

УДК 330.332

DOI: <https://doi.org/10.37734/2409-6873-2025-3-19>

ІТ-ІНСТРУМЕНТИ В УПРАВЛІННІ ВИРОБНИЦТВОМ ЗЕЛЕНОГО ВОДНЮ

Т. В. КУКЛІНОВА

кандидат економічних наук, доцент,
доцент кафедри кібербезпеки,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1370-2883>

О. Є. ЧЕПУРНА

кандидат фізико-математичних наук, доцент,
доцент кафедри кібербезпеки,
Національний університет «Одеська юридична академія»
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1432-0799>

Є. Б. МЕЛЬНИК

викладач кафедри економіки підприємства
та організації підприємницької діяльності,
Одеський національний економічний університет
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-0044-0739>

Анотація. *Мета статті* полягає в дослідженні сучасних ІТ-інструментів для підвищення ефективності управління виробництвом зеленого водню в контексті сталого розвитку та енергетичного переходу. **Методика дослідження.** *Досягнення поставленої мети здійснено за допомогою таких методів дослідження:* аналіз, синтез, порівняння, узагальнення, формалізація. **Результати.** *Проаналізовано впровадження і проблеми реалізації зеленого водню в різних країнах світу. Показано, що впровадження штучного інтелекту (ШІ), систем підтримки прийняття рішень та інші ІТ-інструменти у процеси виробництва зеленого водню дозволяє оптимізувати витрати, підвищити рівень безпеки, автоматизувати контроль за показниками ефективності та адаптуватися до коливань попиту. Обґрунтовано необхідність формування цифро-вих екосистем у сфері водневого виробництва. Доведено, що цифровізація є критично важливою умовою масштабування виробництва зеленого водню та його інтеграції в європейський енергетичний ринок. Прак-тична значущість результатів дослідження* полягає в обґрунтуванні стратегічних підходів до цифрової трансформації управління водневою інфраструктурою на основі сучасних ІТ-рішень.

Ключові слова: *зелений водень, штучний інтелект, сталий розвиток, прийняття рішень, бізнес-аналітика, управління проектами.*

Постановка проблеми в загальному вигляді та зв'язок із найважливішими науковими чи практичними завданнями. Україна має усі передумови для становлення як ключового гравця на європейському водневому ринку. Однак реалізація цього потенціалу потребує комплексного підходу – поєднання техніко-економічної оцінки, гнучких управлінських моделей і адаптації до зовнішньополітичного та ринкового середовища. Вітчизняні та зарубіжні науковці висвітлюють потенціал цифрових технологій як ключових рушіїв управлінських трансформацій у сфері зеленої енергетики. В рамках глобального енергетичного переходу до декарбонізованої економіки, зелений водень розглядається як ключовий енергоресурс майбутнього.

Європейський Союз послідовно підтримує стратегії, спрямовані на розвиток водневої економіки, включаючи імпорт зеленого водню із третіх країн. Відповідно, Україна, завдяки своєму географічному розташуванню, розвиненій транзитній інф-

раструктурі та значному потенціалу у сфері відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), посідає стратегічне місце у майбутній системі постачання водню до ЄС.

Електроліз, основний процес виробництва зеленого водню, зазнає значних інновацій, щоб стати більш ефективним та економічно вигідним. Основна увага досліджень та розробок зосереджена на підвищенні загальної ефективності, розробці дешевших та довговічніших матеріалів, а також посиленні безперешкодної інтеграції з відновлюваними джерелами енергії.

Загальновідомо, що виробництво зеленого водню стикається з викликами, такими як варіативність відновлюваної енергії, високі витрати на обладнання та необхідність ефективного управління ресурсами. Отже, успішне масштабування виробництва зеленого водню вимагає не лише капіталовкладень та політичної підтримки, але й впровадження сучасних цифрових рішень у сфері управління енергетичними процесами. ІТ-інструменти стають критично важли-

вими для забезпечення ефективного функціонування водневих кластерів, автоматизації виробничих систем, моніторингу технічних показників та прийняття оперативних управлінських рішень у реальному часі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Воднева енергетика розглядається сучасними дослідниками як ключовий інструмент глибокої декарбонізації енергетичних систем, що відповідає глобальним цілям сталого розвитку та Європейському зеленому курсу. Так, Тащев Ю. [1] акцентує увагу на зеленому водні як основі для зменшення викидів парникових газів, підкреслюючи його потенціал для модернізації енергетичних систем України.

А комплексний аналіз світових тенденцій у цій галузі було проведено Шрайбер О., Дубровським В. та Тесленко О. [2], які вказують на зростання інвестицій у водневі технології та їхнє інтегрування в інфраструктуру розвинених країн. Також питання національного розвитку водневої енергетики висвітлено у праці Лопушанської М. та Іванова Є. [3], які ідентифікують бар'єри впровадження водневих проєктів в Україні.

У свою чергу, Колесніков В. [4] фокусує увагу на міжгалузевому потенціалі зеленого водню, обґрунтовуючи доцільність його застосування в транспорті, металургії, хімічній промисловості тощо. Доповнюючи вищезазначене, підкреслимо, що Горбаченко С., досліджує менеджмент кібербезпеки як складову сучасного управління, що має значення для захисту автоматизованих систем контролю та управління процесами виробництва зеленого водню, особливо в умовах гібридних загроз [5].

Практичні кроки до реалізації водневої стратегії України розглядає Гуменюк О. [6], яка розглядає її як складову частину Європейського зеленого курсу, підкреслюючи геополітичне значення енергетичної незалежності від російського викопного палива.

На важливості узгодження української політики з європейськими стратегічними докумен-

тами наголошують Глушко О. та Підлісна О. [7], які розглядають місце України у формуванні єдиного водневого ринку ЄС та необхідність інтеграції до спільних інфраструктурних проєктів.

Таким чином, наявна література свідчить про високу актуальність розвитку водневої енергетики в Україні як з точки зору декарбонізації, так і з позицій енергетичної безпеки. Подальші дослідження мають зосередитись на розробці нової парадигми «розумного» управління зеленою водневою енергетикою для повоєнного відновлення України.

Формування цілей статті (постановка завдання) – дослідження сучасних ІТ-інструментів, що забезпечують ефективне управління виробництвом зеленого водню в умовах сталого розвитку.

Основні завдання статті:

Цілі статті:

- проаналізувати стан впровадження зеленого водню та проблеми, пов'язані з його реалізацією в різних країнах світу;
- дослідити роль ІТ-інструментів у процесах виробництва зеленого водню;
- визначити вплив цифрових технологій на оптимізацію витрат, підвищення безпеки, автоматизацію контролю за показниками ефективності та адаптацію до коливань попиту;
- обґрунтувати необхідність формування цифрових екосистем у сфері водневого виробництва.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Потенціал України у сфері виробництва зеленого водню становить близько 44,96 мільйона тонн. Попри це, на сьогодні в Україні щорічно виробляється приблизно 360 тис. тонн водню, переважно для потреб хімічної промисловості (виробництво аміаку), що становить лише 0,5% від світового попиту [8].

Повномасштабна війна призупинила будівництво нових об'єктів. У Таблиці 1 наведений ана-

Таблиця 1

Аналіз ключових проєктів водневої енергетики в Україні

Компонент	Перша воднева долина (Одеська область)	Друга воднева долина (Закарпатська область)
Площа	—	120 га
Потужність електролізера	100 МВт (розширення до 200 МВт)	1100 МВт (перспектива розширення до 1500 МВт)
Джерела живлення	– Сонячні станції – 80 МВт – Вітрові турбіни – 120 МВт	Вітрові турбіни
Кінцевий споживач	Можлива інтеграція в експортну інфраструктуру	Місцевий металургійний завод
Транспортна інфраструктура	Заплановано прокладання спеціального водневого трубопроводу	Потенційне підключення до логістичних маршрутів Закарпаття
Стратегічне значення	Вихід до Чорного моря і логістичний хаб для експорту	Близькість до кордону ЄС, потенційне з'єднання з європейською водневою мережею
Можливість інтеграції в ЄС	Через порти півдня України	Так, через транскордонні водневі коридори (Словаччина, Угорщина)

Джерело: побудовано автором на основі [9]

ліз двох найбільших проєктів «Воднева долина H2U», що реалізується українською компанією Hydrogen LLC у межах глобальної ініціативи Mission Innovation.

Також ще один проєкт «Центральноєвропейський водневий коридор» передбачає створення масштабного інфраструктурного маршруту для транспортування водню з України до Центральної Європи, що є ключовим елементом інтеграції в енергетичний ринок ЄС. Уряд також затвердив Національний план дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 року та план дій щодо його реалізації. Його метою є збільшення частки відновлюваної енергії у валовому кінцевому споживанні до 27% до 2030 року. Загальна мета плану полягає в досягненні 27% частки відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) у валовому кінцевому споживанні енергії до 2030 року.

Для досягнення цієї мети передбачено конкретні цільові показники в окремих секторах: у сфері теплопостачання та холодопостачання заплановано досягти 33% частки ВДЕ, у виробництві електроенергії – 29%, а в транспортному секторі – 17%. Окрему увагу приділено розвитку відновлюваних газів, зокрема біометану та зеленого водню.

План передбачає нарощування виробництва біометану до 21,8 мільярда кубометрів на рік, а зеленого водню – до 44 957 тисяч тонн на рік. Для забезпечення виконання цих амбітних завдань розроблено 38 заходів, з яких 33 спрямовані на удосконалення нормативно-правової бази та організаційне забезпечення розвитку ВДЕ. Ці заходи мають створити сприятливі умови для інвесторів, прискорити інтеграцію ВДЕ у всі сектори енергетики та підтримати зелений перехід України [10].

Україна має усі передумови для становлення як ключового гравця на європейському водне-

вому ринку. Однак реалізація цього потенціалу потребує комплексного підходу – поєднання техніко-економічної оцінки, гнучких управлінських моделей і адаптації до зовнішньополітичного та ринкового середовища.

Розглянемо міжнародний досвід та масштаби реалізованих і перспективних проєктів у сфері зеленого водню, які демонструють потужний глобальний тренд на декарбонізацію та енергетичну трансформацію.

Вивчення подібних ініціатив дозволяє краще усвідомити виклики та можливості, що постають перед Україною на шляху до становлення як водневої держави (Таблиця 2).

Азіатсько-Тихоокеанський регіон наразі лідирує на ринку, на нього припадає понад 47,22% частки доходу у 2024 році, і прогнозується зростання зі середньорічним темпом зростання 41,96%.⁵² Цей регіон включає Китай, який вже є найбільшим у світі споживачем і виробником водню, де розташований найбільший існуючий об'єкт «зеленого» водню в Сінцзяні. Європа являє собою значний ринок, оцінений у 2 065,24 млн доларів США у 2024 році та зростаючий зі середньорічним темпом зростання 38,30%. Європейський Союз поставив перед собою амбітні цілі щодо виробництва 10 мільйонів тонн та імпорту додаткових 10 мільйонів тонн відновлюваного водню до 2030 року, позиціонуючи себе як лідера у сфері політики стимулювання попиту. Ринок США, оцінений у 1 311,90 млн доларів США у 2024 році зі середньорічним темпом зростання 39,34%, значною мірою залежить від політики підтримки, передбаченої Законом про скорочення інфляції [11].

Окрім цих усталених ринків, Саудівська Аравія, Австралія та Індія стають ключовими

Таблиця 2

Світові проєкти з виробництва зеленого водню

Проєкт	Локація	Потужність / Виробництво	Очікуваний запуск
NEOM (Saudi Arabia)	Саудівська Аравія	600 т/день (~1,2 млн т/рік)	2027
Western Green Energy Hub	Австралія	3,5 млн т/рік(Ж)/20 млн т аміаку	До 2030
HyDeal Ambition	Іспанія	9,5 ГВт / 7,4 ГВт	2025
Green Energy Oman	Оман	1,8 млн т/рік	Фаза запуску
AMAN (Mauritania)	Мавританія	1,7 млн т водню, 10 млн т аміаку	Feasibility завершено у 2025
Pembroke	UK	100 МВт / ~93 000 т/рік	2027
Lingen (BP)	Німеччина	100 МВт / ~11 000 т/рік	2027
FH2R (Японія)	Японія	1,200 Nm ³ /год (~діюча)	3 2020 року
Plug Power (6 plants)	США	до 45 т/день	3 2025-27
Air Products/AES	Техас, США	>200 т/день (~1,4 ГВт)	2027
Shell H2 1	Нідерланди	200 МВт / ~60 т/день	2025
Frigg (Everfuel)	Данія	до 2 ГВт (~10 000 т/рік)	~2028
HH2E (Lubmin)	Німеччина	~6 000 т/рік (з можливістю масштабування)	2025

Джерело: побудовано автором на основі [11]

гравцями, лідируючи на ринку зеленого водню завдяки розвитку великомасштабних виробничих установок та амбітним національним стратегіям, спрямованим на те, щоб стати основними світовими постачальниками.

Отже, ринок зеленого водню переживає період трансформації. Високі економічні витрати, неефективність перетворення, складність зберігання та необхідність жорстких правил транспортування та безпеки залишаються постійними перешкодами. Затримки проєктів, обмежені інвестиції та відсутність твердих зобов'язань щодо відбору також є перешкодами. Очікується, що падіння вартості зеленого водню відкриє двері для нових застосувань. Але сильна політична підтримка, державні стимули та інвестиції приватного сек-

тору активно прискорюють дослідження та розвиток інфраструктури.

Виробництво зеленого водню стикається з викликами, такими як варіативність відновлюваної енергії, високі витрати на обладнання та необхідність ефективного управління ресурсами. ІТ-інструменти не лише підвищують ефективність і надійність виробництва зеленого водню, а й є критично важливими для відповідності міжнародним стандартам, зменшення викидів і сталого розвитку. (Таблиця 3).

Водневе виробництво характеризується високим рівнем технологічної складності, потребою у постійному моніторингу процесів, управлінні ризиками та гнучкому реагуванні на зміни попиту й цін. Інтеграція цифрових інструментів – таких

Таблиця 3

ІТ-інструменти в управлінні виробництвом зеленого водню

№	ІТ-інструмент	Призначення	Переваги	Приклади використання
1	SCADA-системи	Моніторинг і керування виробничими процесами в реальному часі	Автоматизація, зниження людського фактора, оперативне реагування	Siemens SCADA в проєкті H2 Future (Австрія)
2	Цифрові двійники	Віртуальне моделювання, тестування сценаріїв, оптимізація обладнання	Зменшення витрат на простої та обслуговування, прогнозування несправностей	ABB застосовує Digital Twin у водневих системах у Швеції
3	IoT (Інтернет речей)	Сенсорний контроль параметрів електролізу, енергії, тиску, температури	Безперервний контроль, запобігання аваріям, оптимізація енерговитрат	ITM Power використовує IoT у водневих електролізерах (Велика Британія)
4	ШІ (AI/ML)	Прогнозування споживання, оптимізація роботи, адаптивне планування	Підвищення ефективності, зменшення втрат енергії	Shell використовує AI для оптимізації виробництва зеленого водню в Нідерландах
5	ERP-системи	Управління всіма ресурсами та процесами підприємства	Єдина система для прийняття рішень, планування виробництва	SAP ERP у H2 Green Steel (Швеція)
6	Blockchain	Сертифікація походження зеленого водню, безпечний обіг даних	Прозорість, довіра для партнерів, відповідність міжнародним стандартам	THERM GmbH and Siemens Energy (Німеччина)
7	GIS -системи	Просторовий аналіз для розміщення виробництва поблизу відновлюваних джерел	Оптимізація логістики, використання локальних енергоносіїв	GIS-аналіз у проєкті HyDeal Ambition (Іспанія, Франція, Німеччина)
8	Системи моніторингу та контролю	Керування відновлюваною енергією та накопичувачами енергії	Інтеграція PXiSE або Rockwell Automation для балансування енергосистеми	Rockwell Automation у проєктах водневих батарей у США
9	Сертифікація та аналітика	Відстеження походження водню та відповідність нормативам ЄС	Blockchain-платформи для GoO, аналітика для ESG-звітності	CertifHy (ЄС), EnergyTag (міжнародна ініціатива)
10	Симуляційне програмне забезпечення	Віртуальне тестування та моделювання процесів виробництва	AVEVA Process Simulation для інженерного аналізу й оптимізації	AVEVA у проєктах TotalEnergies (Франція)
11	AI для водневих процесів	Оптимізація роботи електролізерів, зменшення втрат та споживання енергії	Siemens Hydrogen Performance Suite – AI для ефективності	Siemens H2Opti в німецьких водневих хабах

Джерело: побудовано автором на основі [12–18]

як ШІ, SCADA-системи та цифрові платформи управління – дозволяє створити взаємопов’язане середовище, в якому дані в режимі реального часу використовуються для прийняття рішень, прогнозування ефективності та оптимізації витрат. Така цифрова екосистема сприяє узгодженню дій учасників ринку (виробників, операторів мереж, споживачів, регуляторів), підвищує прозорість ланцюгів постачання водню, забезпечує відповідність екологічним нормам ЄС та створює основу для стійкої і конкурентоспроможної водневої економіки.

Ринок зеленого водню зараз переживає період, який часто називають «долиною смерті», де існуюча політика створення попиту ще недостатня для того, щоб зробити всі проекти комерційно життєздатними або «прийнятними для банків». Ця ситуація означає, що хоча довгострокове бачення зеленого водню є сильним, негайним завданням є подолання розриву у витратах та стимулювання стійкого, нечутливого до ціни попиту.

Таким чином, необхідно:

- Розробити та впровадити ІТ-інструменти для оптимізації процесів виробництва зеленого водню, включаючи електроліз, зберігання та розподіл.
- Знизити витрати на виробництво на 20–30% за рахунок автоматизації та прогнозової аналітики, базуючись на технологіях, таких як цифрові двійники та AI.
- Сприяти інтеграції відновлюваних джерел енергії в промислові процеси, з акцентом на європейські стандарти сталості.

Сектор зеленого водню зараз перебуває у динамічній фазі швидкого зростання, що характеризується значними глобальними інвестиціями, амбітними національними стратегіями та постійними технологічними інноваціями. Великі промислові гравці ефективно використовують свою існуючу інфраструктуру та великий досвід для прискорення впровадження, тоді як спеціалізовані фірми стимулюють критично важливі досягнення

в технологіях електролізерів та паливних елементів. Масштабні проекти зеленого водню активно розробляються в багатих на ресурси регіонах, що сигналізує про неминучу появу глобальної торговельної мережі, де зелений аміак все частіше визнається ключовим вектором для міжнародних перевезень.

Висновки із зазначених проблем і перспективи подальших досліджень у поданому напрямі. Формування цифрових екосистем у сфері водневого виробництва є необхідною умовою для забезпечення ефективності, безпеки та масштабованості цього перспективного сектору енергетики. ІТ-інструменти, включаючи програмне забезпечення для симуляції процесів можуть вирішити ці проблеми. На наш погляд, необхідно підвищити інституційну спроможність громад реалізовувати пілотні проекти водневих долин через гранти, освітні програми та міжнародне технічне партнерство та інтегрувати водневу економіку в післявоєнну стратегію відновлення, з акцентом на децентралізовану енергетику, індустриальні парки та експорт. ІТ-інструменти є критично важливими для сталого розвитку виробництва зеленого водню. Вони дозволяють ефективно керувати процесами, знижувати витрати та відповідати вимогам «зеленого переходу» в Європі. Інтеграція ІТ-технологій – це не лише технологічна потреба, а й стратегічна перевага для України у становленні як регіонального лідера у сфері водневої енергетики.

Метою подальшого дослідження є обґрунтування механізмів формування і реалізації комплексної цифрової стратегії управління виробництвом зеленого водню із залученням сучасних ІТ-інструментів. Особливу увагу буде приділено інтеграції цифрових двійників, блокчейну та ШІ в єдину управлінську екосистему. Це дозволить забезпечити адаптивність, прозорість і енергоефективність водневого виробництва. Також важливим аспектом є розробка моделей цифрової сертифікації та відповідності екологічним стандартам ЄС.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ташеев Ю. В. Зелений водень як основа декарбонізації енергетичних систем. *Економіка підприємства: сучасні проблеми теорії та практики*. Одеса. 2020. С. 94.
2. Шрайбер О. А., Дубровський В. В., Тесленко О. І. Сучасний стан і перспективи розвитку водневої енергетики у світі. *Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. 2021. Т. 32. № 71. С. 199–209.
3. Лопушанська М. Р., Іванов Є. А. Воднева енергетика в Україні: проблеми і перспективи розвитку. *Сталий розвиток: захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування*. Львів: ЗУКЦ. 2021. С. 72.
4. Колесніков В. О. Перспективи використання зеленого водню для різних технічних галузей. *Актуальні питання, проблеми та перспективи розвитку науки та освіти* : матеріали I всеукраїнської міждисциплінарної науково-практичної конференції (м. Полтава, 27–28 квітня 2022 року). Полтава : Вид-во ДЗ «Луганський національний університет імені Тараса Шевченка», 2022. С. 27–28.
5. Горбаченко С. Місце менеджменту кібербезпеки у сучасній управлінській науці та практиці. *Сталий розвиток економіки*. 2024. 1(48). С. 144–149. DOI: <https://doi.org/10.32782/2308-1988/2024-48-19> (дата звернення: 08.07.2025).

6. Гуменюк О. М. Впровадження водневої стратегії України – як частини Європейського зеленого курсу з досягнення кліматичної нейтральності та ключа до енергетичної незалежності від російського палива. *Бюлетень «DAK GPS»*. 2022. № 1. С. 15–18.
7. Глушко О., Підлісна О. Місце і роль України у водневій стратегії ЄС. *Розвиток підприємництва як фактор росту національної економіки*. 2024. № 23. С. 118.
8. CMS (Legal Services). CMS Expert Guide to Hydrogen: Ukraine. 2024. URL: https://cms.law/en/int/expert-guides/cms-expert-guide-to-hydrogen/ukraine?utm_source=chatgpt.com (дата звернення: 08.07.2025)
9. ТОВ «Водень України» (H2U). Проєкти компанії. URL: <https://h2u.ua/ua/proekty/> (дата звернення: 08.07.2025)
10. Про затвердження Національного плану дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 року та плану заходів з його виконання: розпорядження від 13 серп. 2024 р. № 761-р. *Офіційний вісник України*. Київ, 2024. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/761-2024-r#Text> (дата звернення: 08.07.2025)
11. The Global Green Hydrogen Landscape: Key Developments, Trends, and Future Outlook. 2025. URL: https://www.hydrogennewsletter.com/full-report-the-global-green-hydrogen-landscape-key-developments-trends-and-future-outlook/?utm_source (дата звернення: 08.07.2025)
12. Global Hydrogen Review. 2022. URL: <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2022> (дата звернення: 08.07.2025)
13. Siemens Energy. Hydrogen Digital Twin Suite. 2023. URL: <https://www.siemens-energy.com/global/en/home/products-services/product-offerings/hydrogen-solutions.html> (дата звернення: 08.07.2025)
14. Askr H., Basha S.H., Abdelnabi N.M.M., Elgeldawi E., Darwish A., Hassanien A.E. Artificial intelligence for sustainable green hydrogen production: A systematic literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2025. Vol. 224. Article ID 116071. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.116071> (дата звернення: 08.07.2025)
15. Dincer I., Acar C. Smart energy solutions with hydrogen options. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2018. Vol. 43. № 18. P. 8579–8599. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.03.120>. (дата звернення: 08.07.2025)
16. Azadeh A., Babazadeh R., Asadzadeh S.M. Optimum estimation and forecasting of renewable energy consumption by artificial neural networks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2013. Vol. 27. P. 605–612. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.07.007>. (дата звернення: 08.07.2025)
17. Kabir M.M., Roy S.K., Alam F., Nam S.Y., Im K.S., Tijing L., Shon H.K. Machine learning-based prediction and optimization of green hydrogen production technologies from water industries for a circular economy. *Desalination*. 2023. Vol. 567. P. 116992. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2023.116992>. (дата звернення: 08.07.2025)

REFERENCES

1. Tashcheiev Yu. V. (2020). Zelenyi voden yak osnova dekarbonizatsii enerhetychnykh system [Green hydrogen as the basis for decarbonization of energy systems]. *Ekonomika pidpriemstva: suchasni problemy teorii ta praktyky – Economics of the Enterprise: Modern Problems of Theory and Practice*, p. 94. Odesa. [in Ukrainian].
2. Shraiber O. A., Dubrovskiy V. V., Teslenko O. I. (2021). Suchasnyi stan i perspektyvy rozvytku vodnevoyi enerhetyky u sviti [Current state and prospects for the development of hydrogen energy in the world]. *Vcheni zapysky TNU imeni V. I. Vernadskoho. Seriya: Tekhnichni nauky – Scientific Notes of V. I. Vernadsky Tavrida National University. Series: Technical Sciences*, vol. 32(71), pp. 199–209. [in Ukrainian].
3. Lopushanska M. R., Ivanov Ye. A. (2021). Vodneva enerhetyka v Ukraini: problemy i perspektyvy rozvytku [Hydrogen energy in Ukraine: Problems and prospects of development]. *Stalyi rozvytok: zakhyst navkolyshnoho seredovyscha. Enerhooshchadnist. Zbalansovane pryrodokorystuvannia – Sustainable Development: Environmental Protection. Energy Efficiency. Balanced Nature Use*. Lviv: Zakhidno-Ukrainskyi Konsaltnykh Tsentr (ZUKTs), p. 72. [in Ukrainian].
4. Kolesnikov V. O. (2021). Perspektyvy vykorystannia zelenoho vodniu dlia riznykh tekhnichnykh haluzei [Prospects for the use of green hydrogen in various technical sectors]. *Aktualni pytannia, problemy ta perspektyvy rozvytku nauky ta osvity: Current Issues, Problems and Prospects of Science and Education Development*, pp. 27–28. [in Ukrainian].
5. Horbachenko S. (2024). Mistse menedzhmentu kiberbezpeky u suchasni upravlinnyi nantsi ta praktytsi [The role of cybersecurity management in modern management science and practice]. *Stalyi rozvytok ekonomiky – Sustainable Development of Economy*, vol. 1(48), pp. 144–149. DOI: <https://doi.org/10.32782/2308-1988/2024-48-19> (accessed July 8, 2025). [in Ukrainian].
6. Humeniuk O. M. (2022). Vprovadzhennia vodnevoyi stratehii Ukrainy – yak chastyny Yevropeiskoho zelenoho kursu z dosiahnennia klimatychnoi neitralnosti ta klucha do enerhetychnoi nezalezhnosti vid rosiiskoho palyva [Implementation of Ukraine's hydrogen strategy – as part of the European Green Deal to achieve climate neutrality and energy independence from Russian fuel]. *Biuletyn «DAK GPS»*, no. 1, pp. 15–18. [in Ukrainian].
7. Hlushko O., Pidlisna O. (2024). Mistse i rol Ukrainy u vodnevii stratehii YeS [Ukraine's place and role in the EU hydrogen strategy]. *Rozvytok pidpriemnytstva yak faktor rostu natsionalnoi ekonomiky – Development of Entrepreneurship as a Factor of National Economic Growth*, no. 23, p. 118. [in Ukrainian].
8. CMS (Legal Services). (2024). CMS Expert Guide to Hydrogen: Ukraine. Available at: https://cms.law/en/int/expert-guides/cms-expert-guide-to-hydrogen/ukraine?utm_source=chatgpt.com (accessed: 08.07.2025).
9. TOV “Voden Ukrainy” (H2U). Proiekty kompanii [Company projects]. Available at: <https://h2u.ua/ua/proekty/> (accessed: 08.07.2025). [in Ukrainian].
10. Kabinet Ministriv Ukrainy. (2024, August 13). Pro zatverdzhennia Natsionalnogo planu dii z vidnovliuvanoi enerhetyky na period do 2030 roku ta planu zakhodiv z yoho vykonannia: Rozporiadzhennia № 761-p [On the approval of

the National Renewable Energy Action Plan until 2030 and the action plan for its implementation: Order No. 761-r]. *Ofitsiyni Visnyk Ukrainy*. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/761-2024-p#Text> (accessed: 08.07.2025). [in Ukrainian].

11. The Global Green Hydrogen Landscape: Key Developments, Trends, and Future Outlook. (2025). Available at: https://hydrogennewsletter.com/full-report-the-global-green-hydrogen-landscape-key-developments-trends-and-future-outlook/?utm_source (accessed: 08.07.2025).

12. International Energy Agency (IEA). (2022). Global Hydrogen Review 2022. Available at: <https://www.iea.org/reports/global-hydrogen-review-2022> (accessed: 08.07.2025).

13. Siemens Energy. (2023). Hydrogen Digital Twin Suite. Available at: <https://www.siemens-energy.com/global/en/home/products-services/product-offerings/hydrogen-solutions.html> (accessed: 08.07.2025).

14. Askr H., Basha S. H., Abdelnapi N. M. M., Elgeldawi E., Darwish A., Hassanien A. E. (2025). Artificial intelligence for sustainable green hydrogen production: A systematic literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, no. 224, Article 116071. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2025.116071> (accessed: 08.07.2025).

15. Dincer I., Acar C. (2018). Smart energy solutions with hydrogen options. *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 43(18), pp. 8579–8599. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.03.120> (accessed: 08.07.2025).

16. Azadeh A., Babazadeh R., Asadzadeh S. M. (2013). Optimum estimation and forecasting of renewable energy consumption by artificial neural networks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, no. 27, pp. 605–612. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.07.007> (accessed: 08.07.2025).

17. Kabir M. M., Roy S. K., Alam F., Nam S. Y., Im K. S., Tijing L., Shon H. K. (2023). Machine learning-based prediction and optimization of green hydrogen production technologies from water industries for a circular economy. *Desalination*, no. 567, 116992 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.desal.2023.116992> (accessed July 8, 2025).

Tetiana Kuklinova, Olena Chepurna, National University “Odesa Law Academy”, **Ievgen Melnyk**, Odesa National Economic University. **It tools in the management of green hydrogen production.**

Annotation. The goal of the article is to study modern IT tools to improve the efficiency of green hydrogen production management in the context of sustainable development and energy transition. **Research methodology.** The goal was achieved using the following research methods: analysis, synthesis, comparison, generalization, formalization. **Results.** The results show that the implementation of IT solutions enables the optimization of operational costs, enhances safety, automates monitoring of performance indicators, and supports flexible adaptation to demand fluctuations. The necessity of developing digital ecosystems for hydrogen production is substantiated as a prerequisite for accelerating innovation and ensuring cross-sectoral data integration. The study analyzes key green hydrogen projects in Ukraine and global flagship initiatives, highlighting best practices and strategic gaps. Despite significant growth in the sector, the production of green hydrogen continues to face systemic challenges, including the intermittency of renewable energy sources, high capital costs for electrolysis infrastructure, and the need for effective resource management. The research justifies the implementation of IT tools in managing green hydrogen production, emphasizing the need to develop and apply intelligent systems to optimize processes across the value chain – from electrolysis and energy storage to logistics and distribution. Additionally, the paper stresses the importance of aligning industrial processes with European sustainability standards and facilitating the integration of renewable energy sources into hydrogen systems. The green hydrogen sector is currently in a dynamic phase of rapid expansion, characterized by large-scale global investments, ambitious national strategies, and continuous technological innovation. **The practical significance of the research results** lies in substantiating strategic approaches to the digital transformation of hydrogen infrastructure management based on modern IT solutions.

Keywords: green hydrogen, artificial intelligence, sustainable development, decision-making, business analytics, project management.