

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМЕНІ С.З. ГЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ ЗЕМЛЕВПОРЯДКУВАННЯ ТА ІНФРАСТРУКТУРНОГО
РОЗВИТКУ
КАФЕДРА ГЕОДЕЗІЇ І ГЕОІНФОРМАТИКИ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
Рівня вищої освіти «Магістр»
НА ТЕМУ:
«Оцінка придатності земель для розміщення сонячних
електростанцій з використанням ГІС»

Виконав: студент групи ЗВ-63
Напряму підготовки (спеціальності)
193 «Геодезія та землеустрій»
Запара В.О.
Керівник: доцент **Бочко О.І.**

Дубляни- 2025

ВСТУП	
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОЦІНКИ ПРИДАТНОСТІ ЗЕМЕЛЬ ДЛЯ РОЗМІЩЕННЯ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ	7
1.1 Розвиток сонячної енергетики в Україні та світі	7
1.2 Вимоги до територій для розміщення сонячних електростанцій	12
1.3 Нормативно-правове регулювання розвитку сонячної енергетики в Україні	15
1.4 Роль геоінформаційних систем у просторовому аналізі придатності земель	25
РОЗДІЛ 2. ВИХІДНІ ДАНІ ТА МЕТОДОЛОГІЯ ГІС-АНАЛІЗУ	29
2.1 Характеристика досліджуваної території для розміщення сонячних електростанцій	29
2.2 Технологія вибору земельних ділянок для оптимального розташування наземних сонячних електростанцій	32
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ОЦІНКИ ПРИДАТНОСТІ ТЕРИТОРІЇ	37
3.1 Карта інтегральної придатності території	37
3.2 Виділення оптимальних майданчиків для розміщення СЕС	39
4. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	44
ВИСНОВОК	47
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	48

УДК 528.94:620.92

Кваліфікаційна робота розкриває комплексну оцінку придатності земель для розміщення сонячних електростанцій із застосуванням геоінформаційних систем та багатокритеріальних методів аналізу. Актуальність теми зумовлена зростаючими потребами у розвитку відновлюваних джерел енергії, обмеженістю високопродуктивних земельних ресурсів та необхідністю науково обґрунтованого просторового планування об'єктів альтернативної енергетики.

У роботі проведено систематизацію природних, технічних, екологічних та соціально-економічних факторів, які впливають на ефективність розміщення сонячних електростанцій. На основі цифрових моделей рельєфу, даних інсоляції, кадастрової інформації, карт інженерної та транспортної інфраструктури сформовано багат шарову ГІС-базу. Для визначення раціональності використання територій застосовано метод багатокритеріального оцінювання, що передбачає нормування критеріїв та обчислення інтегрального індексу придатності (SI).

Побудована карта інтегральної придатності дозволила виділити території з різними рівнями сприятливості для розміщення сонячних електростанцій: високою, середньою та низькою. На основі аналізу структурних характеристик ділянок, їх інфраструктурної забезпеченості та доступності визначено оптимальні майданчики для подальшої розробки енергетичних проєктів. Проведено економічну оцінку ефективності використання земель, що включала розрахунок потенційного виробітку електроенергії, капітальних витрат, строків окупності та показників інвестиційної привабливості.

Результати роботи підтверджують, що поєднання ГІС-технологій та багатокритеріального аналізу забезпечує високий рівень точності просторового планування об'єктів сонячної енергетики, дозволяючи мінімізувати інвестиційні ризики та забезпечити раціональне використання земельних ресурсів.

ВСТУП

Сучасний етап розвитку енергетики характеризується активним переходом до відновлюваних джерел енергії, серед яких провідне місце посідає сонячна енергетика. Зростання обсягів споживання електричної енергії, необхідність зменшення залежності від традиційних енергоресурсів та глобальні кліматичні виклики зумовлюють розвиток ефективних технологій генерації електроенергії з використанням природних ресурсів. Україна володіє значним потенціалом сонячної енергетики, однак раціональне використання земельних ресурсів для розміщення сонячних електростанцій залишається складним і багатофакторним завданням.

Визначення придатності земель для розміщення СЕС потребує аналізу широкого спектра просторових характеристик: інсоляції, рельєфу, геологічних умов, екологічних та правових обмежень, доступності інженерної та транспортної інфраструктури. Традиційні методи оцінки земель не можуть забезпечити достатньої точності та оперативності обробки великого обсягу різномірних даних. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває застосування геоінформаційних систем, які дозволяють комплексно аналізувати просторові дані, виявляти закономірності, оцінювати інтегральні характеристики територій та формувати науково обґрунтовані картографічні моделі придатності.

Використання ГІС-технологій у поєднанні з багатокритеріальними методами оцінювання створює можливість визначити найефективніші ділянки для розміщення сонячних електростанцій з мінімальними економічними, технічними та екологічними ризиками. Комплексний підхід до оцінки земель дозволяє не лише підвищити ефективність використання територій, але й забезпечити сталий розвиток територіальних громад, раціонально використовуючи непродуктивні або малопродуктивні землі.

Метою магістерської роботи є розробка методичного підходу до оцінки придатності земель для розміщення сонячних електростанцій із використанням

ГІС та багатокритеріального аналізу, а також визначення оптимальних територій для подальшої реалізації енергетичних проєктів.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються такі основні завдання:

- аналіз природних, технічних, екологічних та правових характеристик території;
- формування багатопланової ГІС-бази для просторового аналізу;
- застосування методів багатокритеріального оцінювання придатності;
- побудова інтегральної карти придатності території;
- виділення оптимальних майданчиків для розміщення СЕС;
- виконання економічної оцінки ефективності використання земель;
- формування практичних рекомендацій щодо раціонального розміщення СЕС.

Наукова новизна роботи полягає у комплексному застосуванні ГІС-технологій та багатокритеріальних методів аналізу для просторової оцінки придатності земель, що дозволяє підвищити точність прийняття управлінських та інвестиційних рішень у сфері відновлюваної енергетики.

Практичне значення дослідження полягає в можливості використання отриманих результатів територіальними громадами, органами місцевого самоврядування, інвесторами та проєктними організаціями для формування стратегій розвитку сонячної енергетики.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОЦІНКИ ПРИДАТНОСТІ ЗЕМЕЛЬ ДЛЯ РОЗМІЩЕННЯ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

1.1 Розвиток сонячної енергетики в Україні та світі

В умовах сучасного світу, де енергетична безпека та незалежність стають все більш важливими факторами розвитку держав, питання відновлюваних джерел енергії набувають нової актуальності. Для України, яка зазнала значних втрат енергетичної інфраструктури через війну з російською федерацією, розвиток сонячної енергетики стає не лише питанням екологічної відповідальності, а й національної безпеки.

Збройний конфлікт, що триває, призвів до суттєвих руйнувань енергетичних об'єктів по всій країні. Ці втрати вплинули на стабільність електропостачання, спричинивши перебої в енергопостачанні як для населення, так і для промисловості. В таких умовах пошук альтернативних джерел енергії, зокрема сонячних електростанцій, стає важливою задачею, як для держави, так і для приватного бізнесу.

Сонячна енергетика, з її швидким впровадженням та можливістю інтеграції в різні сфери економіки, пропонує надійне рішення для забезпечення енергетичної стабільності. Україна має значний потенціал для розвитку цього виду енергії завдяки своїм географічним та кліматичним умовам. Однак, для повного розкриття цього потенціалу необхідно розробити чітку стратегію та забезпечити належну підтримку на всіх рівнях.

В Україні розвиток сонячної енергетики активізувався після ухвалення у 2009 році законодавства щодо «зеленого тарифу», що забезпечило інвестиційну привабливість галузі. Найбільший ріст встановлених потужностей спостерігався у 2017–2020 роках, коли в експлуатацію ввели десятки великих промислових станцій. До 2021 року сумарна потужність СЕС в Україні перевищила 7 ГВт, зокрема завдяки інвестиційній активності у центральних та південних регіонах. До широкомасштабного вторгнення РФ у 2022 році Україна була однією з найдинамічніших країн Європи за темпами розвитку сонячної енергетики.

Загострення екологічних проблем і потреба ощадливого використання природних ресурсів спонукають світ активніше звертатися до альтернативних джерел енергії. Сонячні колектори, що застосовуються в системах опалення та гарячого водопостачання, здатні зменшити енергоспоживання на 50–60%, при цьому не утворюючи шкідливих викидів у довкілля.

Країни світу активно розширюють власні енергетичні ресурси, прагнучи підвищити енергетичну незалежність і враховувати стійкість енергетичних систем у довгостроковому плануванні. Забезпечення енергетичної безпеки є важливим стимулом для розвитку інновацій, включно з технологіями, що роблять нові джерела енергії доступнішими або здешевлюють експлуатацію наявних систем. Потужний науково-технічний потенціал у сфері енергетики посилює міжнародні позиції країн. Для держав, що розвиваються, передача технологій має вирішальне значення для переходу до низьковуглецевої економіки та застосування екологічно чистих технологій у виробництві. Це підтверджує світовий тренд зростання використання відновлюваних джерел енергії, які дедалі більше стають ключовими для майбутньої глобальної енергосистеми.

Після 2022 року галузь стикається з викликами — руйнуванням інфраструктури, обмеженнями енергосистеми, зниженням інвестиційної активності. Проте відновлення енергосистеми та стратегічний курс на енергетичну незалежність сприяють подальшому розвитку сонячної енергетики. Зростає частка домогосподарств, які встановлюють малі СЕС для власного споживання, а також інтерес до автономних рішень та мікромереж. Крім того, в Україні існує значний потенціал інсоляції — у середньому 1100–1400 кВт·год/м² на рік, що є сприятливим фактором для подальшого розвитку галузі.

Світовий та український досвід демонструють, що сонячна енергетика відіграє ключову роль у трансформації енергетичного сектору, забезпечуючи зменшення викидів парникових газів, підвищення енергетичної безпеки та розвиток нових технологічних рішень. Таким чином, оцінка придатності земель

для розміщення сонячних електростанцій стає необхідною умовою ефективного просторового планування та раціонального використання природних ресурсів.

Сонячна енергетика є однією з ключових складових глобального переходу до відновлюваних джерел енергії. За останні два десятиліття вона перетворилася з експериментальної технології на один із найпотужніших і найдинамічніших секторів енергетики. Вирішальними чинниками такого зростання стали здешевлення фотоелектричних панелей, підвищення їх енергоефективності, розвиток технологій накопичення енергії, а також міжнародні кліматичні ініціативи, спрямовані на зменшення викидів парникових газів.

У світовому масштабі встановлені потужності сонячної енергетики демонструють стійке експоненційне зростання. Якщо у 2000 році глобальна встановлена потужність складала менше 1 ГВт, то у 2010 році цей показник зріс до приблизно 40 ГВт. Після 2015 року темпи розвитку ще більше прискорилися, і у 2023 році світова сонячна генерація перевищила позначку в 1 ТВт. Очікується, що протягом найближчих десяти років вона може подвоїтися завдяки дешевшому виробництву модулів та масштабуванню технологій.

Географічними лідерами галузі є Китай, Європейський Союз, США та Індія. Китай утримує провідні позиції як за встановленими потужностями, так і за часткою на світовому ринку виробництва фотоелектричних модулів. Європейський Союз активно розвиває як великі промислові сонячні електростанції, так і розподілену генерацію, інтегровану у міське середовище. США та Індія демонструють стабільне зростання завдяки фінансовим стимулам, оновленню інфраструктури та зростаючому попиту на екологічно чисту енергію.

Особливо швидкими темпами сонячна енергетика розвивається в регіонах із високою природною інсоляцією — на Близькому Сході, в Південній Америці, Південній Азії та Австралії. У цих країнах реалізуються проєкти потужністю у сотні мегаватів, які часто поєднуються із системами накопичення енергії, що

забезпечує більш рівномірне навантаження на енергосистему. До сучасних тенденцій належать агровольтаїка, плавучі сонячні електростанції, розвиток сонячних парків поблизу індустріальних кластерів, а також інтеграція фотоелектричних систем у будівлі.

У провідних економік світу розвиток альтернативної енергетики є стратегічним напрямом, який отримує значні інвестиції. Щороку вкладення в цю сферу зростають на 15,5%, причому майже половина спрямовується на сонячну енергетику, що підкреслює її важливу роль у майбутній структурі енергоресурсів.

Порівняння ефективності використання альтернативної енергії у світі свідчить, що Європа є безумовним лідером у цій галузі (Купчак та ін., 2019). Північна Америка посідає друге місце, демонструючи активний розвиток технологій у сфері відновлюваної енергетики. Азія розташовується на третій позиції, відзначаючись суттєвими здобутками та перспективами. Такі регіональні відмінності пояснюються різними підходами до державної політики, рівнем інвестицій і технологічних інновацій у відповідних країнах (Мельник, 2020).

Серед європейських держав першість за рівнем використання сонячної енергії утримує Іспанія, де інтенсивність сонячного випромінювання сягає 3–5 кВт·год/м² за добу — один із найвищих показників у Європі (Arán et al., 2008). Понад 17% електроенергії в країні виробляється сонячними установками, що стало можливим, зокрема, завдяки законодавству, яке заохочує встановлення сонячних панелей під час нового будівництва. Високі результати в цій сфері демонструють також Німеччина та Нідерланди.

У сфері технологічних інновацій нині створюються експериментальні перетворювачі, здатні виробляти електроенергію з сонячного світла не лише вдень, а й уночі, хоча такі рішення ще не здобули широкого промислового застосування.

Близько 75% світових фотоелектричних потужностей зосереджено в Європі. За даними EPIA (Doan et al., 2019), сонячні модулі забезпечують

електроенергією близько 3 мільйонів європейських домогосподарств. Україна, що приєдналася до Енергетичного співтовариства у 2011 році, також визначає розвиток альтернативної енергетики одним із ключових напрямів своєї енергостратегії.

В Україні сонячна енергетика займає провідну позицію серед інших видів відновлюваної енергії за встановленою потужністю. За даними «Укренерго», у жовтні 2021 року її сумарна потужність становила 6194 МВт. Це дорівнює 77,87% потужностей у секторі ВДЕ та 11,05% загальної встановленої потужності енергосистеми країни.

Україна має низку переваг для активного розвитку сонячної енергетики, серед яких особливо важливими є природні умови. Рівень інсоляції в багатьох її регіонах перевищує показники Німеччини — одного зі світових лідерів у цій галузі. Загострення екологічних проблем і потреба ощадливого використання природних ресурсів спонукають світ активніше звертатися до альтернативних джерел енергії. Сонячні колектори, що застосовуються в системах опалення та гарячого водопостачання, здатні зменшити енергоспоживання на 50–60%, при цьому не утворюючи шкідливих викидів у довкілля.

Країни світу активно розширюють власні енергетичні ресурси, прагнучи підвищити енергетичну незалежність і враховувати стійкість енергетичних систем у довгостроковому плануванні. Забезпечення енергетичної безпеки є важливим стимулом для розвитку інновацій, включно з технологіями, що роблять нові джерела енергії доступнішими або здешевлюють експлуатацію наявних систем. Потужний науково-технічний потенціал у сфері енергетики посилює міжнародні позиції країн. Для держав, що розвиваються, передача технологій має вирішальне значення для переходу до низьковуглецевої економіки та застосування екологічно чистих технологій у виробництві. Це підтверджує світовий тренд зростання використання відновлюваних джерел енергії, які дедалі більше стають ключовими для майбутньої глобальної енергосистеми.

Використання місцевих екологічно чистих ресурсів, таких як сонячна чи вітрова енергія, приносить значну економічну вигоду, зміцнює місцеві економіки, зменшує залежність від імпортного палива та сприяє скороченню парникових викидів. Завдяки цьому вони стають одним із головних інструментів протидії кліматичним змінам.

1.2 Вимоги до територій для розміщення сонячних електростанцій

Аналіз ландшафту та кліматичних умов є ключовим етапом у виборі оптимального місця для розташування сонячної електростанції. Цей аналіз допомагає визначити, чи має обрана територія достатньо потенціалу для ефективної роботи сонячних панелей. Нижче розглянуті основні фактори, які важливо враховувати при аналізі ландшафту та кліматичних умов для сонячних електростанцій.

Території для розміщення сонячних електростанцій (СЕС) є одним із ключових етапів планування та реалізації проєктів у сфері відновлюваної енергетики. Правильно підібрана земельна ділянка суттєво впливає на технічну ефективність виробництва електроенергії, економічну доцільність будівництва та подальшу експлуатацію обладнання, а також на екологічну безпеку й соціальну прийнятність об'єкта для місцевої громади. Тому питання оцінювання територій виступає важливим аспектом наукового обґрунтування інвестиційних рішень у галузі сонячної енергетики.

Одним із первинних критеріїв оцінювання території є інсоляційні характеристики, що визначають кількість сонячної радіації, яка надходить на поверхню землі. Чим вищий цей показник, тим ефективніше працюватимуть фотоелектричні модулі. Регіони з високою кількістю сонячних днів, низькою хмарністю та стабільними кліматичними умовами є найбільш перспективними для будівництва СЕС. Наукові дослідження доводять, що відмінності у рівні інсоляції можуть формувати до третини різниці у річних обсягах виробленої електроенергії. У межах територій із нерівномірним сезонним надходженням сонячного випромінювання особливого значення набуває моделювання

потенційної генерації, що дозволяє оцінити реальну ефективність та визначити оптимальні параметри розміщення панелей щодо кута їх нахилу й орієнтації відносно сонця.

Не менш значущими є морфологічні характеристики рельєфу. Території з рівнинною або слабохвилястою поверхнею забезпечують оптимальні умови для встановлення модулів, оскільки не потребують значних земляних робіт і мінімізують ризики утворення тіней. Наявність перешкод у вигляді дерев, будівель, лісосмуг чи природних підвищень може значно знижувати продуктивність СЕС, оскільки навіть часткове затінення панелі здатне зменшити її вихідну потужність на 20–40%. Тому вимірювання тіньових проєкцій та топографічне моделювання рельєфу є обов'язковими процедурами перед вибором ділянки для будівництва. Орієнтація території також має значення: схили південної експозиції сприяють кращому поглинанню сонячної енергії, що узгоджується з природними закономірностями руху сонця.

Важливою характеристикою території є її площа та можливість раціонального використання земельного простору. Сонячні електростанції наземного типу вимагають значних земельних ресурсів, оскільки між рядами панелей необхідно залишати відстані для обслуговування та запобігання затіненню. У середньому для встановлення 1 МВт потужності необхідно від 1,5 до 2 гектарів землі, залежно від типу конструкції та технології. Якщо використовуються системи стеження за сонцем (трекери), площа може збільшуватися. Важливо також враховувати конфігурацію ділянки: надмірне подрібнення або наявність непридатних для будівництва фрагментів ускладнює формування єдиної технологічної схеми розміщення обладнання та може збільшувати витрати інвестора.

Крім природних характеристик, суттєве значення мають інженерно-геологічні властивості території. ґрунти повинні мати достатню несучу здатність для встановлення фундаментів та опор. Уникати варто ділянок, схильних до підтоплення, заболочення чи ерозійних процесів, оскільки вони збільшують ризики аварій та можуть потребувати значних інженерних заходів

для підготовки основи. Низький рівень ґрунтових вод, відсутність карстових утворень та стійкість ґрунтів є тими параметрами, що забезпечують безпечну й довготривалу експлуатацію обладнання. У деяких випадках, наприклад у регіонах із підвищеною сейсмічністю, необхідно проводити спеціальні інженерні дослідження, які дозволяють визначити додаткові заходи щодо зміцнення конструкцій.

Одним із найвагоміших критеріїв економічної доцільності будівництва СЕС є технічна можливість підключення до електричних мереж. Доступність ліній електропередач належного класу напруги, можливість прийняття додаткової генеруючої потужності та відносно невелика віддаленість від точок приєднання значно знижують загальну вартість реалізації проєкту. У протилежному випадку виникає потреба у прокладанні нових кабельних трас або будівництві трансформаторних підстанцій, що істотно збільшує витрати та може впливати на інвестиційну привабливість регіону. Тому аналіз енергетичної інфраструктури та пропускної здатності мереж належить до обов'язкових процедур при оцінюванні території для розміщення СЕС.

Правовий статус земельних ділянок також є принциповим аспектом. Земля повинна мати відповідне цільове призначення, що дозволяє розміщення енергетичних об'єктів. Важливою умовою є наявність чітко визначеного права власності або оренди, відсутність судових спорів, обтяжень чи сервітутів. Містобудівна документація має відповідати планам використання територій, а зонування не повинно суперечити будівництву промислових або енергетичних об'єктів. Окремо враховуються вимоги, пов'язані із санітарно-захисними зонами, охоронними зонами ліній електропередач, водоохоронними територіями та іншими юридичними обмеженнями.

Важливою складовою наукового аналізу є оцінка екологічних умов. Сонячні електростанції належать до екологічно чистих джерел енергії, проте їх будівництво може впливати на локальні екосистеми. Тому небажаним є розміщення СЕС у межах природно-заповідного фонду, на територіях із високою біорізноманітністю, у місцях міграції рідкісних видів птахів чи тварин.

Під час планування будівництва проводиться оцінка впливу на довкілля, що дозволяє визначити можливі ризики та розробити заходи щодо їх мінімізації. Важливим є збереження верхнього шару ґрунту, уникнення деградаційних процесів та недопущення значних втручань у природні ландшафти.

Соціально-економічні чинники також відіграють важливу роль у виборі території. Розміщення СЕС може бути позитивно сприйняте громадою за умови, що проєкт відповідає інтересам місцевого населення, сприяє створенню робочих місць, покращує інфраструктуру та забезпечує надходження до місцевих бюджетів. Водночас розміщення електростанції надто близько до житлових районів може викликати заперечення громади, пов'язані з використанням земель, зміною ландшафту або іншими соціальними аспектами. Тому важливим є залучення громади до обговорення проєкту на ранніх стадіях, що сприяє формванню довіри та підтримки.

Вибір території для розміщення сонячних електростанцій є багатофакторним процесом, який вимагає комплексного врахування природних, технічних, правових, екологічних та соціально-економічних умов. Науковий підхід до аналізу територій дозволяє визначити оптимальний майданчик для будівництва, мінімізувати ризики та забезпечити ефективне функціонування енергетичного об'єкта протягом тривалого періоду. Саме системне поєднання цих чинників забезпечує стратегічну стійкість проєктів у сфері сонячної енергетики та сприяє розвитку енергетичної незалежності держави.

1.3 Нормативно-правове регулювання розвитку сонячної енергетики в Україні

На сьогодні в Україні існує значний масив земельних ділянок, природні характеристики яких — зокрема високий рівень інсоляції, сприятливі кліматичні умови та доступність відкритих просторів — створюють передумови для ефективного використання сонячної енергії з метою виробництва електроенергії. Такі території мають потенціал стати основою для розвитку сучасних фотоелектричних систем, здатних забезпечувати як локальні

потреби, так і роботу промислових сонячних електростанцій. Однак, незважаючи на значні природні переваги, реальні можливості використання цих земельних ресурсів часто обмежуються інфраструктурними факторами.

Відповідно до Закону України «Про землі енергетики та правовий режим спеціальних зон енергетичних об'єктів» (№ 2480-VI, редакція від 01.01.2019), до земель енергогенерувальних підприємств альтернативної енергетики належать земельні ділянки, що надаються для розміщення, будівництва та подальшої експлуатації об'єктів, призначених для виробництва електричної чи теплової енергії. До таких об'єктів закон відносить малі гідроелектростанції, вітроелектростанції, електростанції, що використовують сонячну енергію, геотермальні та біоенергетичні установки, а також інші типи енергетичних споруд, які працюють на відновлюваних джерелах енергії.

Землі місцевих (локальних) електричних мереж охоплюють ділянки, надані для розміщення, будівництва, експлуатації та технічного обслуговування об'єктів, що забезпечують передачу електроенергії від магістральних мереж до кінцевих споживачів. До таких об'єктів, згідно із зазначеним законом, належать повітряні та кабельні лінії електропередачі, трансформаторні підстанції, розподільні пункти, струмопроводи, об'єкти диспетчерсько-технологічного керування, а також вводи до житлових і нежитлових будівель.

Земельні ділянки державної та комунальної власності можуть передаватися у власність або користування (зокрема в оренду) для потреб альтернативної енергетики за рішенням органів державної влади чи місцевого самоврядування. Ця процедура здійснюється у межах компетенції відповідних органів і відповідно до порядку, визначеного Земельним кодексом України.

Для цілей будівництва, розміщення та експлуатації об'єктів виробництва електроенергії з відновлюваних джерел допускається використання земельних ділянок будь-якої форми власності на підставі договору з їх власником або користувачем. Таке використання може здійснюватися шляхом встановлення постійних чи строкових земельних сервітутів або суперфіцію для розміщення

об'єкта електроенергетики, включно з окремими чергами будівництва, без необхідності зміни цільового призначення земельної ділянки.

Об'єкти електропередачі можуть розміщуватися на земельних ділянках усіх категорій земель без внесення змін до їх цільового призначення. У випадках, коли для будівництва енергетичних об'єктів необхідне відчуження земельних ділянок приватної власності, таке відчуження здійснюється на умовах і в порядку, визначеному Законом України «Про відчуження земельних ділянок... для суспільних потреб чи з мотивів суспільної необхідності» (№ 1559-VI, редакція від 25.03.2018).

Місця розташування енергогенеруючих підприємств та інших виробничих об'єктів енергетики, у разі потреби вилучення чи викупу земель державної або комунальної власності, підлягають обов'язковому погодженню з власниками або користувачами земельних ділянок, а також з органами державної влади чи місцевого самоврядування, до повноважень яких належить прийняття рішень щодо вилучення таких земель.

Погодження розміщення об'єктів магістральних та місцевих електричних мереж здійснюється відповідними сільськими, селищними та міськими радами або місцевими державними адміністраціями. У визначених законом випадках погодження здійснює Кабінет Міністрів України.

Конфігурація та площа земельних ділянок, що надаються для розміщення трансформаторних підстанцій, розподільних пунктів, струмопроводів та інших об'єктів електричних мереж, визначаються на основі проектної документації на їх будівництво.

Важливим напрямом правового регулювання є забезпечення інвестиційних стимулів для суб'єктів, що здійснюють діяльність у сфері сонячної енергетики. До системи таких стимулів належать норми Податкового кодексу України [17] та Митного кодексу України [18]. З метою активізації інвестицій у відновлювану енергетику законодавство передбачає низку податкових преференцій. Зокрема, окремі категорії підприємств, що виробляють електроенергію з використанням сонячного випромінювання, можуть

отримувати знижені ставки плати за землю. Це особливо важливо у випадках, коли реалізація проєкту потребує значних земельних площ, характерних для промислових сонячних станцій. Крім того, податкові стимули включають звільнення від оподаткування прибутку, отриманого від основної діяльності підприємств у сфері сонячної енергетики, а також звільнення від ПДВ при імпорті обладнання, устаткування та матеріалів, що використовуються для виробництва електроенергії з сонячних ресурсів. Митні пільги, у свою чергу, передбачають звільнення від сплати ввізного мита на відповідні категорії товарів, що значно здешевлює будівництво нових сонячних електростанцій та сприяє модернізації вже існуючих.

Земельні аспекти також відіграють важливу роль у реалізації податкових стимулів. Для отримання пільг необхідна чітка ідентифікація земельної ділянки, її правового статусу та відповідності критеріям, встановленим у законодавстві. Статті Земельного кодексу, що визначають порядок оренди та передачі земельної ділянки інвестору, є ключовими для забезпечення стабільності інвестиційного процесу. Належно оформлені земельні правовідносини, включно з договорами оренди, державними актами на землю та реєстрацією прав, мінімізують ризики та сприяють залученню капіталу в галузь.

Окремої уваги заслуговують зміни, внесені у 2015 році Законом України «Про внесення змін до деяких законів України щодо забезпечення конкурентних умов виробництва електроенергії з альтернативних джерел енергії». Цим актом було уточнено права побутових споживачів, які прагнуть встановити в приватних домогосподарствах генеруючі установки на основі альтернативних джерел енергії. Щодо сонячної енергетики, закон визначив, що максимально допустима потужність установок, які можуть бути встановлені домогосподарствами для продажу надлишків електроенергії за «зеленим тарифом», не повинна перевищувати 30 кВт [19]. Це положення стало ключовим чинником для розвитку сектору малої сонячної генерації, що суттєво

змінити структуру ринку й сприяло формуванню моделі децентралізованого виробництва.

У контексті земельного законодавства такі домогосподарства зобов'язані використовувати земельні ділянки відповідно до їх цільового призначення. Для розміщення дахових чи невеликих наземних СЕС землі можуть залишатися в категорії земель для індивідуального житлового будівництва або ведення особистого селянського господарства, що значно спрощує процедури й не потребує зміни категорії земель. У випадку будівництва наземних станцій більшої потужності процедури можуть включати зміну цільового призначення, розробку землепорядної документації та погодження з органами місцевого самоврядування. На рисунку 1.1 представлено нормативно-правове регулювання розвитку сонячної енергетики в Україні



1.1 Нормативно-правове регулювання розвитку сонячної енергетики в Україні

Сонячна енергетика – сектор відновлювальної енергетики, заснований на безпосередньому перетворенні прямого сонячного випромінювання в теплову та електричну енергію. Сонячні установки, які генерують електроенергію, не створюють парникового ефекту і не виробляють шкідливих відходів, тому вважаються відносно екологічно чистими [3]. Порівняно вища екологічність

сонячної енергетики є одним із тих факторів, що стимулюють розвиток цієї галузі. Одним із перших базових нормативних актів, що був спрямований на регулювання суспільних відносин у зазначеній сфері став ЗУ «Про енергозбереження» від 1 липня 1994 р. [4]. Цей Закон визначив систему правових, економічних, соціальних та екологічних основ енергозбереження для всіх суб'єктів господарювання, розташованих на території України, а також для громадян. Норми Закону визначили енергозбереження як такий вид діяльності, що спрямований на раціональне використання й бережливе витрачання первинної та перетвореної енергії та природних енергетичних ресурсів. Цінним стало те, що акцент було зроблено на стимулюванні розвитку «нетрадиційних та поновлювальних джерел енергії», під якими розуміються джерела, що постійно існують або періодично з'являються в навколишньому природному середовищі у вигляді потоків енергії Сонця, вітру, тепла Землі, енергії морів, океанів, річок, біомаси. А вже у наступному році після прийняття Закону, згідно з Указом Президента України від 6 жовтня 1995 р., було утворено Державний комітет України з енергозбереження, на який покладено координацію проведення робіт із розвитку та використання нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії, в тому числі сонячної [5]. Слід зазначити, що у 1997 р. було затверджено кілька нормативно-правових актів, які стосувалися розвитку альтернативної енергетики, в тому числі сонячної. Так, подальшому розвитку енергетичної генерації з використанням сонячної енергії сприяло прийняття ЗУ «Про електроенергетику» від 16.10.1997 р., який визначив правові, економічні та організаційні засади діяльності в електроенергетиці. Норми цього Закону спрямовані на регулювання відносин, пов'язаних із виробництвом, передачею, розподілом, постачанням і використанням енергії, забезпеченням енергетичної безпеки України, конкуренцією та захистом прав споживачів і працівників галузі [6]. У ньому було наведено головні принципи функціонування об'єктів відновлювальної енергетики, визначено зони відповідальності за виплати та гарантії, структуру формування «зеленого тарифу», роботи, пов'язані з розвитком і використанням нетрадиційних поновлюваних джерел енергії,

вторинних енергетичних ресурсів, процесів заміщення дефіцитних видів палива, визначено пріоритетні напрями екологічно чистої енергетики і створення нових джерел енергії та видів палива. Надалі відповідно до ч. 6 ст. 15 цього Закону, постановою КМ України від 24 липня 2013 р. № 771 було затверджено «Порядок видачі, використання та припинення дії гарантії походження електричної енергії для суб'єктів господарювання, що виробляють електричну енергію з альтернативних джерел енергії». Отже, на запит виробника електричної енергії видається спеціальний електронний документ (гарантія), який підтверджує, що частка або визначена кількість електричної енергії вироблена в Україні з альтернативних джерел енергії. Гарантія видається Держенергоефективності на обсяг відпущеної в електричну мережу електричної енергії за операційний період для кожної установки окремо та на кожен вид альтернативного джерела енергії і містить дані про вид альтернативного джерела енергії, з якого була вироблена електрична енергія, дату видачі, місце розміщення установки для виробництва електричної енергії та кількість виробленої електричної енергії за операційний період, яка зазначається з точністю до 1 МВт. Залишкові кВт•г переносяться на наступний операційний період. Гарантія дійсна протягом 12 місяців із дня її видачі [9]. На підтримку розвитку сонячної енергетики та забезпечення загалом енергозбереження урядовими постановами було схвалено Комплексну державну програму енергозбереження України від 5 лютого 1997 р. [11], а також Програму державної підтримки розвитку нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії та малої гідро- і теплоенергетики від 31 грудня 1997 р. [14]. Зокрема, в останній сформульовані найперспективніші напрями використання сонячної енергії, а саме: безпосереднє перетворення на низькопотенціальну теплову енергію без попередньої концентрації потоку сонячної радіації для гарячого водопостачання, тепlopостачання і потреб сільського господарства; безпосереднє перетворення на електричну енергію постійного струму за допомогою фотоперетворювачів тощо. Проте ці документи не відіграли суттєвої ролі в розвитку сонячної енергетики через

абстрактність їхніх положень. Безумовно, особлива роль у розвитку сонячної енергетики, як і загалом альтернативної енергетики, належить ЗУ «Про альтернативні джерела енергії» від 20 лютого 2003 р. Цим законом було закріплено правові, економічні, екологічні та організаційні аспекти використання альтернативних джерел енергії та сприяння розширенню їх використання в паливно-енергетичному комплексі. Згідно із цим Законом сонячна енергія поряд з іншими джерелами енергії (вітровою, геотермальною, енергією хвиль та припливів, гідроенергією, енергією біомаси тощо) визначена як відновлюване джерело енергії [15].

Таким чином, розвиток сонячної енергетики в Україні ґрунтується на поєднанні енергетичного, податкового, митного та земельного законодавства. Від ефективної взаємодії цих нормативних систем залежить реальна можливість розміщення нових сонячних електростанцій, формування сприятливого інвестиційного клімату та забезпечення раціонального використання земельних ресурсів відповідно до принципів сталого розвитку.

Становлення законодавства України у сфері сонячної енергетики відбувалося в межах ширшої системи правового регулювання альтернативної енергетики. Хоча протягом останніх років було ухвалено значну кількість нормативно-правових актів, що стосуються використання відновлюваних джерел енергії, правове регулювання відносин, пов'язаних із сонячною енергетикою, усе ще залишається непослідовним та фрагментарним. Така ситуація ускладнює планування, інвестування та практичну реалізацію проєктів у цій сфері, а також породжує правову невизначеність для суб'єктів господарювання та місцевих громад.

Попри те, що сонячна енергія визначена в Україні як одне з пріоритетних відновлюваних джерел енергії, державна підтримка розвитку галузі носить здебільшого декларативний характер. У низці випадків законодавчі зміни мали ретроспективне спрямування, що негативно впливало на інвестиційне середовище та довіру з боку бізнесу. Відсутність спеціального профільного закону про сонячну енергетику зумовлює те, що правове регулювання

здійснюється через загальні норми законодавства про альтернативні джерела енергії. Це створює прогалини у питаннях державної політики, технічних вимог, процедур підключення, механізмів стимулювання та просторового планування у сфері будівництва сонячних електростанцій.

Особливої уваги потребує взаємозв'язок законодавства про сонячну енергетику із земельним законодавством, оскільки будь-яка діяльність, пов'язана з розміщенням генеруючих потужностей, здійснюється на конкретних земельних ділянках. Відповідно до Земельного кодексу України, землі, на яких планується будівництво сонячних електростанцій, мають належати до відповідної категорії та мати відповідне цільове призначення. Найчастіше такі об'єкти розміщуються на землях промисловості, енергетики та транспорту. Проте в окремих випадках допускається зміна цільового призначення земель сільськогосподарського чи громадського використання, що передбачено статтями 20 та 21 Земельного кодексу України.

На практиці саме земельні питання стають одним із ключових бар'єрів для розвитку сонячної енергетики. Процедури відведення земельних ділянок, їх формування, встановлення меж, державна реєстрація прав, погодження з органами місцевого самоврядування та обмеження у використанні можуть тривати тривалий час і вимагати значних адміністративних витрат. Крім того, законодавство передбачає ряд обмежень щодо використання земель, у тому числі охоронні зони, санітарно-захисні території, землі природоохоронного фонду та інші категорії земель, на яких розміщення промислових сонячних електростанцій є ускладненим або взагалі забороненим.

Неврегульованість спеціальних норм щодо використання земель під об'єкти сонячної енергетики призводить до неоднакової практики їх відведення в різних регіонах країни. Нерідко інвестори змушені використовувати механізми оренди через земельні аукціони або встановлювати земельні сервітути для розміщення інженерних мереж і ліній електропередач. Порядок встановлення сервітутів, обмежень та обтяжень регулюється статтями 98–101 Земельного кодексу, які передбачають можливість використання частини чужої

земельної ділянки для прокладання кабельних мереж чи доступу до енергооб'єктів. Але відсутність спеціальних норм щодо енергетичних сервітутів для об'єктів відновлюваної енергетики також створює правову невизначеність.

Варто зазначити, що питання комплексного розвитку сонячної енергетики тісно пов'язане з потребою у просторовому плануванні. Відповідно до Закону України «Про регулювання містобудівної діяльності», території для розміщення об'єктів енергетики повинні визначатися у схемах планування територій громад, областей та держави. Однак на практиці ці документи не завжди містять детальні відомості про можливість розміщення відновлювальних джерел енергії, що створює труднощі у виборі земельної ділянки та ускладнює прийняття рішень органами місцевої влади.

З огляду на зазначене, в Україні є потреба у розробці спеціального законодавчого акта, який би системно врегульовував питання розвитку саме сонячної енергетики. Такий закон повинен включати чіткі положення щодо процедур надання земельних ділянок, порядку зміни цільового призначення земель, регулювання сервітутів, технічних і екологічних вимог, а також інтегрувати стандарти Європейського Союзу у сфері просторового планування, екологічної оцінки та енергетичного регулювання. Важливим елементом державної політики має стати також прийняття окремих програм та стратегій розвитку сонячної енергетики на національному та регіональному рівнях. Такі документи повинні враховувати сонячний потенціал України та її окремих регіонів, визначати земельні ресурси, придатні для реалізації проєктів, і містити механізми ефективного управління цими територіями.

У результаті вдосконалення правового регулювання та інтеграції земельного й енергетичного законодавства можливим стане формування прозорого та передбачуваного ринку сонячної енергетики в Україні, що забезпечить раціональне використання земельних ресурсів, сприятиме залученню інвестицій і підвищить конкурентоздатність країни у сфері відновлюваної енергетики.

1.4 Роль геоінформаційних систем у просторовому аналізі придатності земель

Геоінформаційні системи (ГІС) відіграють ключову роль у процесі просторового аналізу територій, придатних для розміщення сонячних електростанцій (СЕС). Оскільки ефективність роботи сонячних енергетичних об'єктів залежить від великої кількості природних, технічних, екологічних та правових чинників, використання ГІС-технологій дозволяє здійснити комплексну, просторово обґрунтовану оцінку земельних ресурсів та забезпечити високий рівень точності прийняття рішень у сфері планування відновлювальної енергетики.

В основі застосування ГІС у сонячній енергетиці лежить можливість інтеграції різнорідних даних у єдине інформаційне середовище. До таких даних належать показники сонячної інсоляції, рельєф місцевості, характер землекористування, близькість до інженерної інфраструктури, земельно-правовий статус територій, природоохоронні обмеження, екологічні фактори та інші параметри, які впливають на придатність ділянки. За допомогою ГІС забезпечується зіставлення цих показників у просторі, що дозволяє формувати карти потенціалу сонячної енергії, ідентифікувати найперспективніші території та проводити багатокритеріальний аналіз.

Однією з найважливіших можливостей ГІС є аналіз рельєфу. Використовуючи цифрові моделі висот, можна моделювати вплив експозиції схилів, визначати оптимальні зони освітленості, аналізувати тіньові ефекти та сезонні зміни інсоляції. Це дає змогу достовірно прогнозувати ефективність майбутніх сонячних установок. У регіонах зі складним рельєфом такі дослідження є критично важливими, оскільки навіть незначні зміни нахилу поверхні можуть суттєво впливати на річний виробіток електроенергії.

ГІС-технології також дозволяють проводити детальний аналіз інфраструктурної доступності земельних ділянок. За допомогою просторового моделювання визначаються відстані до ліній електропередач, підстанцій, доріг,

населених пунктів. Це дає змогу оцінити масштаби інженерних робіт, вартість будівництва та технічну можливість приєднання до енергосистеми. Фактор доступу до мереж є одним з найвагоміших економічних елементів, тому його об'єктивне картографічне відображення є важливою умовою для прийняття інвестиційних рішень.

Не менш суттєвою є роль ГІС у врахуванні земельно-правових аспектів. Оскільки питання цільового призначення земель, прав власності та існуючих обтяжень регулюються нормами Земельного кодексу України, ГІС дозволяє поєднати дані державного земельного кадастру з іншими просторовими ресурсами. Це дає можливість визначити, чи відповідає ділянка встановленим вимогам для будівництва об'єктів енергетики, чи підлягає вона обмеженням природоохоронного, містобудівного або сервітутного характеру. Просторове поєднання кадастрових планів, охоронних зон, ґрунтових ресурсів і територій спеціального використання значно підвищує правову точність оцінки придатності земель.

Важливим функціональним елементом ГІС є можливість здійснення багатокритеріального аналізу. За допомогою методів вагового ранжування (QGIS, MultiSpec тощо) можна оцінювати придатність земель з урахуванням одночасного впливу кількох критеріїв: природних, технічних, правових, екологічних та соціально-економічних. Це забезпечує об'єктивність та комплексність прийняття рішень, мінімізує ризики помилкових інвестицій та дозволяє сформувати прозору методологію відбору територій.

Представлена модель на рисунку 1.2 ілюструє взаємодію основних програмних інструментів, що використовуються для оброблення, зберігання та аналізу геопросторових даних у контексті дослідження придатності земель за допомогою геоінформаційних систем. Вона відображає послідовність і взаємозв'язок між трьома ключовими компонентами: програмним забезпеченням MultiSpec, геоінформаційною системою QGIS та базою даних PostgreSQL із просторовим розширенням PostGIS.

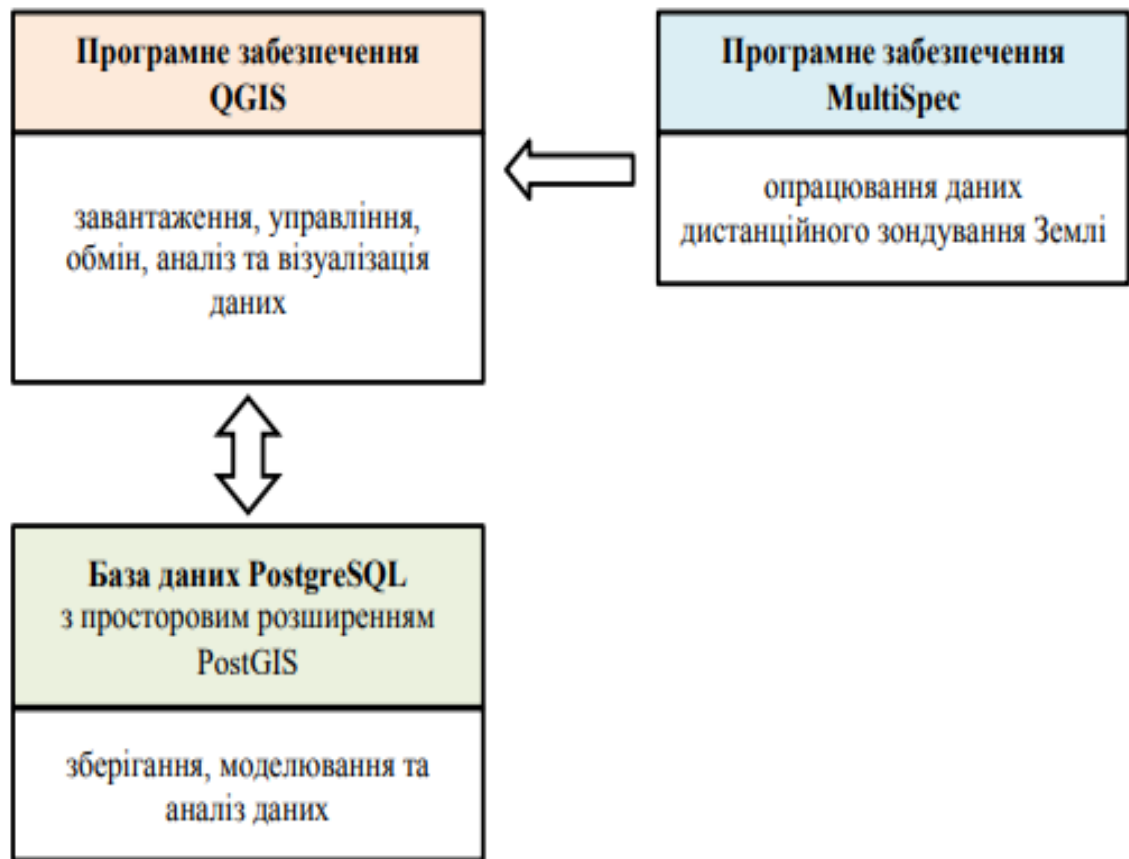


Рисунок 1.2 Модель використання програмного забезпечення

У правій частині моделі подано програмне забезпечення MultiSpec, призначене для опрацювання даних дистанційного зондування Землі. Саме на цьому етапі здійснюється первинна обробка супутникових зображень, включаючи корекцію, класифікацію та виділення тематичних шарів, необхідних для подальшого просторового аналізу.

Центральним елементом схеми є база даних PostgreSQL з розширенням PostGIS, яка виконує функції зберігання, моделювання та аналітичної обробки геопросторових даних. PostGIS забезпечує можливість виконання складних просторових запитів, інтеграції різних типів векторних та растрових даних, а також підтримує формування структурованих геобаз даних, необхідних для подальших досліджень.

У верхній лівій частині розташоване програмне забезпечення QGIS, яке забезпечує завантаження, управління, обмін, візуалізацію та просторовий аналіз даних. QGIS виступає інтерфейсом для користувача, де результати, отримані з

MultiSpec та PostGIS, поєднуються та аналізуються у вигляді картографічних шарів, моделей і аналітичних поверхонь.

Двосторонні стрілки між QGIS та PostgreSQL/PostGIS демонструють взаємний обмін даними: QGIS використовує дані, що зберігаються у базі, для аналізу та візуалізації, а результати просторових операцій та оновлені дані можуть зберігатися назад у PostGIS. Стрілка між MultiSpec та QGIS показує процес передавання оброблених матеріалів дистанційного зондування до середовища ГІС для подальшої інтеграції з іншими просторовими шарами.

Дана модель демонструє комплексний технологічний цикл роботи з геопросторовою інформацією: від оброблення супутникових даних до їх зберігання у спеціалізованих геобазах даних та проведення всебічного просторового аналізу у ГІС-середовищі. Така інтегрована система забезпечує високу точність, надійність та ефективність аналізу територій для подальшого використання в дослідженнях, плануванні чи управлінні земельними ресурсами.

Геоінформаційні системи є невід’ємним інструментом комплексного просторового аналізу, що забезпечує високий рівень точності, наукову обґрунтованість і юридичну відповідність процесу планування сонячних електростанцій. Їх використання дозволяє оптимізувати землекористування, підвищувати ефективність інвестиційних рішень, зменшувати ризики та забезпечувати раціональне управління земельними ресурсами відповідно до чинного законодавства України.

РОЗДІЛ 2. ВИХІДНІ ДАНІ ТА МЕТОДОЛОГІЯ ГІС-АНАЛІЗУ

2.1. Характеристика досліджуваної території для розміщення сонячних електростанцій

Закарпатська область розташована на крайньому заході України та межує одразу з чотирма державами – Польщею, Словаччиною, Угорщиною та Румунією. Така прикордонна позиція визначає важливу роль регіону в транскордонному співробітництві, у тому числі у сфері розвитку відновлюваної енергетики. Територія області поєднує гірську частину Українських Карпат та Закарпатську низовину, що зумовлює значну просторову диференціацію природних умов, густоти населення та структури землекористування.

Клімат Закарпаття загалом помірно-континентальний із м'якою зимою та відносно теплим літом, проте істотно відрізняється між гірською та низинною зонами. У гірській частині переважає підвищена хмарність та значні опади, що обмежує тривалість сонячного сяйва. Саме через поєднання підвищеної зволоженості, частих туманів і складного рельєфу окремі дослідження відносять Закарпатську область до регіонів із відносно менш сприятливими кліматичними умовами для великомасштабної сонячної генерації порівняно з південними та центральними областями України.

Водночас для низинної частини області, насамперед, Берегівського та Мукачівського районів, характерні кращі умови інсоляції та відносно рівнинний рельєф. За результатами регіональних оцінок, сумарна річна сонячна радіація в Закарпатській області становить орієнтовно 1150 кВт·год/м², а технічно досяжний потенціал сонячної енергетики оцінюється в понад 1,7 ГВт встановленої потужності. Це створює передумови для розміщення як промислових наземних сонячних електростанцій, так і малої децентралізованої генерації на покрівлях та присадибних ділянках.

Земельний фонд області характеризується значною часткою лісових і гірських територій, які обмежено придатні для розміщення великих наземних СЕС. Натомість на Закарпатській низовині поширені сільськогосподарські угіддя різної якості, землі промисловості та транспорту, а також вільні території в межах колишніх виробничих зон. Саме такі ділянки найчастіше

розглядаються як потенційні майданчики для будівництва сонячних електростанцій. Вибір конкретних ділянок при цьому має здійснюватися з урахуванням вимог земельного законодавства щодо категорії земель, цільового призначення, наявних обмежень та охоронних зон.

Показовим прикладом практичного використання сонячного потенціалу регіону є наземна сонячна електростанція PV Plant Shalanky 1, розташована у Берегівському районі, поблизу села Шаланки. Це промислова фотоелектрична станція, введена в експлуатацію у 2019 році. Встановлена потужність електростанції становить близько 6,24 МВт (DC), оператором є товариство з обмеженою відповідальністю «Солар Лайт» (Solar Layt). Станція працює за «зеленим» тарифом, ліцензія на виробництво електроенергії отримана в жовтні 2019 року

Місце розміщення СЕС «Шаланки» характеризується рівнинним рельєфом Закарпатської низовини та відносно відкритим горизонтом, що зменшує вплив затінення від навколишніх об'єктів. Територія використовується як наземний масив із розташуванням фотоелектричних модулів у кількох рядах, що забезпечує раціональне використання площі та дає змогу оптимізувати кут нахилу панелей для максимального поглинання сонячної енергії. Вибір ділянки зумовлений також близькістю до існуючих ліній електропередач і трансформаторних підстанцій, що зменшує витрати на приєднання до мережі та підвищує економічну доцільність проєкту.

Земельна ділянка для розміщення електростанції належить до земель енергетики відповідно до Закону України «Про землі енергетики та правовий режим спеціальних зон енергетичних об'єктів» і використовується на підставі відповідних рішень органів місцевого самоврядування та договорів користування згідно з вимогами Земельного кодексу України. Для функціонування станції забезпечено доступ до земель під місцевими електромережами, що дозволяє передавати вироблену електроенергію до енергосистеми без зміни цільового призначення прилеглих ділянок, де розміщені лінії електропередачі та об'єкти мережевої інфраструктури.



Рисунок 2.1 Сонячна електростанція в с. Шаланки

Важливо підкреслити, що розміщення СЕС «Шаланки» рисунок 2.1 відображає загальні підходи до використання територій у Закарпатській області для потреб сонячної енергетики. На фото видно масив наземних сонячних панелей, розташованих на відкритій ділянці з рівнинним рельєфом — що відповідає вимогам до майданчику для максимальної інсоляції та мінімального затінення. Схема розташування панелей — в рядах, із систематизованим простором між ними, що дозволяє оптимізувати кут нахилу та забезпечити рівномірне сонячне освітлення. Видно, що майданчик має достатню площу; це підтверджує інформацію, що СЕС займає значну ділянку землі.

З одного боку, гірський характер значної частини регіону та підвищена хмарність обмежують кількість потенційних майданчиків для великих наземних станцій. З іншого боку, на низинних ділянках із розвинутою інфраструктурою існують реальні можливості для створення енергетичних кластерів, які поєднують промислові та малі сонячні електростанції, що працюють на «зеленому» тарифі або в режимі власного споживання.

Досліджувана територія Закарпатської області характеризується поєднанням природних та інфраструктурних чинників, які водночас і обмежують, і відкривають можливості для розвитку сонячної енергетики. Приклад реальної сонячної електростанції поблизу с. Шаланки демонструє, що за умови правильного вибору ділянки, врахування рельєфу, інсоляційних характеристик та вимог земельного законодавства, навіть регіони зі складними кліматичними умовами можуть успішно інтегруватися в загальноукраїнський простір відновлюваної енергетики.

2.2 Технологія вибору земельних ділянок для оптимального розташування наземних сонячних електростанцій

Для розміщення об'єктів альтернативної енергетики передусім розглядаються земельні ділянки, що є непридатними або малоефективними для ведення сільського господарства чи іншої господарської діяльності. До оптимальних для відведення територій належать землі з високим рівнем заболоченості, вираженими процесами ерозії, пошкоджені внаслідок попереднього промислового використання та інші деградовані ділянки.

Органи обласного, районного рівня та об'єднані територіальні громади, володіючи даними про наявність таких земель у межах своєї юрисдикції, можуть ухвалювати рішення щодо їх раціонального використання. Зокрема, вони мають можливість передавати їх під будівництво промислових сонячних або вітрових електростанцій, а також для вирощування рослинної сировини, призначеної для біоенергетичних підприємств. На початковому етапі підготовки території обов'язково розробляється проект містобудівної документації, у якому визначаються:

- просторово-планувальна структура території та базові параметри її забудови;
- функціональне призначення земельної ділянки або групи ділянок;
- планувальні обмеження щодо використання території для розміщення вітрової чи сонячної електростанції за межами населених пунктів.

Будівництво промислових енергетичних об'єктів на основі відновлюваних джерел на земельних ділянках, непридатних для сільськогосподарського виробництва, розглядається як складова програм соціально-економічного розвитку територій, підпорядкованих ОТГ. Належне планування та реалізація таких програм забезпечує для громад низку важливих переваг, серед яких:

- надходження податкових платежів, що в майбутньому спрямовуються на покращення соціально-економічної ситуації;
- створення нових робочих місць на етапах спорудження та експлуатації енергетичних об'єктів;
- підвищення рівня раціонального використання природних ресурсів.

Нормативно-правове підґрунтя підготовки земельної ділянки для об'єктів енергетики включає такі акти:

- Земельний кодекс України;
- Закон України «Про землі енергетики та правовий режим спеціальних зон енергетичних об'єктів»;
- Закон України «Про відчуження земельних ділянок, інших об'єктів нерухомого майна... для суспільних потреб»;
- Постанова Кабінету Міністрів України від 26.01.2022 №49 «Про затвердження типової форми договору про встановлення земельного сервітуту для розміщення об'єктів енергетики...».

Землі державної та комунальної власності можуть передаватися у власність або користування (у тому числі на умовах оренди чи сервітуту) для потреб енергетики згідно з рішеннями відповідних органів виконавчої влади або місцевого самоврядування. Відповідно до п. «ж» ч. 1 ст. 19 Земельного кодексу України, на землях промисловості, транспорту, енергетики та іншого спеціального призначення дозволяється розміщувати об'єкти відновлюваної енергетики — незалежно від актуального цільового призначення ділянки.

Результатом оформлення території під розміщення промислових СЕС і ВЕС є формування повного пакета документів, до якого входять:

- документи, що підтверджують право власності або користування земельною ділянкою (витяг з Державного реєстру речових прав);
- відповідність ділянки цільовому призначенню 14.01 — «для розміщення, будівництва та обслуговування об'єктів енергогенеруючих підприємств»; при цьому територія не повинна належати до земель сільськогосподарського призначення, лісового чи водного фонду або територій з природоохоронним чи історико-культурним статусом;
- рішення районної державної адміністрації або обласного управління Держгеокадастру щодо розроблення плану відведення земельної ділянки; типовим механізмом є підготовка та затвердження проєкту землеустрою;
- погоджений детальний план території, який надає юридичне право на використання ділянки за визначеним призначенням;
- затверджений проєкт землеустрою відповідно до ст. 50 Закону України «Про землеустрій»; розміщення об'єктів має відповідати генеральному плану населеного пункту, у разі невідповідності передбачена процедура внесення змін до містобудівної документації;
- корпоративні документи з технічними умовами та договором приєднання з відповідним Обленерго;
- договір РРА (Power Purchase Agreement) з ДП «Гарантований покупець»;
- документи з інженерно-геологічних вишукувань (розрізи, фізико-механічні властивості ґрунтів, рівень ґрунтових вод тощо);
- документація з інженерно-геодезичних вишукувань (топографічні матеріали, планувальні характеристики рельєфу).

Набути у власність або оренду земельну ділянку для будівництва СЕС чи ВЕС можна за умови схвалення загальними зборами мешканців прилеглих населених пунктів. Додатково необхідно отримати відповідні погодження від органів землеустрою та департаменту охорони культурної спадщини місцевої адміністрації.

Вибір земельних ділянок для розташування наземних сонячних електростанцій (СЕС) є ключовим етапом планування. Якість прийнятого

рішення впливає на продуктивність, економічну ефективність та вартість будівництва. Детальна схема технологічного процесу представлена на рисунку 2.2.



Рисунок 2.2 – Загальна послідовність вибору земельної ділянки для СЕС

Таблиця 2.3 – Природні критерії придатності земель для СЕС

№	Етап	Зміст / результат
1	Попередній аналіз	Формування цілей та критеріїв
2	Збір ГІС-даних	Отримання просторових та атрибутивних даних
3	Природний аналіз	Оцінка природних умов і факторів
4	Технічні умови	Перевірка інженерної придатності
5	Екологічні обмеження	Врахування зон обмежень і ризиків
6	Економічна оцінка	Порівняння витрат та ефективності

Отримані за допомогою багатокритеріального аналізу дані дозволяють здійснити ранжування потенційних земельних ділянок за інтегральним індексом придатності. Значення індексу варіює від 0 до 1, де показник 0,75–1,00 вказує на високий рівень придатності, 0,50–0,75 — на середній рівень, а значення нижче 0,50 характеризують території як низькопридатні або неприйнятні для розміщення СЕС.

Таким чином, застосування системного підходу з використанням ГІС, супутникових даних та МСЕ-методів дозволяє об'єктивно порівнювати альтернативні ділянки та формувати науково обґрунтовані рекомендації щодо оптимального місця розташування сонячної електростанції. Дотримання описаної технології мінімізує інвестиційні ризики, підвищує точність прогнозів енергетичної продуктивності та забезпечує сталий розвиток відновлюваної енергетики.

На основі вищезгаданого землі для наземних сонячних електростанцій визначено потенційні найбільш придатні земельні ділянки для розташування наземних сонячних електростанцій. Їх отримують шляхом аналізу та порівняння кластерів зелених пікселів з реальним зображенням місцевості (завантажують у проект Google Satellite Map). Знаходять обрані земельні ділянки на Публічній кадастровій карті та звіряють цільове призначення, тип ґрунту.

РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ОЦІНКИ ПРИДАТНОСТІ ТЕРИТОРІЇ

3.1 Карта інтегральної придатності території

Інтегральна оцінка придатності території для розміщення наземної сонячної електростанції є ключовим аналітичним етапом у процесі вибору інвестиційно придатних земельних ділянок. Цей підхід забезпечує узагальнення великого масиву різномірних даних у єдину системну структуру, що дозволяє об'єктивно визначити переваги та обмеження конкретних територій. Для проведення оцінки було застосовано методи багатокритеріального аналізу (MCE) із використанням геоінформаційних систем, що забезпечують комплексну просторову інтеграцію інформації. Основними критеріями, включеними до моделі, стали: інсоляційний потенціал, морфометричні характеристики рельєфу, технічна доступність, екологічні та містобудівні обмеження, а також економічні показники можливого функціонування майбутньої СЕС.

Процес побудови інтегральної карти складався з кількох послідовних етапів: збирання вихідних геоданих, їх попередньої стандартизації, нормалізації та подальшого агрегування у межах моделі MCE. Одним із найважливіших етапів є присвоєння вагових коефіцієнтів. Їх визначення здійснювалося шляхом експертного опитування та аналізу попередніх досліджень ефективності розміщення об'єктів сонячної енергетики. Найвищу вагомість отримали такі критерії, як рівень інсоляції та технічна можливість підключення до мережі, оскільки саме вони визначають найсуттєвіші фінансові аспекти — виробіток енергії та капітальні витрати.

Після нормалізації даних було проведено обчислення інтегрального індексу придатності території за формулою, наведеною нижче. Ця формула забезпечує зважене підсумовування внеску кожного критерію, що дозволяє отримати кількісну оцінку придатності для кожного просторового осередку досліджуваної території.

Формула (3.1) для обчислення інтегрального індексу має вигляд:

$$SI = \sum (Wi \times Xi) \text{ де:}$$

SI – інтегральний індекс придатності території;

Wi – ваговий коефіцієнт критерію;

Xi – нормоване значення відповідного критерію.

Отримані результати дали змогу сформувати карту інтегральної придатності території, що включає три основні класи зон: високопридатні, середньої придатності та низькопридатні. Високопридатні території виявилися переважно у ділянках із максимальною інсоляцією, сприятливими ухилами рельєфу, хорошою доступністю до транспортної інфраструктури та малою відстанню до існуючих електричних мереж. У свою чергу, непридатні зони часто співпадали з охоронними територіями, водоохоронними зонами, ділянками з надмірною крутизною схилів або з наявністю інших природоохоронних чи технічних обмежень.

Аналіз отриманої інтегральної карти показав, що придатність території суттєво відрізняється за своїм просторовим розподілом. Це підкреслює важливість використання геоінформаційних технологій, які дозволяють не лише обробити великі обсяги даних, але й відобразити їх у вигляді картографічних моделей. Просторова візуалізація результатів забезпечує можливість прийняття ефективних проєктних рішень, підвищує точність планування та знижує інвестиційні ризики.

Інтегральна карта має важливе практичне значення, оскільки вона дозволяє інвесторам, інженерам-проєктантам та представникам органів місцевого самоврядування швидко оцінити потенціал конкретних територій щодо будівництва СЕС. На її основі приймаються рішення щодо подальших геодезичних, геологічних та юридичних процедур. Завдяки чіткій градації значень SI стає можливим формування пріоритетних територій для детальнішого дослідження.

Також варто зазначити, що карта інтегральної придатності може бути використана для довгострокового стратегічного планування розвитку відновлюваної енергетики у межах територіальних громад чи областей. Це сприяє формуванню енергетичної незалежності регіонів, зниженню

навантаження на традиційні енергетичні системи та удосконаленню підходів до управління земельними ресурсами.

3.2 Виділення оптимальних майданчиків для розміщення СЕС

Сонячні електростанції мають численні переваги, які роблять їх привабливими як для окремих власників, так і для суспільства в цілому. Перш ніж ми розглянемо деталі вибору місця, давайте коротко оглянемо переваги сонячних електростанцій:

- **екологічність.** Сонячні електростанції генерують енергію без викидів парникових газів та інших забруднювачів, що сприяє збереженню навколишнього середовища;
- **економія грошей.** Встановлення сонячної електростанції дозволяє зменшити витрати на електроенергію і навіть отримувати прибуток від продажу надлишкової електроенергії;
- **незалежність від енергопостачальників.** Сонячні електростанції допомагають зменшити залежність від енергопостачальників та роблять вас менш вразливими до перебоїв у постачанні електроенергії;
- **довготривалість.** Сонячні панелі мають тривалий термін служби, що дозволяє їм продуктивно працювати протягом десятиліть.

Також великою перевагою є можливість податкових пільг. Багато країн надають податкові пільги та стимули для встановлення сонячних панелей, що може значно зменшити витрати на їхню покупку та встановлення.

Аналіз ландшафту та кліматичних умов є ключовим етапом у виборі оптимального місця для розташування сонячної електростанції. Цей аналіз допомагає визначити, чи має обрана територія достатньо потенціалу для ефективної роботи сонячних панелей. Нижче розглянуті основні фактори, які важливо враховувати при аналізі ландшафту та кліматичних умов для сонячних електростанцій.

Процес виділення оптимальних майданчиків для розміщення сонячних електростанцій є ключовим етапом територіального планування та формування

інфраструктури відновлюваної енергетики. Наукова обґрунтованість та точність підходів до визначення відповідних ділянок безпосередньо впливають на економічну ефективність майбутнього енергетичного проєкту. В умовах зростання попиту на альтернативну енергетику та обмеженість земельних ресурсів виникає потреба у застосуванні комплексних моделей оцінки, що враховують значну кількість природних, технічних, екологічних та правових чинників.

Первинний етап включає формування багат шарової інформаційної структури, що складається з геопросторових даних інсоляції, цифрових моделей рельєфу (ЦМР), топографічних карт, даних кадастру, карт екологічних обмежень та технічної інфраструктури. Кожен інформаційний шар утворює одну з підсистем оцінки придатності території. Після інтеграції даних проводиться попередній відбір територій, на яких відсутні критичні обмеження: природоохоронні зони, землі лісового фонду, ділянки історико-культурної спадщини або техногенно небезпечні території.

Окрему роль відіграють природні критерії, у тому числі річна сума сонячної радіації, кількість сонячних годин, ухили та експозиції рельєфу. Визначення цих параметрів дає змогу оцінити енергетичний потенціал території. Ділянки з інсоляцією понад 1300–1500 кВт·год/м² та ухилом поверхні до 5° вважаються найпридатнішими для розміщення великих сонячних електростанцій. Водночас території з вираженою ерозією, карстовими процесами або надмірним зволоженням виключаються через технічні ризики та підвищені витрати на підготовку ґрунтової основи.

В таблиці 3.1 представлено структуру багатокритеріальної оцінки територій, що використовується для визначення придатності земельних ділянок під розміщення сонячних електростанцій. Оцінювання ґрунтується на інтеграції природних, технічних, екологічних та економічних критеріїв, кожен з яких характеризує окремий аспект доцільності використання території. Такий підхід дозволяє врахувати різнотипні фактори та забезпечує об'єктивність порівняння альтернативних майданчиків.

Таблиця 3.1

Структура багатокритеріальної оцінки територій для розміщення СЕС

Природні критерії	Технічні критерії	Екологічні обмеження	Економічні критерії
Сонячна радіація, рельєф, ґрунти	ЛЕП, дороги, інфраструктура	Об'єкти природно-заповідного фонду, санітарні зони, водоохоронні зони	Витрати, рентабельність, інвестиції

Просторовий аналіз придатності територій для розміщення сонячних електростанцій у геоінформаційному середовищі відображає послідовність обробки просторових даних. Аналіз ґрунтується на використанні вхідної просторової інформації, її попередній нормалізації та зважуванні відповідно до визначених критеріїв. Подальше накладання інформаційних шарів забезпечує розрахунок інтегрального індексу придатності територій і формування картографічних матеріалів, що характеризують просторовий розподіл потенційних майданчиків для розміщення СЕС представлено на рисунку 3.1

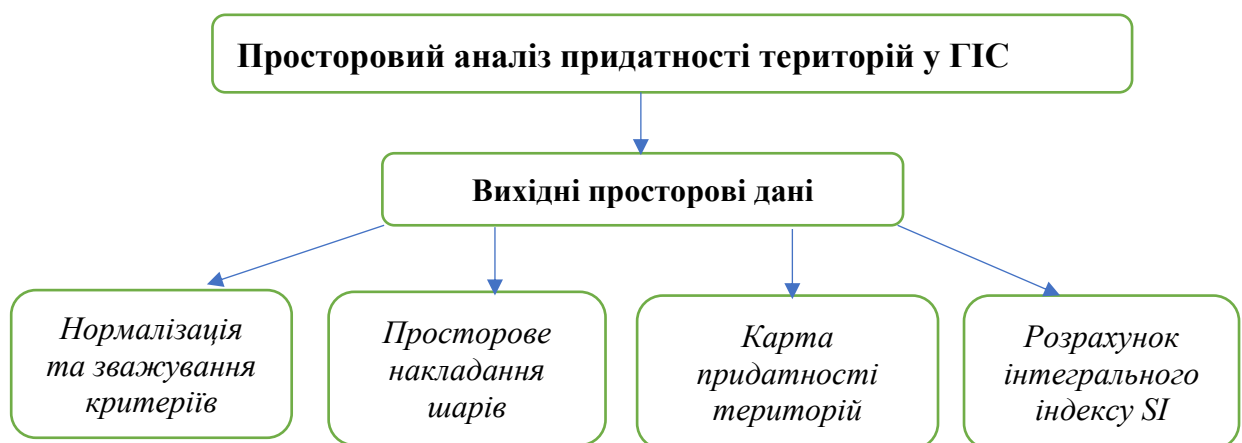


Рисунок 3.1 Просторовий аналіз придатності територій у ГІС

Класифікація земельних ділянок за інтегральним індексом придатності SI відображає результати багатокритеріального аналізу територій. Залежно від отриманих значень індексу всі ділянки групуються за рівнем придатності — від найбільш перспективних до таких, що є непридатними для розміщення сонячних електростанцій. Запропонований підхід забезпечує можливість

ранжування територій за ступенем доцільності їх використання, а також формує науково обґрунтовану основу для вибору оптимальних майданчиків з урахуванням технічних, економічних та екологічних вимог, що висуваються до об'єктів сонячної енергетики. В таблиці 3.2 подано класифікацію земельних ділянок за інтегральним індексом придатності SI.

Таблиця 3.2

Класифікація земельних ділянок за інтегральним індексом придатності SI

Інтервал SI	Клас ділянок
$SI \geq 0,75$	Найкращі
$0,50 \leq SI < 0,75$	Добрі
$0,25 \leq SI < 0,50$	Умовно придатні
$SI < 0,25$	Непридатні

Подана класифікація земельних ділянок за інтегральним індексом придатності SI відображає результати багатокритеріального аналізу територій з метою визначення доцільності їх використання для розміщення наземних сонячних електростанцій. Інтегральний індекс SI формується на основі поєднання природних, технічних, екологічних та економічних критеріїв і є узагальненим показником, що характеризує рівень відповідності конкретної ділянки встановленим вимогам.

Відповідно до значень інтегрального індексу всі земельні ділянки поділяються на чотири основні класи. До класу «Найкращі» віднесено ділянки зі значенням $SI \geq 0,75$. Такі території характеризуються найбільш сприятливим поєднанням усіх оціночних критеріїв, зокрема високим рівнем сонячної радіації, придатними рельєфними та ґрунтовими умовами, наявністю необхідної інженерної інфраструктури та відсутністю суттєвих екологічних обмежень. Використання таких ділянок для розміщення СЕС є найбільш доцільним з техніко-економічної точки зору, оскільки забезпечує високу продуктивність електростанцій та мінімальні витрати на реалізацію проєкту.

До класу «Добрі» належать земельні ділянки зі значенням інтегрального індексу в межах $0,50 \leq SI < 0,75$. Ці території загалом відповідають основним вимогам для розміщення сонячних електростанцій, однак можуть мати окремі

обмеження або менш сприятливі характеристики за окремими критеріями. Розміщення СЕС на таких ділянках є можливим і економічно виправданим, проте може потребувати додаткових технічних рішень або коригування проєктних параметрів.

Клас «Умовно придатні», що відповідає інтервалу значень $0,25 \leq SI < 0,50$, включає території з обмеженим рівнем придатності. Такі ділянки характеризуються наявністю кількох несприятливих факторів, наприклад складних рельєфних умов, обмеженої інфраструктурної доступності або підвищених екологічних вимог. Використання цих територій для розміщення СЕС можливе лише за умови впровадження додаткових інженерних, екологічних або економічних заходів, що може призвести до зростання загальної вартості проєкту.

До класу «Непридатні» віднесено ділянки зі значенням $SI < 0,25$. Такі території мають критичні обмеження, що унеможливають або роблять економічно недоцільним розміщення сонячних електростанцій. До них належать ділянки з низьким рівнем сонячної радіації, значними екологічними обмеженнями, несприятливими інженерно-геологічними умовами або відсутністю доступу до необхідної інфраструктури. Як правило, ці території виключаються з подальшого розгляду на ранніх етапах просторового аналізу.

Запропонована класифікація забезпечує наочне та обґрунтоване ранжування територій за ступенем придатності для розміщення сонячних електростанцій. Вона дозволяє систематизувати результати багатокритеріального аналізу, підвищити об'єктивність прийняття рішень та сформулювати науково обґрунтовану основу для вибору оптимальних майданчиків з урахуванням технічних, економічних та екологічних вимог.

4. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Охорона навколишнього середовища є одним із пріоритетних напрямів сталого розвитку сучасного суспільства та невід'ємною складовою планування і реалізації енергетичних проєктів. В умовах зростання антропогенного навантаження на природні екосистеми особливого значення набуває розвиток відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячної енергетики, як екологічно безпечної альтернативи традиційним способам генерації електроенергії.

Сонячні електростанції, на відміну від об'єктів теплової та атомної енергетики, не супроводжуються викидами парникових газів та інших шкідливих речовин у процесі експлуатації. Водночас розміщення і будівництво наземних сонячних електростанцій може призводити до локального впливу на навколишнє природне середовище, зокрема до порушення ґрунтового покриву, трансформації ландшафтів та зміни умов існування рослинного і тваринного світу. На етапі будівництва можливе зняття родючого шару ґрунту, його ущільнення та активізація ерозійних процесів. Механічний вплив на територію може спричиняти тимчасове зменшення біорізноманіття та фрагментацію природних екосистем. У період експлуатації сонячних електростанцій негативний вплив на атмосферне повітря є мінімальним, оскільки відсутні процеси згоряння палива, однак можливі непрямі впливи, пов'язані з технічним обслуговуванням обладнання та транспортною діяльністю.

Важливою складовою охорони навколишнього середовища при плануванні розміщення сонячних електростанцій є урахування екологічних обмежень. До таких обмежень належать об'єкти природно-заповідного фонду, водоохоронні зони, прибережні захисні смуги, санітарно-захисні зони та інші території з особливим режимом використання. Розміщення енергетичних об'єктів у межах таких територій є обмеженим або забороненим чинним законодавством, що обумовлює необхідність їх виключення з переліку потенційно придатних ділянок.

Застосування геоінформаційних систем та методів багатокритеріального аналізу забезпечує ефективне врахування екологічних факторів і дозволяє мінімізувати негативний вплив на довкілля. Інтеграція просторових даних про екологічні обмеження на етапі планування сприяє прийняттю науково обґрунтованих та екологічно безпечних рішень.

З метою зниження негативного впливу сонячних електростанцій необхідно впроваджувати комплекс природоохоронних заходів. До них належать вибір деградованих або малопродуктивних земель, збереження родючого шару ґрунту, проведення рекультивації після завершення будівельних робіт, а також постійний моніторинг стану довкілля у період експлуатації об'єкта. Особливу увагу слід приділяти поводженню з відходами та утилізації фотоелектричних модулів після завершення терміну їх експлуатації.

Розвиток сонячної енергетики має суттєві екологічні переваги та сприяє зменшенню антропогенного навантаження на навколишнє середовище. За умови науково обґрунтованого вибору майданчиків і дотримання екологічних вимог сонячні електростанції можуть стати важливим елементом сталого розвитку територій, забезпечуючи поєднання економічної ефективності та екологічної безпеки.

Висновки

У ході проведеного дослідження, спрямованого на оцінювання придатності територій для розміщення сонячних електростанцій та визначення економічної ефективності використання таких земель, було отримано комплексні результати, які дозволяють сформулювати науково обґрунтовані висновки щодо перспективності розвитку сонячної енергетики в межах аналізованих територій.

Перш за все, встановлено, що просторовий аналіз земельних ресурсів із застосуванням геоінформаційних технологій (ГІС) та методів багатокритеріального оцінювання дає змогу здійснити всебічну характеристику території та визначити її потенціал для подальшого енергетичного використання. Інтегральна карта придатності території, побудована у процесі дослідження, стала ключовим інструментом для комплексної оцінки земельних ділянок за набором критеріїв: інсоляційних характеристик, рельєфу, транспортної та інженерної доступності, наявності екологічних і містобудівних обмежень, правового статусу землі та економічної доцільності.

Аналіз переваг сонячної енергетики свідчить про її значний екологічний, економічний та соціальний потенціал, зокрема зниження негативного впливу на довкілля, підвищення енергетичної незалежності та довгострокову економічну доцільність інвестицій. Водночас ефективність реалізації таких проєктів значною мірою залежить від правильності вибору земельних ділянок.

У роботі обґрунтовано доцільність застосування геоінформаційних систем та методів багатокритеріального аналізу для виділення оптимальних майданчиків під розміщення сонячних електростанцій. Запропонований підхід базується на інтеграції природних, технічних, екологічних та економічних критеріїв, що дозволяє всебічно оцінити умови використання територій і мінімізувати суб'єктивність прийняття рішень. Формування багатоваріантної інформаційної структури та подальший просторовий аналіз забезпечують можливість об'єктивного порівняння альтернативних ділянок.

Використання інтегрального індексу придатності SI дало змогу здійснити класифікацію земельних ділянок за рівнем доцільності їх використання для розміщення СЕС. Запропоноване ранжування територій дозволяє чітко виділити найбільш перспективні ділянки, а також визначити території з обмеженим або неприйнятним рівнем придатності. Такий підхід створює науково обґрунтовану основу для прийняття просторових і інвестиційних рішень у сфері розвитку сонячної енергетики.

Загалом результати дослідження підтверджують ефективність комплексного ГІС-орієнтованого підходу до вибору майданчиків для розміщення сонячних електростанцій та його практичну значущість для територіального планування і розвитку відновлюваних джерел енергії.

Окремою складовою дослідження стало визначення екологічних, правових та соціальних обмежень, які безпосередньо впливають на можливість реалізації енергетичних проєктів. Встановлено, що певні території підлягають суворим вимогам природоохоронного законодавства — зокрема, землі водоохоронного фонду, природоохоронні території, зони охорони історико-культурної спадщини та охоронні зони інженерних комунікацій. Ці обмеження не лише забороняють будівництво, а й істотно ускладнюють процедури погоджень, впливаючи на часові та фінансові аспекти проєкту. Водночас території, що не мають таких обмежень, демонструють значно вищу інвестиційну привабливість.

Таким чином, результати дослідження дозволяють дійти висновку, що розміщення сонячних електростанцій на територіях, визначених як придатні на основі багатокритеріального аналізу, є економічно доцільним, енергетично ефективним і соціально корисним рішенням. Оптимально підібрані земельні ділянки забезпечують високу інтенсивність генерації електроенергії, зниження капітальних та експлуатаційних витрат і формування позитивного соціально-економічного ефекту. Застосування ГІС-технологій, моделей оцінки придатності територій та економічних методів аналізу дозволяє мінімізувати інвестиційні ризики та гарантує об'єктивність прийняття рішень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Безкоштовні геоінформаційні рішення QGIS и NextGIS. URL: <https://www.pvsm.ru/geoinformatsionny-e-servisy/242896>
2. Будівництво дахових сонячних електростанцій. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://avenston.com/solar/construction/roof-top/>
3. Вибір потужності сонячних батарей та кута нахилу панелей. СТЕМ – Інтелектуальні системи. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://sutem.com.ua/932alten.php>
4. Дюжев, В. Г. Роль комплексної соціально-економічної та природоохоронної оцінки потенціалу енергозберігаючих інновацій у підвищенні їх інноваційної сприйнятливості для підприємств та організацій України / В. Г. Дюжев, С. В. Сусликов // Вісник Національного політехнічного університету «Харківський політехнічний інститут». Технічний про-грес і ефективність виробництва. – 2008. – № 21.
5. Дорожня карта розвитку сонячної енергетики на період до 2020 року, (2016). Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України, Інститут відновлюваної енергетики НАН України. – Київ, 2016. [Електронний ресурс] - Режим доступу: <http://saee.gov.ua/uk/pressroom/1133>.
6. Дорош, О. С., Фоменко, В. А., Мельник, Д. М. Ключова роль землеустрою у плануванні розвитку системи землекористувань у межах територіальних громад. [Електронний ресурс] Землеустрій, кадастр і моніторинг земель, Випуск № 2, С. 22-32 - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Zemleustriy_2018_2_5.
7. Дорош, О. С. Методологічні засади формування інституціонального середовища територіального планування землекористування в Україні. [Електронний ресурс] Землеустрій, кадастр і моніторинг земель, Випуск № 1-2, С.13-18. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Zemleustriy_2013_1-2_4.

8. Електронний ресурс: <https://versii.cv.ua/aktsenti/pryvatna-sonyachna-elektrostantsiya-naskilkyytse-vygidno/46032.html>
9. Жесан Р.В. Автоматизація управління автономним енергопостачанням з використанням відновлюваних джерел енергії в умовах селянського (фермерського) господарства: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.13.07 / КДТУ. -Кіровоград, 2001. – 18 с.
10. Жесан Р.В. Автоматизація управління автономним енергопостачанням з використанням відновлюваних джерел енергії в умовах селянського (фермерського) господарства: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.13.07 / КДТУ. -Кіровоград, 2001. – 18 с.
11. Закон України "Про електроенергетику" [Прийнятий Верховною радою 16 жовтня 1997 року, зі змінами та доповненнями станом на 10 січня 2011 р.]Відомості Верховної Ради (ВВР), 1998, N 1, ст.1.
12. Зорін В.В. Електричні мережі та системи (окремі розділи): навчальний посібник для студентів вищ. техн. навч. закл / В.В. Зорін, Є.А. Штогрин, Р.О. Буйний – Ніжин: ТОВ «Видавництво «Аспект-поліграф», 2011. – 248 с.
13. Зорін В.В. Електричні мережі та системи (окремі розділи): навчальний посібник для студентів вищ. техн. навч. закл / В.В. Зорін, Є.А. Штогрин, Р.О. уйний – Ніжин: ТОВ «Видавництво «Аспект-поліграф», 2011. – 248 с.
14. Кереуш Д. І. Методологія ефективного використання земельних ресурсів для розвитку сонячної енергетики на основі дистанційного зондування Землі та ГІС-технологій: дис. д-ра філософії / Нац. ун-т. «Львівська Політехніка». Львів, 2019. 173 с. URL: <http://ena.lp.edu.ua:8080/handle/ntb/45641>.
15. Кириленко О.В. Технічні аспекти впровадження джерел розподільної генерації в електричних мережах / О.В. Кириленко, В.В. Павловський, Л.М. Лук`яненко // Технічна електродинаміка. – 2011. – №1. – 46-53 с.

16. Кудря С.О. та ін. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії України: НАН України; Ін-т електродинаміки та ін. Київ, 2001. 41 с
17. Ландшафти міста Чернівці/[В.М. Гуцуляк, М.В. Дутчак, О.В. Киналь та ін.] за ред. В.М. Гуцуляка-Чернівці: Рута, 2006.-168с.,
18. М. М. Кузьміна: Поняття та види енергії з альтернативних джерел. Вісник Національного університету «Юридична академія України імені Ярослава Мудрого». 2013. № 3 (14)
19. Міністерство енергетики та вугільної промисловості України. Проект оновленої «Енергетичної стратегії України на період до 2030 року». – Режим доступу: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/n0002120-1312>.
20. Методичні рекомендації для написання кваліфікаційної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти ОС «Магістр» за спеціальністю 193 Геодезія та землеустрій / Укл.: Колодій П., Таратула Р. – Львів, ЛНУП, 2023. – 33 с.
21. Про внесення змін до Закону України "Про електроенергетику" щодо стимулювання виробництва електроенергії з альтернативних джерел енергії: Закон України від 20.11.12-№5485-VI.//ВВР України від 06.11.
22. Сонячна енергетика: теорія та практика: монографія / Й. С. Мисак, О. Т. Возняк, О. С. Дацько, С. П. Шаповал ; М-во освіти і науки України, Нац. ун-т «Львів. політехніка». — Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2014. — 340 с.
23. Сусликов, С. В. Удосконалення методу прогнозування зміни вартості енергоресурсів у рамках розрахунку ефективності впровадження технологій геліоенергетики / С. В. Сусликов // Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит. – Харків : НТУ «ХПІ». – 2011. – № 6. – 63–67с.
24. ТОВ «ДТЕК»: Інтегрований звіт 2017.: https://dtek.com/content/files/dtek_ar_2017_ru1.pdf

25. Третяк, А.М. Зміна пріоритетів земельної реформи у зв'язку з удосконаленням економічних відносин власності на землю. Вісник аграрної науки, Випуск № 2, С. 5-9.
26. Третяк, А.М., Калганова І. Г. До питання про економічну сутність поняття інновацій та інноваційної діяльності у сфері землеустрою. [Електронний ресурс] Землеустрій, кадастр і моніторинг земель, Випуск № 3, С. 54-64. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Zemleustriy_2016_3_10.
27. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності: ДСТУ EN 50160:2014 (EN 50160:2010, IDT). - К.: Держстандарт України, 2014. – 27 с.
28. Шкурупська І.А. Оцінка перспектив розвитку геліоенергетики в Україні. http://www.confcontact.com/2008febr/6_shkurup.php