

КОНЦЕПЦІЯ СТВОРЕННЯ ІНТЕРАКТИВНОЇ КАРТИ ІНВЕСТИЦІЙНОЇ ПРИВАБЛИВОСТІ ЗЕЛЕНОГО ВОДНЮ В УКРАЇНІ

Отримано 13 черв. 2025 р.; рекомендовано до публікації 27 черв. 2025 р.
Доступно онлайн 30 черв. 2025 р.

**Мхітарян Н. М.¹, Кудря С. О.²,
Зур'ян О. В.³**

Автор для кореспонденції: Зур'ян Олексій,
e-mail: alexey_zuryan@ukr.net

¹ чл.-кор. НАН України, д-р техн. наук
<https://orcid.org/0000-0002-5918-4532>

² чл.-кор. НАН України, д-р техн. наук
<https://orcid.org/0000-0002-4798-6853>

³ д-р техн. наук
<https://orcid.org/0000-0002-4798-6853>

Інститут відновлюваної енергетики НАН
України, Київ, Україна

У статті представлено основні положення концепції та обґрунтовано актуальність створення карти інвестиційної привабливості проєктів зеленого водню в Україні в контексті повоєнного відновлення, енергетичної незалежності та інтеграції в Європейський зелений курс. З урахуванням світового досвіду висвітлено теоретичні засади інвестиційної привабливості у сфері відновлюваної енергетики та визначено ключові чинники, що впливають на привабливість проєктів зеленого водню. Аналіз потенціалу України засвідчив наявність сприятливих природно-ресурсних умов для розвитку водневої енергетики, зокрема доступу до відновлюваних джерел енергії, вільних територій та транзитної інфраструктури. Увагу приділено методологічним аспектам картографування інвестиційної привабливості, зокрема визначенню системи індикаторів (економічних, технічних, інфраструктурних, соціальних), джерелам даних та застосуванню просторово-аналітичних інструментів. Наголошено на важливості деталізації карти на рівні територіальних громад як основи для прийняття обґрунтованих управлінських рішень та формування локальних стратегій розвитку. Такий підхід дозволяє виявити «точки зростання» для водневих проєктів, забезпечити справедливий розподіл інвестицій та посилити роль громад у процесах енергетичної трансформації. Запропоновано розглядати карту не як статичний аналітичний документ, а як динамічний стратегічний інструмент, здатний об'єднати бачення держави, потреби громад та інтереси інвесторів. Важливість розробки карти полягає у формуванні сучасного підходу до планування та реалізації проєктів у сфері зеленої енергетики в умовах відбудови незалежної України.

Ключові слова: відновлювана енергетика, електроліз, воднева енергетика, зелений водень, мапа, інвестиційна привабливість.

CONCEPT FOR DEVELOPING AN INTERACTIVE MAP OF GREEN HYDROGEN INVESTMENT ATTRACTIVENESS IN UKRAINE

Received Jun. 13, 2025; accepted Jun. 27, 2025
Available online Jun. 30, 2025

Mkhitaryan N.¹, Kudrya S.², Zurian O.³

Author for correspondence: Zurian Oleksii,
e-mail: alexey_zuryan@ukr.net

¹ corresponding member of the NAS of Ukraine,
Dr. of sciences (Eng.)
<https://orcid.org/0000-0002-5918-4532>

² corresponding member of the NAS of Ukraine,
Dr. of sciences (Eng.)
<https://orcid.org/0000-0002-4798-6853>

³ Dr. of sciences (Eng.)
<https://orcid.org/0000-0002-4798-6853>

Institute of Renewable Energy of the National
Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

The article presents the key provisions of the concept and substantiates the relevance of developing an investment attractiveness map for green hydrogen projects in Ukraine in the context of post-war recovery, energy independence, and integration into the European Green Deal. Drawing on international experience, the article outlines the theoretical foundations of investment attractiveness in the field of renewable energy and identifies the key factors influencing the viability of green hydrogen projects. An analysis of Ukraine's potential confirms the existence of favorable natural and resource conditions for the development of hydrogen energy, particularly the availability of renewable energy sources, undeveloped land, and transit infrastructure. Special

attention is given to the methodological aspects of mapping investment attractiveness, including the identification of indicator systems (economic, technical, infrastructural, and social), data sources, and the application of spatial-analytical tools. The importance of mapping at the territorial community level is particularly emphasized, as it provides a foundation for evidence-based management decisions and the formation of local development strategies. This approach makes it possible to identify “growth points” for hydrogen projects, ensure fair investment allocation, and strengthen the role of communities in energy transformation processes. The map is proposed not as a static analytical document but as a dynamic strategic tool capable of aligning the state’s vision with community needs and investor interests. The importance of developing such a map lies in shaping a modern approach to planning and implementing green energy projects in the framework of rebuilding an independent Ukraine.

Keywords: renewable energy, electrolysis, hydrogen energy, green hydrogen, map, investment attractiveness.

Використані позначення та скорочення

ЄС – Європейський Союз

ВДЕ – відновлювані джерела енергії

MCA – багатокритеріальний аналіз (англ. Multi-Criteria Analysis)

LCA – оцінка повного життєвого циклу (англ. Life cycle assessment)

ESG-підходи – екологічні (Environmental), соціальні (Social) та управлінські (Governance) чинники

АН – аналітичний ієрархічний процес (англ. Analytic Hierarchy Process)

LCOH – оцінка вартості виробництва водню (англ. Levelized Cost of Hydrogen)

WLC – зважене лінійне комбінування (англ. Weighted Linear Combination)

Fuzzi Logic – нечітка логіка (англ. Fuzzy Logic)

ГІС – геоінформаційні технології

GIS – Geographic Information System

СЕ – сонячна електростанція

ГЕС – гідроелектростанція

ВЕС – вітроелектростанція

HOTOSM – карта з відкритим доступом (англ. Humanitarian Open Street Map)

IEA – Міжнародне енергетичне агентство (англ. International Energy Agency)

НКРЕКП – Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг

Вступ. У контексті глобального енергетичного переходу та дедалі більшого попиту на безвуглецеві джерела енергії зелений водень посідає ключову позицію в стратегічних планах України. Завдяки потужному потенціалу відновлюваних джерел енергії, розвиненій енергетичній інфраструктурі та географічній близькості до ринку ЄС Україна має всі передумови стати одним із лідерів водневої енергетики в регіоні. У 2025 році Інститут відновлюваної енергетики НАН України розпочав роботу над створенням цифрової Smart карти інвестиційної привабливості проєктів з виробництва зеленого водню, яка стане важливим інструментом для формування водневої економіки. Карта поєднає технічні, економічні, соціальні та екологічні параметри, необхідні для швидкої й обґрунтованої оцінки інвестиційного потенціалу конкретних територій – від великих регіонів до окремих громад. Особливого значення цей проєкт набуває в умовах післявоєнного відновлення України, коли постає потреба в модернізації енергетичної системи, стимулюванні інвестицій, створенні нових робочих місць і зниженні вуглецевого сліду. Карта стане не лише інструментом планування, але й елементом довгострокової стратегії сталого розвитку, орієнтованої на децентралізацію, енергонезалежність та екологічну безпеку. У статті розглядаються мета цієї карти, її основні

функціональні компоненти, типи об’єктів, які доцільно не неї наносити, а також особливості побудови картографічної моделі з урахуванням локального рівня (ОТГ), що значно підвищує точність та ефективність ухвалення рішень.

Науково-дослідні та прикладні роботи з оцінки інвестиційної привабливості проєктів зеленого водню активно ведуться як в Україні, так і у світі, що зумовлено зростаючою роллю зеленого водню у переході до стійкої енергетики. Перспективи інвестицій у проєкти зеленого водню розглядаються в роботах [1–3], де проаналізовано основні чинники, що впливають на рентабельність і ризики таких проєктів. Окрему увагу приділено питанням картографування інвестиційної привабливості, що дозволяє візуалізувати регіональні особливості та потенціал розвитку зеленого водню, як зазначено в дослідженнях [4–6]. У дослідженнях [7–9] здійснено оцінку економічної ефективності виробництва зеленого водню з урахуванням вартості електроенергії з відновлюваних джерел, капітальних та операційних витрат. Авторами [10–13] проведено комплексний аналіз ринкових та нормативно-правових умов, що визначають інвестиційну привабливість водневих проєктів. У роботах [14, 15] розглянуті моделі фінансування та механізми державної підтримки для стимулювання інвестицій у зелену водневу енергетику.

Значний науковий інтерес до оцінки інвестиційної привабливості проєктів зеленого водню свідчить про їх стратегічну важливість у глобальному переході до чистої енергетики. Розробка методів картографування та комплексних економічних моделей допомагає точніше визначати регіональні можливості й ризики, що сприяє ефективнішому залученню капіталу. Активні дослідження у сфері нормативного регулювання і фінансових механізмів підкреслюють потребу у створенні сприятливих умов для розвитку водневої інфраструктури. Таким чином, наукова спільнота формує основу для прийняття обґрунтованих інвестиційних рішень у цій перспективній галузі.

Постановка завдання. Метою цієї роботи є створення науково обґрунтованого інформаційного забезпечення для оптимізації розміщення в Україні підприємств відновлюваної та водневої енергетики. Створення цифрової Smart карти інвестиційної привабливості проєктів з виробництва зеленого водню є надзвичайно важливим завданням, оскільки, незважаючи на війну, вже сьогодні формується підґрунтя для сталого післявоєнного відновлення України та її розвитку як енергонезалежної держави. Така карта не лише дозволяє ідентифікувати регіони з найбільшим потенціалом для реалізації водневих проєктів, але й слугує інструментом для стратегічного планування залучення інвестицій, ефективного використання ресурсів і підвищення енергетичної безпеки. Особлива увага до деталізації на рівні територіальних громад забезпечує врахування локальних умов, що є критично важливим для успішного впровадження проєктів на місцях та справедливого регіонального розвитку. Потрібно не просто скласти карту – важливо сформулювати сучасне бачення її ролі як інструменту інтеграції національних інтересів, місцевого потенціалу та глобального зеленого переходу.

Виклад основного матеріалу

Інвестиційна привабливість у сфері відновлюваної енергетики розглядається як сукупність економічних, технологічних, регуляторних, екологічних та соціальних чинників, що визначають доцільність і вигідність вкладення капіталу в проєкти, пов'язані з виробництвом енергії з відновлюваних джерел. Щодо зеленого водню – тобто водню, виробленого за допомогою електролізу з використанням відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) – інвестиційна привабливість визначається подвійним рівнем впливу: з одного боку, специфікою інфраструктури ВДЕ, з іншого – особливостями водневих технологій як енергетичного носія.

Ключовими чинниками, що впливають на привабливість таких інвестицій, є доступ до недорогої відновлюваної електроенергії, розвиток електролізерних технологій, наявність стабільного регуляторного середовища, очікувана динаміка ринкового попиту, інфраструктурна доступність (включно з транспортом та зберіганням водню), а також політична та макроекономічна стабільність

регіону. З погляду теорії інвестицій, зелений водень розглядається як «довгий актив» з високими початковими витратами та отриманим ефектом окупності, що потребує довгострокових прогнозів ринку, сценарного аналізу та державних стимулів.

Для обґрунтованої оцінки інвестиційної привабливості проєктів зеленого водню важливим етапом є попередній розрахунок технічного та економічного потенціалу відновлюваних джерел енергії на відповідній території. Саме доступність сонячної, вітрової або біоенергетичної ресурсної бази визначає можливий обсяг генерації електроенергії, що може бути спрямована на електроліз. У разі низького потенціалу ВДЕ інвестиції в проєкти зеленого водню можуть бути технічно або економічно недоцільними. Отже, просторовий аналіз відновлюваних ресурсів є необхідною умовою як для первинного відбору перспективних локацій, так і для подальшої деталізації карти інвестиційної привабливості.

Особливе значення для інвестиційної оцінки мають зовнішні ефекти: декарбонізація економіки, зниження енергетичної залежності, підвищення енергетичної безпеки та створення нових робочих місць. Водночас відсутність чітких механізмів монетизації цих ефектів знижує традиційні фінансові показники привабливості, що вимагає залучення нових моделей оцінки, як-от багатокритеріальний аналіз (MCA), оцінка повного життєвого циклу (LCA), або ESG-підходи (екологічна, соціальна та управлінська стійкість).

Таким чином, інвестиційна привабливість проєктів зеленого водню формується на перетині трьох систем: ринку відновлюваної енергетики, технологій виробництва та використання водню, а також системи державного управління енергетичним переходом. Її оцінка потребує міждисциплінарного підходу, який поєднує енергетичну економіку, просторовий аналіз і політичну географію.

Для візуалізації теоретичних засад інвестиційної привабливості проєктів зеленого водню запропоновано структурно-логічну схему, яка показуватиме взаємозв'язки між основними блоками, що формують інвестиційну привабливість (рис. 1).

Зелений водень розглядається як один із ключових елементів глобального енергетичного переходу та засіб досягнення вуглецевої нейтральності в багатьох країнах. Виробництво водню електролізом води з використанням електроенергії відновлюваних джерел не супроводжується викидами парникових газів і має широкі можливості застосування – від транспорту й промисловості до накопичення енергії та й енергосистем. Україна з огляду на значний потенціал ВДЕ, стратегічну інфраструктуру, вигідне географічне положення та науково-технічний потенціал, має низку конкурентних переваг у розвитку зеленого водневого сектору.



Рис. 1. Структурно-логічна схема взаємозв'язків між основними блоками, що формують інвестиційну привабливість зеленого водню

Fig. 1. Structural and logical diagram of the relationships between the main blocks that form the investment attractiveness of green hydrogen

Найперспективнішими джерелами для виробництва зеленого водню в Україні є сонячна та вітрова енергія. За оцінками Інституту відновлюваної енергетики НАН України [4], середньорічна кількість сумарної сонячної радіації, що потрапляє на 1 м^2 поверхні, на території України перебуває в межах від 1070 кВт-год/м^2 в її північній частині до 1400 кВт-год/м^2 і вище на півдні України. Розподіл основних кліматичних показників такий: радіаційний режим території характеризується зміною тривалості сонячного сяйва в середньому за рік від 1690–1850 год у західних районах Полісся та Лісостепу до 2150–2450 год у Криму та на узбережжях Чорного й Азовського морів. Кількість сумарної радіації – енергії, що потенційно може бути використана на формування всіх природних процесів, – перебуває в межах від $1064,9 \text{ кВт-год/м}^2$ на рік на заході (Прикарпаття) до $1551,7 \text{ кВт-год/м}^2$ на півдні Кримського півострова.

Величини середніх річних значень радіаційного балансу, тобто сонячної енергії, яка поглинається поверхнею Землі, змінюються по території від 330 кВт-год/м^2 на Волині до 580 кВт-год/м^2 на узбережжях Чорного й Азовського морів та в Криму. Що ж до потенціалу енергії вітру, то майже 22 % території суходолу України ($132\,372 \text{ км}^2$) потенційно могли б бути використані під будівництво ВЕС. Найбільше придатних для будівництва ВЕС площ (при $\text{КВНП} \geq 0,25$) є в Херсонській (31 %), Миколаївській (22 %) та Донецькій (19 %) областях. У акваторії Азовського моря для розташування об'єктів вітрової енергетики на фіксованих фундаментах доступно 3285 км^2 з глибинами до 15 м; у акваторії Чорного моря для розташування об'єктів вітрової енергетики на фіксованих фундаментах доступно $12\,412 \text{ км}^2$ з глибинами до 50 м; у акваторії Чорного моря для розташування об'єктів вітрової енергетики на плавучих фундаментах

доступно 13 038 км² з глибинами від 50 до 100 м; у акваторії Чорного моря) для розташування об'єктів вітрової енергетики на плавучих фундаментах доступно 1338 км² з глибинами від 100 до 200 м; Виключна морська економічна зона України в межах акваторії Чорного моря – 49 776 км² з глибиною морського дна понад 200 м. Потенціал установлені потужності ВЕС становить 406 721 МВт для суходолу та 91 676 МВт – для акваторії. Ці цифри значно перевищують поточні потреби внутрішнього споживання електроенергії. Водночас в енергобалансі відновлювані джерела вже мають значну частку – близько 12–14 %, і ця цифра має тенденцію до зростання навіть в умовах війни. Крім сонячної та вітрової в Україні також наявні інші види ВДЕ – мала гідроенергетика, біоенергетика та геотермальна енергія, які хоча й мають менший потенціал у виробництві електроенергії, проте можуть локально доповнювати водневі проекти, особливо в контексті децентралізованих систем або мультиенергетичних кластерів.

Важливим чинником, який слід урахувати під час планування водневого виробництва, є територіальна нерівномірність розміщення потенціалу ВДЕ. Найвищий рівень інсоляції спостерігається на півдні України (Одеська, Миколаївська, Херсонська, Запорізька області), а найвищі середньорічні швидкості вітру – у Причорномор'ї, Приазов'ї та Карпатському регіоні. Натомість біоенергетичний потенціал є більш вираженим у центральних та західних областях з високою аграрною активністю. Така просторово неоднорідна структура розподілу ресурсів безпосередньо впливає на економічну доцільність і масштаби виробництва зеленого водню, що підкреслює необхідність локалізованого планування і створення інвестиційних карт з урахуванням даних на рівні громад.

Загальний потенціал середньорічного виробництва зеленого водню з урахуванням придатного потенціалу електроенергії ВЕС та СЕС становить близько 54 240 тис. т., зважаючи на морську економічну зону [4]. Дані свідчать, що територія України може стати майданчиком для виробництва відновлюваного водню не тільки для власних потреб у чистій енергії, але й для експорту на ринок Євросоюзу. Наявність високого середньорічного технічного потенціалу виробництва зеленого водню забезпечила участь України в європейській програмі «2x40 GW Green Hydrogen Initiative», відповідно до якої в Україні буде встановлено 10 ГВт нових електролізних потужностей: 2 ГВт потужностей електролізерів для внутрішнього ринку і 8 ГВт – для експорту водню трубопроводами до ЄС [14]. У межах доступного потенціалу на виробництво зеленого водню може бути спрямована значна частка потужностей вітроенергетики. Так, лише за проектом «2x40 ГВт Зеленого переходу» Україна може забезпечувати роботу 10 ГВт електролізу на рівні 2030 року, що відповідатиме додатковому зменшенню викидів парникових газів. З метою зменшення навантаження та негативного впливу на довкілля для виробництва зеленого водню пропонується використовувати стічні води

з попереднім їх очищенням. Сумарний обсяг стічних вод (нормативно очищені та нормативно чисті без очищення), за статистичними даними, майже в 6 разів перевищує необхідну кількість води для реалізації всього потенціалу зеленого водню. Також для виробництва водню може бути використана морська вода, запас якої в контексті виробництва зеленого водню можна вважати практично невичерпним. Використання відновлюваних джерел енергії дає змогу знизити споживання традиційних вуглеводневих енергоносіїв, що є загальносвітовим пріоритетним напрямом розвитку науки і техніки. Декарбонізація, децентралізація і диджиталізація є основними концепціями, без яких неможливий енергетичний перехід, і розвиток яких спонукає до пошуку нових енергоефективних рішень з використанням ВДЕ.

Отже, Україна має як природні, так і структурні передумови для розвитку водневої економіки. Реалізація цього потенціалу залежить від стратегічного бачення, міждержавної координації (від держави до громад) та від комплексного просторового аналізу, який дає змогу ідентифікувати найперспективніші регіони для запуску водневих проектів на засадах реальної ресурсної доступності.

Картографування інвестиційної привабливості проектів у сфері зеленої енергетики, зокрема зеленого водню, є міждисциплінарним завданням, що поєднує енергетичну географію, економічну оцінку, просторовий аналіз і методи багатокритеріального прийняття рішень. Його основною метою є виявлення просторових відмінностей у можливостях реалізації водневих проектів з урахуванням не лише технічного потенціалу відновлюваних джерел енергії, а й комплексу соціально-економічних, інфраструктурних та екологічних чинників.

Процес побудови таких карт зазвичай базується на застосуванні геоінформаційних систем (ГІС), які дозволяють інтегрувати та обробляти різномірні просторові дані в єдиному аналітичному середовищі. На початковому етапі здійснюється збір і нормалізація вхідних даних, які охоплюють потенціал сонячної, вітрової, біоенергетики, щільність населення, наявність електромереж та інженерної інфраструктури, транспортну доступність, економічну активність, наявність вільних промислових або придатних земельних ділянок тощо. Паралельно формується система критеріїв оцінки інвестиційної привабливості, до якої входять техніко-економічні показники (зокрема, оцінка вартості виробництва водню – LCOH), екологічні характеристики (наприклад, рівень антропогенного навантаження або вразливість довкілля), соціальні аспекти (рівень зайнятості, потенціал громадської підтримки), а також інституційні чинники (наявність місцевих стратегій розвитку, планів енергетичного переходу, досвіду реалізації проектів державно-приватного партнерства).

На основі зібраної інформації проводиться інтеграція оцінок і просторове ранжування територій. Застосовуються методи багатокритеріального аналізу, як-от

аналітичний ієрархічний процес (АНР), зважене лінійне комбінування (WLC), нечітка логіка (fuzzy logic) або їх комбінації. Результати обробки візуалізуються у вигляді карт із градацією рівнів інвестиційної привабливості, що дозволяє виокремити зони з найвищим потенціалом для розвитку водневих проєктів. Візуальна складова доповнюється кластерним та пороговим аналізом, що дає змогу виділяти як окремі перспективні громади, так і міжрегіональні енергетичні кластери.

Особливу увагу в методології такого картографування слід приділяти деталізації до рівня територіальних громад. Саме на цьому адміністративному рівні ухвалюються рішення про виділення земельних ресурсів, затверджуються місцеві стратегії розвитку, формуються бюджети участі, реалізуються енергетичні ініціативи. Врахування локальних особливостей – природних ресурсів, стану мереж, соціальної структури та управлінського потенціалу – дозволяє не лише підвищити точність просторової моделі, а й підготувати її до практичного використання інвесторами, місцевою владою та проєктними розробниками.

Отже, картографування інвестиційної привабливості є не лише візуальним способом представлення даних, але й ефективним аналітичним інструментом, що підтримує стратегічне прийняття рішень та сприяє раціональному просторовому плануванню на етапі післявоєнної відбудови України.

Потенціал виробництва зеленого водню в Україні визначається не лише національними стратегіями та загальнодержавними енергетичними пріоритетами, але й конкретними умовами на місцях. Просторове розташування, кліматичні характеристики, наявність природних ресурсів та інфраструктурні можливості істотно відрізняються між регіонами та навіть окремими територіальними громадами. Це зумовлює регіональну специфіку у формуванні спроможностей для виробництва, зберігання, транспортування та використання зеленого водню.

На півдні та сході України спостерігається високий технічний потенціал сонячної генерації (з інсоляцією понад 1400–1600 кВт·год/м² на рік), тоді як південні та південно-західні регіони мають сприятливі умови для вітрової енергетики – середньорічна швидкість вітру на висоті 100 м перевищує 7 м/с. Саме такі зони мають перевагу для розміщення водневих електролізерів, які працюватимуть на базі місцевих ВДЕ. Водночас на заході та в центрі країни потенціал біоенергетики (насамперед відходи сільськогосподарства) є значним, а в Прикарпатті та Закарпатті існує перспективність розвитку малої гідроенергетики й геотермальних джерел. Хоча частка цих джерел у загальному енергобалансі України поки що невелика, вони відіграють важливу роль у локальних енергетичних системах і можуть забезпечити диверсифікацію джерел енергії для водневих проєктів.

Однак ці природні можливості розподілені по території країни нерівномірно. Це означає, що ефективність проєктів зі створення водневої інфраструктури суттєво залежить від локальних умов. Територіальні громади стають ключовими гравцями в цьому процесі, оскільки саме на їхньому рівні вирішуються питання просторового планування, виділення земельних ділянок, підключення до інженерної інфраструктури, а також формування локальних ініціатив і партнерств із бізнесом та міжнародними організаціями.

Децентралізація, що триває в Україні з 2014 року, відкрила нові можливості для громад у сфері енергетичного самоврядування. Вже сьогодні окремі громади реалізують проєкти з ВДЕ, розробляють енергетичні стратегії, беруть участь у міжнародних водневих ініціативах. Їхня активність, відкритість до інновацій та здатність залучати інвестиції безпосередньо впливають на інвестиційну привабливість території. Таким чином, саме громади можуть стати рушіями впровадження водневої економіки знизу вгору – від локального бачення до регіональної та національної енергетичної трансформації.

Для побудови карти інвестиційної привабливості проєктів зеленої водневої енергетики необхідно враховувати як дані, так і технології, які передбачають просторову візуалізацію та інтеграцію багатьох чинників. У цьому контексті Геоінформаційні системи (ГІС) є ключовим інструментом, що забезпечує опрацювання, аналіз та візуалізацію просторових даних. Наразі існує декілька типів ГІС-технологій, які можна умовно поділити на відкриті (open-source) та комерційні (закриті) рішення.

Серед відкритих систем найпоширенішими є QGIS, GRASS GIS, GeoServer, та Mapbox (у базовій версії). Ці інструменти мають велику спільноту користувачів, активну підтримку та широкий набір модулів для просторового аналізу. Основною перевагою відкритих рішень є їх доступність, гнучкість налаштувань та можливість інтеграції з відкритими джерелами даних (OpenStreetMap, Copernicus, NASA). Водночас недоліком є обмежена функціональність у частині високотехнологічної аналітики, складна конфігурація для недосвідчених користувачів і відсутність інтегрованої підтримки на рівні організаційного використання.

Закриті (комерційні) ГІС-платформи, як-от ArcGIS від компанії ESRI, Hexagon GeoMedia, MapInfo, відзначаються високою точністю, розширеним функціоналом і можливістю роботи з великими масивами даних. ArcGIS, наприклад, має потужні аналітичні інструменти для моделювання інвестиційного потенціалу з урахуванням десятків параметрів, а також підтримку 3D-моделювання, машинного навчання і хмарних рішень. Недоліками є висока вартість ліцензії, складність локалізації під українські реалії та обмежена відкритість екосистеми.

Також важливо розглядати сучасні хмарні рішення – Google Earth Engine, Sentinel Hub, Amazon AWS для геопросторової аналітики, що дозволяють обробку

супутникових даних у режимі реального часу. Їхня перевага полягає у масштабованості та високій швидкості аналітики. Однак більшість таких систем вимагає складного технічного налаштування та навичок програмування.

З погляду поставленого завдання – створення інтерактивної карти інвестиційної привабливості з високим ступенем деталізації по територіальних громадах – оптимальним підходом є комбіноване використання відкритого ГІС-ядра (наприклад, QGIS) для первинного аналізу та обробки даних і комерційної або хмарної платформи для візуалізації та забезпечення доступу кінцевим користувачам. Важливою перевагою також є можливість інтеграції таких карт у публічні або адміністративні платформи, зокрема, для планування політик, залучення інвесторів та стратегічного розвитку громад.

У сфері відновлюваної енергетики, зокрема у контексті розвитку водневої енергетики, геоінформаційні системи (ГІС) вже давно довели свою ефективність у візуалізації, аналізі та прийнятті рішень. В Україні протягом останніх років було реалізовано кілька проєктів, що демонструють потенціал ГІС для енергетичного планування. Одним із найвідоміших прикладів є створення пілотної карти потенціалу відновлюваних джерел енергії під егідою Держенергоефективності за підтримки GIZ. Карта охоплює сонячну, вітрову, біо- та гідроенергетику, дозволяючи оцінити загальні ресурси на рівні областей. Проте її головним обмеженням є недостатня деталізація – відсутність просторової інформації на рівні територіальних громад та інвестиційних критеріїв [16].

Ще одним українським прикладом є створена Аналітиком DiXi Group Андрієм Білоусом на основі статистики НКРЕКП інтерактивна карта об'єктів відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) в Україні. Карта об'єднала всі об'єкти, які виробляють електроенергію з відновлюваних джерел та для яких встановлено «зелений» тариф. Загальна потужність всіх об'єктів становить 1209 МВт. Більшість наземних СЕС, ГЕС (крім великих) та ВЕС було ідентифіковано на супутникових знімках. Хоча ця карта поки що не спеціалізується на водневій енергетиці, її функціонал дозволяє агрегувати дані щодо місцевої інфраструктури, об'єктів генерації та енергетичного споживання [17].

На європейському рівні варто відзначити проєкт H2Atlas, реалізований Німеччиною у співпраці з африканськими країнами. Це високоточна геопросторова платформа, що моделює виробничий потенціал зеленого водню з урахуванням десятків шарів – від сонячного та вітрового ресурсу до інфраструктурних обмежень, логістики, доступу до води, природоохоронних територій і соціально-політичних чинників. Цей масштабний підхід може бути адаптований в Україні, особливо в контексті відновлення територій та оцінки безпекових ризиків [18].

Подібну логіку покладено і в основу проєкту HyPotential, реалізованого Hydrogen Europe, що створює карту перспектив водневого виробництва до 2040 року. Проєкт враховує європейські мережі електропередачі, логістику, промислові вузли та інфраструктуру для транспортування водню. Важливо, що цей проєкт інтегрується з іншими наднаціональними ініціативами, зокрема Trans-European Hydrogen Backbone, що забезпечує стратегічну сумісність енергетичних карт у межах ЄС [19, 20].

Водночас локальні рішення в окремих країнах також демонструють високий рівень розвитку. Наприклад, Польща створила національну H₂-карту в межах державної стратегії водневої економіки. У фокусі цієї карти – промислові зони, об'єкти ВДЕ, джерела викидів CO₂ (для виробництва синього водню), а також інструменти для місцевого самоврядування. Польський приклад є цінним з погляду децентралізованого планування та взаємодії національного та муніципального рівнів [21]. Узагальнюючи ці приклади, можна зробити висновок, що сучасні ГІС-платформи у сфері водневої енергетики не лише відображають технічний потенціал територій, але й слугують стратегічним інструментом планування. Для України, яка одночасно бореться з викликами війни та готується до сталого відновлення, адаптація таких інструментів – це шлях до впровадження інтегрованого, обґрунтованого та прозорого процесу розбудови нової енергетичної системи. При цьому надзвичайно важливою залишається деталізація інформації до рівня територіальних громад, що забезпечує локальну релевантність і реальне управлінське застосування даних.

На думку авторів, Концепція геоінформаційної системи (ГІС) карти повинна полягати у створенні динамічного інтерактивного та багаторівневого інструменту з деталізацією до рівня територіальних громад. Така карта має на меті надати повноцінну оцінку потенціалу виробництва зеленого водню в Україні з урахуванням природних, інфраструктурних, економічних, правових та ризик-орієнтованих чинників.

У структурі карти передбачено кілька основних тематичних шарів. Перший шар відображає природний потенціал відновлюваних джерел енергії. Він охоплює показники сонячної енергії – річне сумарне надходження сонячної радіації та потенціал фотоелектричної генерації, а також вітрову енергію, яка представлена середньою швидкістю вітру на різних висотах. Додатково враховано водні ресурси з погляду потенціалу малої гідроенергетики, біомасу – наявність аграрних залишків, лісових ресурсів та органічних відходів, а також геотермальні ресурси через зони з температурними аномаліями.

Наступним є шар інфраструктури та логістики – це електромережі високої напруги, дороги, залізниці, морські порти, газопроводи, водопроводи, точки підключення до мереж, а також промислові зони, зокрема кластерні вузли та brownfield-території, придатні для переобладнання під нові водневі об'єкти.

Третій шар – поточний енергетичний ландшафт – містить існуючі енергогенерувальні об'єкти (ВДЕ, ТЕС, АЕС), потенційні місця для розміщення водневих електролізерів, а також об'єкти науково-інноваційної інфраструктури, як-от університети й науково-дослідні інститути.

Далі карта охоплює соціально-економічні показники: чисельність і густоту населення, рівень економічної та ділової активності, місцеві стратегії розвитку й плани територіальних громад. Це дозволяє оцінити людський потенціал та управлінську спроможність для реалізації інвестиційних проєктів.

До правових, адміністративних і земельних аспектів належать межі громад, правовий статус земельних ділянок, обмеження щодо їх використання, а також наявність державних або обласних програм підтримки інвесторів. Це дає змогу формувати повну картину правового середовища на рівні кожної громади.

Окремий шар відображає ризики – як зовнішні, так і внутрішні. Сюди входять військові загрози, зони тимчасової окупації, ступінь зношеності інфраструктури, ризики природних катастроф – повеней, посух, землетрусів.

Функціонально карта має розширені можливості: інтерфейс дозволяє користувачу вибрати конкретну громаду й переглянути всі релевантні дані у вигляді аналітичного профілю з короткою інформацією в спливаючому вікні. Передбачено фільтрацію шарів за типами віднов-

люваних джерел, наявністю інфраструктури, рівнем ризику. Крім цього, реалізовано інтеграцію з дашбордом, де для кожної громади відображається індекс інвестиційної привабливості зі шкалою від 0 до 1 або за бальною системою, а також доступ до методики розрахунку цього індексу. Експертам доступний експорт даних у форматі CSV або Excel для подальшого аналізу. Карта також підтримує моделювання сценаріїв, наприклад передбачення змін у разі побудови нової лінії електропередачі або проведення нових комунікацій.

Шар інвестиційної привабливості не відображений окремо в структурі, оскільки він, по суті, є результатом інтеграції всіх інших шарів, а не окремим типом вихідних даних. Інакше кажучи, інвестиційна привабливість – це синтетичний індикатор, який обчислюється на основі:

- природного потенціалу ВДЕ,
- доступності інфраструктури,
- соціально-економічних умов,
- адміністративно-правових обмежень,
- рівня ризиків.

Інтеграція зазначених компонентів та функціональних можливостей системи реалізована у вигляді картографічного інтерфейсу, загальну структуру якого наведено на рис. 2.



Рис. 2. Функціональна схема карти інвестиційної привабливості зеленого водню

Fig. 2. Functional diagram of the green hydrogen investment attractiveness map

Новизна та особливість майбутньої карти України інвестиційної привабливості проєктів зеленої водневої енергетики полягає в кількох ключових характеристиках, які відрізняють її від більшості аналогічних європейських або світових проєктів.

Насамперед, одним із визначальних аспектів є деталізація на рівні територіальних громад, а не лише адміністративних областей. Такий підхід дозволяє подола-

ти проблему узагальнення, властиву картам регіонального рівня, де просторові оцінки часто усереднюють потенціал і ризики, втрачаючи локальні особливості. Деталізація по громадах забезпечує можливість точного аналізу на місцевому рівні, що є критично важливим для прийняття інвестиційних рішень і реалізації децентралізованих моделей розвитку водневої енергетики.

Другим унікальним аспектом є врахування безпекової ситуації та чинників, пов'язаних з повномасштабною війною. Карта міститиме дані про військові ризики, рівень пошкодження інфраструктури та пріоритетність відновлення територій. Такий підхід забезпечує актуальність і практичну цінність карти в умовах повоєнного відновлення, дозволяючи інвесторам оцінити не лише технічний і економічний, але й безпековий потенціал.

Ще одна особливість – акцент на локальну ініціативу та роль об'єднаних територіальних громад (ОТГ). Карта відображатиме не лише об'єктивні ресурси й інфраструктуру, а й рівень зацікавленості громад у співпраці з інвесторами, наявність місцевих стратегій розвитку, участь у пілотних проєктах та відкритість до партнерства. Такий підхід посилює значення людського та інституційного фактора в оцінці інвестиційної привабливості.

Нарешті, українська карта орієнтована на інтеграцію з європейськими ініціативами у сфері водневої енергетики. Її концепція узгоджується з рамковими документами, як-от стратегії розвитку ENTSO-E та ініціатива EU Hydrogen Corridor, що відкриває шлях до участі України в європейській водневій архітектурі. Синхронізація з європейськими стандартами й структурами дозволить забезпечити технічну сумісність, прозорість і стратегічну привабливість проєктів на національному рівні.

Таким чином, поєднання високої просторової деталізації, врахування безпекових і соціально-економічних чинників, орієнтація на локальні ініціативи та відповідність європейським стандартам робить цю карту унікальним інструментом просторового планування та інвестиційного аналізу у сфері зеленої водневої енергетики в Україні.

Висновок

Дослідження інвестиційної привабливості проєктів зеленої водневої енергетики в Україні засвідчує актуальність створення багатофакторної ГІС-карти з високою просторовою деталізацією. Така карта може стати важливим аналітичним інструментом для прийняття рішень як на державному рівні, так і в громадах, заохочуючи інвесторів до розвитку водневої енергетики. Врахування природного, інфраструктурного, соціально-економічного та безпекового потенціалу дозволяє забезпечити цілісний підхід до планування енергетичного майбутнього країни. Особливу цінність матиме карта, орієнтована на громади як основні осередки сталого розвитку в післявоєнній відбудові України.

ПОСИЛАННЯ

1. Bade Sh. O., Tomomewo O. S., Meenakshisundaram A., Ferron P., Oni B. A. Economic, social, and regulatory challenges of green hydrogen production and utilization in the US: A review. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2024. Vol. 49. Part D. P. 314–335. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.08.157>
2. Velasquez-Jaramillo M., García J.-G., Vasco-Echeverri O. Techno economic model to analyze the prospects of hydrogen production in Colombia. *International Journal of Thermofluids*. 2024. Vol. 22. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2024.100597>
3. Cote E., Salm S. *Energy Policy*. 2022. Vol. 163. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.112821>
4. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України / за ред. С. О. Кудрі. К.: Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2024. 56 с. Режим доступу: https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/atlas_2024_publication.pdf
5. Roucham B., Zaghdoud O. Mapping Green Hydrogen and Renewable Energy Research in Extended BRICS: A Bibliometric Approach with a Future Agenda. *Hydrogen*. 2024. Vol. 6(2). Article 33. DOI: <https://doi.org/10.3390/hydrogen6020033>
6. Pinto M. C., Gaeta M., Arco E., Boccardo P., Corgnati S. P. Mapping the suitability of North Africa for green hydrogen production: an ap. *Energy, Sustainability and Society*. 2025. Vol. 15. Article 20. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13705-025-00512-4>
7. Timmeberg S., Kaltschmitt M. Hydrogen from renewables: supply from North Africa to Central EU as blend in existing pipelines. Potentials and costs // *Applied Energy*. – 2025. – Vol. 237. – P. 795–809. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.030>
8. Nasser M., Hassan H. Feasibility analysis and Atlas for green hydrogen project in MENA region: Production, cost, and environmental maps. *Solar Energy*. 2024. Vol. 268. Article 112326. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2024.112326>
9. Touili S., Alami M. A., Azouzoute A., El Hassouani Y., Amrani A. A technical and economical assessment of hydrogen production potential from solar energy in Morocco. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2018. Vol. 43. P. 22777–22796. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.10.136>
10. Rahmouni S., Negrou B., Settou N., Dominguez J., Gouareh A. Prospects of hydrogen production potential from renewable sources in Algeria. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2017. Vol. 42. P. 1383–1395. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.07.214>
11. Hassan H. Egyptian green hydrogen atlas based on available wind/solar energies: power, hydrogen production, cost, and CO₂ mitigation maps. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2023. Vol. 50B. P. 487–501. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.09.127>
12. Vartiainen E., Breyer C., Moser D., Medina E. R., Busto C., Masson G., Jager-Waldau G. True cost of solar hydrogen. *Solar RRL*. 2022. Vol. 6(5). Article 2100487. DOI: <https://doi.org/10.1002/solr.202100487>

13. Gouareh A., Settou N., Khalfi A. GIS-based analysis of hydrogen production from geothermal electricity using CO₂ as working fluid in Algeria. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2015. Vol. 40. P. 15244–15253. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.05.105>
14. Кудря С., Яценко Л., Шинкаренко Л., Ткаленко М. Електролітичне виробництво водню для вітро-водневих станцій. *Відновлювана енергетика*. 2023. № 3(74). С. 92–100. DOI: [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.3\(74\).92-100](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.3(74).92-100)
15. Кудря С. О., Репкін О. О., Яценко Л. В., Шинкаренко Л. Я., Ткаленко М. А. Концепція дорожньої карти розвитку водневої енергетики в Україні на період до 2035 року. *Відновлювана енергетика*. 2019. № 4. С. 22–28. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vien_2019_4_5
16. Пілотна карта потенціалу відновлюваних джерел енергії в Україні / Держенергоефективності, GIZ. Електрон. дані. Режим доступу: <https://uamap.org.ua/site/login> (дата звернення: 10.06.2025).
17. Карта об'єктів відновлюваних джерел енергії. DiXi Group. Електрон. дані. Режим доступу: <https://dixigroup.org/ekspert-dixi-group-pidhotuvav-kartu-ob-ektiv-vidnovliuvanykh-dzherel-enerhii/> (дата звернення: 10.06.2025).
18. H₂Atlas Africa. – Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE. Електрон. дані. Режим доступу: <https://africa.h2atlas.de/africa> (дата звернення: 10.06.2025).
19. HyPotential Hydrogen Infrastructure Map / Hydrogen Europe. Електрон. дані. Режим доступу: <https://www.h2inframap.eu/> (дата звернення: 10.06.2025).
20. European Hydrogen Backbone Maps / EHB Initiative. Електрон. дані. Режим доступу: <https://ehb.eu/page/h2-infrastructure-map> (дата звернення: 10.06.2025).
21. Hydrogen Europe – польський національний водневий проект. Електрон. дані. Режим доступу: <https://www.hydrogeneurope.eu/> (дата звернення: 10.06.2025).
- Thermofluids. 2024. Vol. 22. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2024.100597>
3. Cote E., Salm S. *Energy Policy*. 2022. Vol. 163. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2022.112821>
4. Atlas of the energy potential of renewable energy sources of Ukraine / ed. by S. O. Kudria. Kyiv: Institute of Renewable Energy of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2024. 56 p. Access mode: https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/atlas_2024_publication.pdf
5. Roucham B., Zaghdoud O. Mapping Green Hydrogen and Renewable Energy Research in Extended BRICS: A Bibliometric Approach with a Future Agenda. *Hydrogen*. 2024. Vol. 6(2). Article 33. DOI: <https://doi.org/10.3390/hydrogen6020033>
6. Pinto M. C., Gaeta M., Arco E., Boccardo P., Corgnati S. P. Mapping the suitability of North Africa for green hydrogen production: an application of a multi-criteria spatial decision support system combining GIS and AHP for Tunisia. *Energy, Sustainability and Society*. 2025. Vol. 15. Article 20. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13705-025-00512-4>
7. Timmeberg S., Kaltschmitt M. Hydrogen from renewables: supply from North Africa to Central EU as blend in existing pipelines. Potentials and costs // *Applied Energy*. – 2025. – Vol. 237. – P. 795–809. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.01.030>
8. Nasser M., Hassan H. Feasibility analysis and Atlas for green hydrogen project in MENA region: Production, cost, and environmental maps. *Solar Energy*. 2024. Vol. 268. Article 112326. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.solener.2024.112326>
9. Touili S., Alami M. A., Azouzoute A., El Hassouani Y., Amrani A. A technical and economical assessment of hydrogen production potential from solar energy in Morocco. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2018. Vol. 43. P. 22777–22796. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.10.136>
10. Rahmouni S., Negrou B., Settou N., Dominguez J., Gouareh A. Prospects of hydrogen production potential from renewable sources in Algeria. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2017. Vol. 42. P. 1383–1395. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2016.07.214>
11. Hassan H. Egyptian green hydrogen atlas based on available wind/solar energies: power, hydrogen production, cost, and CO₂ mitigation maps. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2023. Vol. 50B. P. 487–501. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.09.127>
12. Vartiainen E., Breyer C., Moser D., Medina E.R., Busto C., Masson G., Jager-Waldau G. True cost of solar hydrogen. *Solar RRL*. 2022. Vol. 6(5). Article 2100487. DOI: <https://doi.org/10.1002/solr.202100487>

REFERENCES

1. Bade Sh.O., Tomomewo O. S., Meenakshisundaram A., Ferron P., Oni B. A. Economic, social, and regulatory challenges of green hydrogen production and utilization in the US: A review. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2024. Vol. 49. Part D. P. 314–335. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2023.08.157>
2. Velasquez-Jaramillo M., García J.-G., Vasco-Echeverri O. Techno economic model to analyze the prospects of hydrogen production in Colombia. *International Journal of*

13. Gouareh A., Settou N., Khalfi A. GIS-based analysis of hydrogen production from geothermal electricity using CO₂ as working fluid in Algeria. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2015. Vol. 40. P. 15244–15253. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2015.05.105>
14. Кудря С., Яценко Л., Шинкаренко Л., Ткаленко М. Електролітичне виробництво водню для вітро-водневих станцій. *Відновлювана енергетика*. 2023. № 3(74). С. 92–100. DOI: [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.3\(74\).92-100](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2023.3(74).92-100)
15. Kudrya S. O., Repkin O. O., Yatsenko L. V., Shynkarenko L. Ya., Tkalenko M. A. Concept of a roadmap for the development of hydrogen energy in Ukraine for the period until 2035. *Renewable Energy*. 2019. No. 4. P. 22–28. Access mode: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vien_2019_4_5
16. Pilot map of the potential of renewable energy sources in Ukraine / State Agency for Energy Efficiency, GIZ. Electronic data. Access mode: <https://uamap.org.ua/site/login> (access date: 10.06.2025).
17. Map of renewable energy sources. DiXi Group. Electronic data. Access mode: <https://dixigroup.org/ekspert-dixi-group-pidhotuvav-kartu-ob-iektiv-vidnovliuvanykh-dzherel-enerhii/> (access date: 10.06.2025).
18. H₂Atlas Africa. – Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems ISE. [Electronic resource]. Available at: <https://africa.h2atlas.de/africa> (accessed: 10.06.2025).
19. HyPotential Hydrogen Infrastructure Map / Hydrogen Europe. [Electronic resource]. Available at: <https://www.h2inframap.eu/> (accessed: 10.06.2025).
20. European Hydrogen Backbone Maps / EHB Initiative. [Electronic resource]. Available at: <https://ehb.eu/page/h2-infrastructure-map> (accessed: 10.06.2025).
21. Hydrogen Europe – Polish national hydrogen project. [Electronic resource]. Available at: <https://www.hydrogeneurope.eu/> (accessed: 10.06.2025).