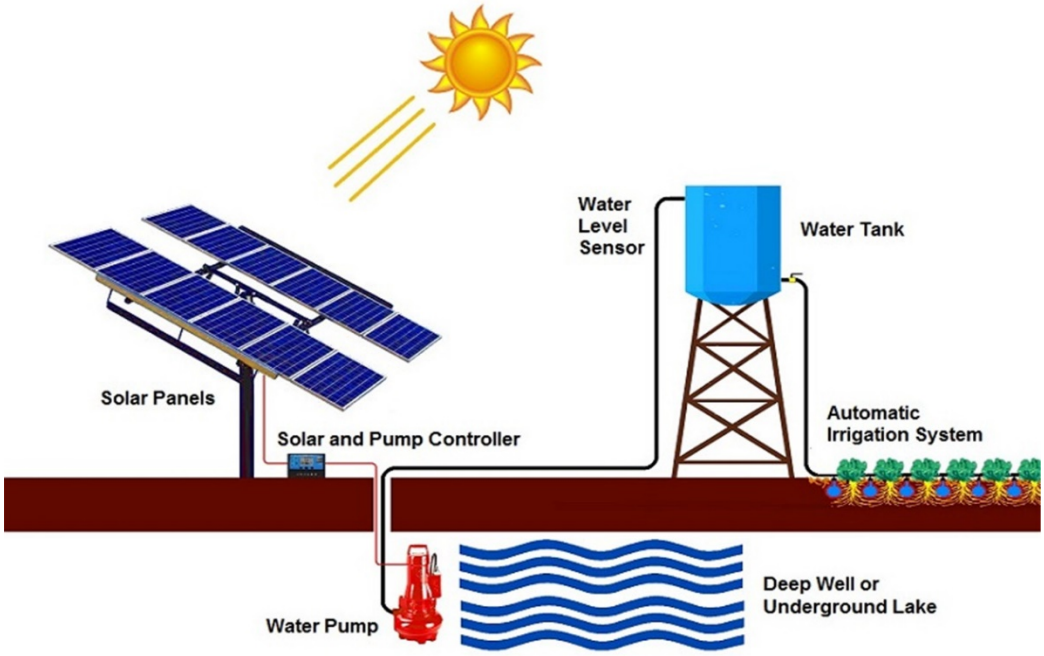


Рисунок 3.2. Автоматична сонячна водяна насосна система

Як ми вже з'ясували у цій статті, сонячні енергетичні системи перетворять сільське господарство, використовуючи енергію сонця для ефективного та сталого виробництва продуктів харчування. Від розуміння технології до визнання економічних та екологічних переваг потенціал величезний. У міру розвитку технологій та зміни переваг інтеграція сонячної енергії в сільське господарство не лише убезпечить наші продовольчі системи, а й сприятиме більш здоровій планеті. Перехід на сонячну енергію – це не просто тенденція; це необхідна еволюція для майбутнього сільського господарства, яка веде нас до сталого та процвітаючого сільськогосподарського ландшафту.

Провідною фірмою по впровадженню автоматичних сонячних водяних насосних систем на Україні є SolarIrrigations, як професійний виробник іригаційного обладнання. SolarIrrigations розробили комплексне рішення на базі котролера MTQ-300A, який надає рішення для віддаленого моніторингу. Дана система (рис.3.3) [25] може віддалено відстежувати різні робочі дані та

інформацію про несправності обладнання з хмари через систему веб-керування та програми для смартфонів.

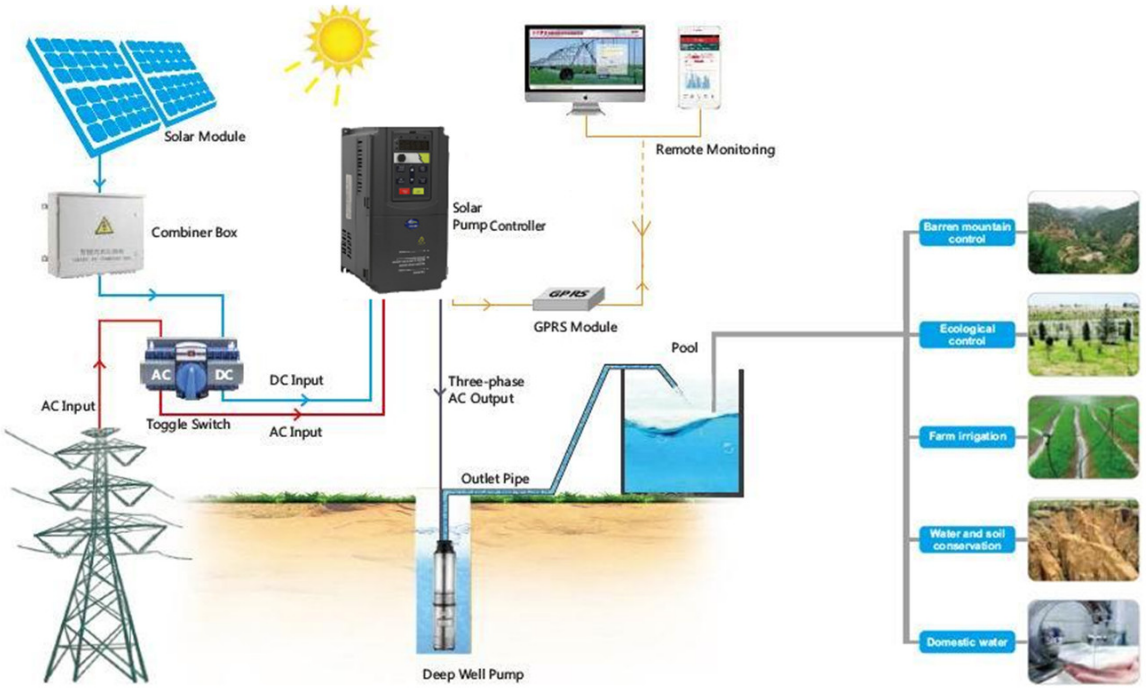


Рисунок 3.3. Системні рішення управління на основі котролера MTQ-300A

3.3 Агрівольтаїка як новий підхід до виробництва сонячної енергії

Агрівольтаїка - це новий підхід до виробництва сонячної енергії, який передбачає поєднання сонячних панелей з сільськогосподарськими методами, такими як рослинництво, випасання худоби або місця проживання запилювачів на одній і тій же землі. Інтегруючи сонячні панелі з іншими видами землекористування, агровольтаїка прагне максимізувати ефективність використання земель та ресурсів. Сонячні панелі забезпечують вироблення екологічно чистої енергії, одночасно пропонуючи такі переваги, як тінь, зниження випаровування води та зниження температури для рослин, що вирощуються або тварин[26].

Цей інноваційний підхід сприяє виробництву продуктів харчування або біомаси, а також виробництву чистої енергії, сприяючи симбіотичним відносинам між сільським господарством та сонячною енергією, що підвищує продуктивність земель та сприяє більш стійкому та прибутковому майбутньому.

Агрівольтаїка відрізняється від інших проектів сонячної енергетики тим, що земля під сонячними панелями та навколо них використовується для іншої мети. Ця унікальна функція дає низку переваг:

Оптимізація земель: Агрівольтаїка дозволяє продуктивно використовувати землю, поєднуючи вироблення сонячної енергії із сільськогосподарською діяльністю. Це дозволяє фермерам генерувати чисту енергію, одночасно використовуючи ту саму землю для вирощування сільськогосподарських культур або випасу худоби, максимізуючи ефективність і продуктивність землі.

Збільшення врожайності: наявність сонячних панелей над посівами забезпечує тінь, зменшуючи надмірне тепло та випаровування. Цей ефект затінення допомагає створити мікроклімат, який може пом'якшити екстремальні коливання температури та втрату води, що призводить до підвищення врожайності сільськогосподарських культур та зниження потреби у воді.

Підвищення ефективності використання ресурсів. Співіснування сонячних панелей та сільськогосподарських культур сприяє підвищенню ефективності використання ресурсів. Панелі вловлюють сонячну енергію для виробництва електроенергії, а ефект затінення знижує потребу в зрошенні та заощаджує воду.

Диверсифікація прибутків. Агрівольтаїка може запропонувати фермерам додаткові джерела доходу, дозволяючи їм виробляти та продавати чисту енергію разом зі своєю сільськогосподарською продукцією. Така диверсифікація джерел доходу може сприяти економічній життєздатності та стійкості сільськогосподарських операцій.

Одна з основних проблем, пов'язаних з агровольтаїкою, полягає в тому, що первісна вартість агроелектричних систем може бути дорогою, оскільки вони часто мають складнішу конструкцію систем, ніж традиційні сонячні панелі, і можуть вимагати структурних модифікацій, щоб уможливити подвійне землекористування. Незважаючи на довгострокову економію коштів, вартість

обладнання та будівництва може бути високою порівняно з традиційним сільським господарством чи автономними сонячними установками. Фінансові бар'єри можуть перешкоджати широкому впровадженню, особливо серед дрібних фермерів чи регіонів з обмеженими ресурсами.

Ще одна проблема, як і у випадку з багатьма технологіями на ранній стадії, полягає в тому, щоб забезпечити фермерам доступ до навчання, технічної допомоги, а освітні ресурси мають вирішальне значення для фермерів, розробників агроелектричних систем та політиків, щоб повністю зрозуміти потенційні вигоди та подолати проблеми, пов'язані з реалізацією агровольтаїчних проектів. Інтерес до агрівольтаїки зростає, тому забезпечення фермерів ресурсами, необхідними для впровадження агровольтаїчних систем матиме вирішальне значення в майбутньому.

Для встановлення агроелектричних систем необхідно знайти сільськогосподарські землі, які добре підходять як для сонячних ферм, так і для сільськогосподарської діяльності, а також подолати обмеження на передачу та підключення до мереж та залучити фермерів, зацікавлених в інноваціях у своїй діяльності. Виконання всіх трьох умов може виявитися непростим завданням.

Наразі в Міннесоті реалізується кілька агровольтаїчних проектів, але технологія все ще перебуває на стадії становлення. Всі існуючі проекти в Міннесоті включають місце проживання запилювачів, випас худоби або поєднання того й іншого.

В агроелектричних системах, сприятливих для запилювачів, є чагарники, трави та квіти, що виробляють нектар або пилок, які залучають запилювачів, таких як бджоли та метелики, під та навколо сонячних панелей. Ці проекти можуть покращити послуги з запилення прилеглих сільськогосподарських культур. Поліпшення запилення може підвищити врожайність сільськогосподарських культур, покращити якість фруктів та збільшити виробництво насіння, що принесе користь фермерам. Крім того, сонячні установки, що створюють довкілля для запилювачів, можуть з часом привести

до економії витрат на експлуатацію та технічне обслуговування завдяки перевагам, які запилювачі створюють для здоров'я екосистеми. Більшість агроелектричних систем, що існують у Міннесоті, сприятливих для запилювачів, розташовані в південній половині штату[26].

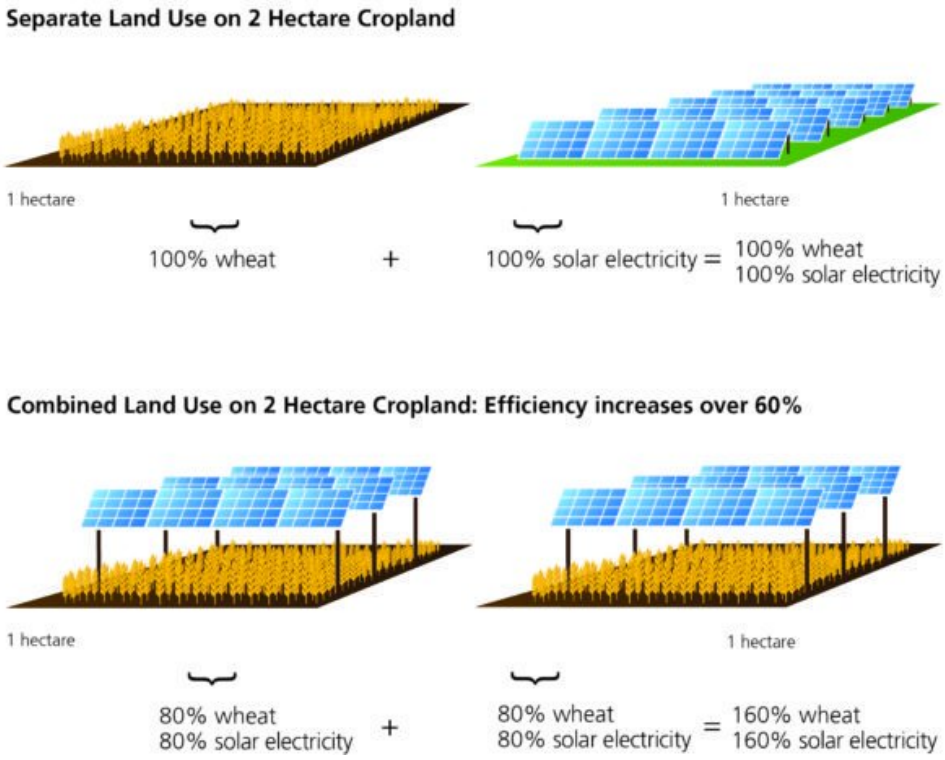


Рисунок 3.4. Зростання ефективності землекористування на агрівольтаіческіх фермах.

Компанія Connexus Energy, що базується в Міннесоті, впроваджує агровольтаїку, сприятливу для запилювачів. У статті, опублікованій компанією, описується їхнє партнерство з Prairie Restorations, в рамках якого вони спроектували сприятливий для запилювачів квітучий луг під сонячною батареєю на території кампусу. З того часу Connexus приділяє пріоритетну увагу управлінню земельними ресурсами у всіх своїх сонячних проектах, які в даний час охоплюють понад 120 акрів та вирощують понад 15 мільйонів місцевих та сприятливих для запилювачів рослин.

В даний час проводиться безліч досліджень, щоб краще зрозуміти рівень переваг агроелектричних систем, сприятливих для запилювачів, у тому числі одне в Міннесоті. Проект Міністерства енергетики США з інноваційних

методів використання сонячної енергії, інтегрованих із сільською економікою та екосистемами (InSPIRE), проводить дослідження в галузі агровольтаїки, сприятливої для запилювачів, в округах Анока та Етуотер. Уряд штату також продемонстрував підтримку агровольтаїки, сприятливою для запилювачів.

У 2022 році Міннесота заснувала Сонячну програму, сприятливу для довкілля, яка підтримує створення сонячних проектів, сприятливих для запилювачів, за допомогою технічних ресурсів та форм оцінки проектів.

Пасовищні проекти поєднують виробництво сонячної енергії з випасом худоби під сонячними панелями або між ними. Інтеграція випасу худоби із виробництвом сонячної енергії може забезпечити додаткові джерела доходу для фермерів. Використовуючи землю для випасу худоби, фермери можуть диверсифікувати свою сільськогосподарську діяльність, одночасно одержуючи прибуток від виробництва сонячної енергії. Переваги керованого випасу для здоров'я ґрунту також можуть призвести до довгострокової економії витрат для фермерів. InSPIRE зараз досліджує пасовищну агровольтаїку в Чисаго. Програма Habitat Friendly Solar також забезпечує підтримку проектів випасання худоби.

Незважаючи на те, що в Міннесоті вже існує безліч місць проживання запилювачів та пасовищних агроелектричних установок, у Міннесоті ще немає будь-яких агровольтаїчних проектів з виробництва сільськогосподарських культур. Понад 70% сільськогосподарських угідь у Міннесоті використовують для вирощування кукурудзи та соєвих бобів. Агрівольтаїка сумісна тільки з тіньовитривалими культурами, такими як листова зелень, а кукурудзі та соєвим бобам для процвітання потрібне повне сонячне світло. Дослідники по всій країні працюють над тим, щоб зрозуміти, які види культур і в яких місцях найбільше сумісні з агровольтаїкою. Вони також вивчають, які місця та умови найбільш підходять для створення сприятливих для запилювачів систем, випасання худоби та рослинництва.

Агрівольтаїка має великий потенціал для послідовного зростання найближчими роками. Оскільки занепокоєння з приводу сонячної енергії та

землекористування зростає, агровольтаїка пропонує рішення багатокористувацького землекористування. Наступне сприятиме розвитку агровольтаїки в Міннесоті:

Політична та нормативно-правова база: Політика, яка підтримує агровольтаїку, допоможе прискорити її зростання. Це може включати фінансові стимули, податкові пільги або гранти для фермерів та розробників сонячної енергії, які впроваджують агровольтаїчну систему.

Дослідницькі та демонстраційні проекти: Проведення дослідницьких та демонстраційних проектів, що стосуються клімату Міннесоти, методів ведення сільського господарства та сортів сільськогосподарських культур, може допомогти підтвердити здійсненність та переваги агрівольтаїки у Міннесоті.

Навчання та роз'яснювальна робота з фермерами та суспільством: Навчання фермерів потенційним перевагам та проблемам агрівольтаїки має важливе значення. Чи можуть бути організовані інформаційно-пропагандистські заходи, семінари та навчальні програми, щоб надати фермерам необхідні знання для ухвалення рішення, чи хочуть вони впроваджувати агрівольтаїку. Крім того, залучення місцевих громад та підвищення поінформованості про переваги агровольтаїки може допомогти забезпечити громадську підтримку цих проектів.

Співробітництво та партнерство. Співпраця між різними зацікавленими сторонами має вирішальне значення для зростання агровольтаїки у Міннесоті. Це включає партнерство між розробниками сонячної енергії, сільськогосподарськими організаціями, дослідницькими інститутами та державними установами. Обмін знаннями, досвідом та ресурсами може прискорити реалізацію агровольтаїчних проектів.

Федеральні політики роблять двопартійні зусилля щодо розвитку агровольтаїки по всій країні. Закон про потужність запилювачів, запропонований сенаторами Джеффом Мерклі (демократ від штату Орегон) та Корі Букером (демократ від штату Нью-Джерсі), спрямований на те, щоб

зробити пріоритетними сонячні проекти, які створюють місце існування для запилювачів. Закон про дослідження та демонстрації агрівольтаїки, запропонований сенаторами Мартіном Генріхом (демократ від Нью-Мексико) та Майком Брауном (республіканець від Індіани), передбачає виділення 75 мільйонів доларів протягом чотирьох років на дослідні та демонстраційні проекти, пов'язані з агрівольтаїкою. За даними Canary Media, ці законопроекти спрямовані на вирішення проблем, пов'язаних із втратою сільськогосподарських земель через сонячні ферми, а також на підтримку фермерів та досягнення кліматичних цілей. Законопроекти забезпечать фінансування досліджень та допоможуть заповнити прогалини у знаннях, щоб визначити життєздатність агровольтаїки у різних регіонах та з різними культурами чи тваринництвом.

У міру того, як агровольтаїка набирає обертів, вона створить нові можливості у сільськогосподарському та енергетичному секторах, пропонуючи шлях, який гармонізує виробництво продуктів харчування та виробництво екологічно чистої енергії. Завдяки постійним дослідженням, що підтримує політику та спільні зусилля, агровольтаїка здатна підтримувати стійке зростання найближчими роками в Міннесоті та за її межами.

Висновки по третьому розділу

Ефективність сонячних систем залежить від географічного положення та метеорологічних умов. У регіонах з низьким рівнем сонячної інсоляції або частими погодними перепадами ефективність та окупність сонячних інвестицій можуть бути знижені.

Поточні дослідження та розробки в галузі сонячної енергетики для сільського господарства спрямовані на подолання цих проблем та створення більш ефективних, доступних та інтегрованих сонячних рішень. Продовжуючий прогрес у цій галузі обіцяє розширити можливості використання сонячної енергії в агропромисловому секторі, роблячи її більш привабливою та вигідною для сільськогосподарських виробників.

ВИСНОВОК

Перехід на відновлювані джерела енергії не лише допомагає скоротити операційні витрати та зменшити вуглецевий слід фермерських господарств, а й підвищує їхню стійкість до коливань цін на енергоресурси та зміцнює енергетичну незалежність.

Сучасні дослідження та розробки в галузі сонячної енергетики відкривають нові можливості для агропромисловості, пропонуючи інноваційні рішення, які роблять використання сонячної енергії ще більш доступним та ефективним. Незважаючи на існуючі виклики та перешкоди, постійний розвиток технологій та політика підтримки на державному та міжнародному рівнях сприяють подоланню цих бар'єрів.

Прийняття сонячної енергії у сільському господарстві потребує початкових інвестицій та відданості справі, проте довгострокові вигоди значно перевищують початкові витрати. Покрокове керівництво, представлене у цій статті, пропонує практичний шлях до успішної інтеграції сонячних рішень у сільськогосподарське виробництво, підкріплений аналізом економічної вигоди та окупності таких інвестицій.

Майбутнє сільського господарства нерозривно пов'язане зі стійким розвитком та використанням відновлюваних джерел енергії. Сонячна енергія є ключовим елементом у цьому процесі, сприяючи створенню більш зеленого, ефективного та стійкого агропромислового сектора, здатного протистояти викликам сучасного світу та забезпечувати продовольчу безпеку для населення планети.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1.Онищенко В. О., Щуров І.В., Даценко В.Д.. Сонячна енергетика в Україні: аналіз та роль у забезпеченні економічної безпеки// Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка».- Економіка і регіон № 1 (84) – 2022 С.1-11

2.https://ecodim.in.ua/rozvytok-sonyachnoi-energetyky-v-ukraini

3. https://se.net.ua/novyny/prognoz-rozvytku-sonyachnoyi-energetyky-v-sviti-na-2020-2024-roky/

4. Білопольський, М.Г. (2013), «Аналіз та вирішення проблем ефективності використання альтернативних джерел енергії», Теоретичні та практичні аспекти економіки та інтелектуальної власності, т. 1 (3), с. 13–18.

5.Борохов, І.В. (2014), «Обґрунтування можливості використання альтернативних джерел енергії та шляхи їх впровадження», Праці Таврійського державного агротехнологічного університету, т. 14(2), с. 125–129.

6. Бурда, В.Є. (2011), «Аналіз практики та ефективності використання альтернативних джерел енергії в Україні та світі», Ефективна економіка, т. 11, доступно за посиланням: http://nbuv.gov.ua/UJRN/efek_2011_11_64

7.Гірник, Л.В. (2014), «Альтернативні джерела енергії як умова формування енергетичної незалежності країни», Вісник Східноєвропейського університету економіки та управління. Серія: Економіка та управління, т. 2, с. 43–50.

8.Курмаєв, П.Ю. та Стойка, В.О. (2016), «Аналіз сучасних світових тенденцій в енергетичному секторі», Економіка. Фінанси. Право, т. 8/1, с. 23–26.

9. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України / за ред. С.О. Керлса. Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2020. 82 с.

10.Матвійчук, Л.Ю. та Герасимчук, Б.П., «Економічна доцільність використання альтернативних джерел енергії», Економічний форум, т. 4, 2013 с. 12–16.

11.Нараєвський, С.В., «Класифікація традиційних та альтернативних джерел і технологій виробництва енергії», Економічні науки. Сер.: Економіка та управління, т. 9 (1.1), 2012 с. 255–269.

12.Неміш, П.Д., «Ефективність використання альтернативних джерел енергії», Сталий розвиток економіки, т. 1, 2015 с. 140–147.

13.Онищенко, В. та Сівіцька, С., «Інвестиційна підтримка розвитку альтернативної енергетики в умовах енергетичної залежності», Економічні аннали-XXI, т. 9-10, 2014 с. 34–37.

14. Павлик, А.В., «Стан розвитку альтернативних джерел енергії та актуальність їх використання в Україні», Вісник Сумського державного університету. Серія: Економіка, т. 4, 2014 с. 14–20.

15. Райхенбах, Т.М., «Основи державного регулювання використання альтернативних джерел енергії», Теорія та практика державного управління, т. 1, 2011 с. 274–280.

16.Сівіцька, С. Варцаба, В. та Філонич, О., «Інвестиції в енергоефективну реконструкцію будівель», Міжнародний журнал інженерії та технологій, т. 7 (3.2), 2018 с. 408–412.

17. Стойка, С.О., Стойка, В.О. та Курмаєв, П.Ю., «Підвищення енергоефективності – основа інноваційного розвитку економіки України», Агросвіт, т. 23, 2016 с. 3–7.

18. Закон України «Про альтернативні джерела енергії», доступно за посиланням: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-15#Text

19.Сонячна енергетика в Україні, доступно за посиланням: https://avenston.com/articles/solar/

20. Єдине національне інформаційне агентство України УКРІНФОРМ, доступно за посиланням: https://www.ukrinform.ua/rubric-other_news/2887951-najpotuznisi-sonacni-elektrostancii-ukraini-infografika.html

21. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України, доступно за посиланням: https://saee.gov.ua/

22.Урядовий портал, доступно за посиланням: https://www.kmu.gov.ua/news/blizko-35-tis-domogospodarstv-vstanovili-sonyachni-elektrostanciyi-u-ii-kvartali

23. Національна енергетична компанія «Укренерго», доступно за посиланням: https://ua.energy/zagalni-novyny/eksport-elektroenergiyi-v-2020-rotsi perevyshhyv-import-v-2-1-razy/

24. Міжнародне агентство з відновлюваної енергетики: IRENA, доступно за посиланням: https://www.irena.org/

25. https://avenston.com/articles/earth-and-sun-synergy/

26. Сонячний випас: як вівці стали частиною енергетичної революції, доступно за посиланням: https://agroportal.ua/agrocheck/inopressa/sonyachniy-vipas-yak-vivci-stali-chastinoyu-energetichnoji-revolyuciji