

УДК 351.824.11

Івкін Віктор Іванович

*аспірант кафедри публічного управління, туризму та готельно-ресторанної справи
Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського*

Ivkin Viktor

*Postgraduate Student of the public administration, tourism and hotel and restaurant business
Vernadsky Taurida National University*

ORCID: 0000-0001-6265-1085

DOI: 10.25313/2617-572X-2025-12-11734

АГРОВОЛЬТАІКА: СВІТОВИЙ ДОСВІД ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ В УКРАЇНІ

AGROVOLTAICS: WORLD EXPERIENCE AND PROSPECTS OF IMPLEMENTATION IN UKRAINE

Анотація. Вступ. Сучасні тенденції глобального розвитку вимагають вирішення таких найгостріших питань, як то охорона та збереження навколишнього середовища, а також задоволення максимально зростаючих енергетичних потреб кожної країни. Відповідно постають питання пошуку додаткових економічно ефективних, екологічно чистих джерел енергоресурсів. Відновлювальні джерела енергії мають значний потенціал і при застосуванні відповідних передових технологій можуть в значній мірі вирішити поставлене завдання. Сонячна енергетика є однією з найрозвиненіших галузей відновлюваної енергетики і переваги сонячної генерації порівняно з традиційними джерелами одержання енергії є безперечними.

Метою статті є дослідження зарубіжного досвіду використання відновлюваної енергетики і, зокрема, агровольтаїки, та перспектив впровадження такого досвіду в Україні в контексті виконання завдань програми стратегії сталого розвитку країни та забезпечення її енергонезалежності і продовольчої безпеки.

Матеріали і методи. У процесі дослідження було використано теоретичні та емпіричні методи пізнання, загальнонаукові методи: теоретичного узагальнення; аналізу механізмів державного управління щодо використання відновлюваної енергетики в різних країнах світу, а також інструментів державного управління та стимулювання впровадженням технологій агровольтаїки; методи аналогій та абстрагування.

Результати. У результаті проведеного дослідження досягнуто висновку, що структура світової енергетики у найближчим часом сильно диверсифікується, що сприятиме розвитку конкуренції між різними видами енергії, між країнами та регіонами. Розглянуто стан та перспективи розвитку світової сонячної енергетики та одного з актуальних її напрямів – агровольтаїки. У статті досліджено теоретичні засади позитивного впливу альтернативної енергетики та, зокрема, агровольтаїки, на розвиток сільського господарства, яке, будучи однією з найважливіших для країни галузей економіки, має всі передумови для впровадження інноваційних технологій, які сприятимуть використанню чистої енергетики, захисту екології та підвищення ефективності сільського господарства. Виявлено країни-лідери у сфері використання енергії сонця (Китай, Німеччина, Італія, США, Японія) та проаналізовано заходи, які були прийняті в цих країнах та стимулювали бурхливе зростання в них сонячної генерації. Результати дослідження свідчать, що успішний розвиток альтернативної енергетики та агровольтаїки у провідних країнах світу забезпечується за рахунок державної підтримки, чітко визначеної нормативно-правової бази, ефективних механізмів фінансування та потужної інформаційної політики в підтримку нових технологій. Загальні висновки дослідження можуть бути основою для формування наукового підґрунтя впровадження агровольтаїки в Україні.

Перспективи. Подальші дослідження доцільно спрямувати на удосконалення механізмів реалізації державної політики щодо впровадження технологій агровольтаїки в Україні.

Ключові слова: агровольтаїка, відновлювана енергетика, державна політика, сільське господарство, світовий досвід, енергоефективність, законодавство.

Summary. Introduction. Modern trends in global development require solving such pressing issues as environmental protection and preservation, as well as meeting the maximum growing energy needs of each country. Accordingly, the question of finding additional cost-effective, environmentally friendly sources of energy arises. Renewable energy sources have significant potential and, when using appropriate advanced technologies, can largely solve the task. Solar energy is one of the most developed branches of renewable energy and the advantages of solar generation compared to traditional sources of energy are undeniable.

The purpose of the article is to study foreign experience in the use of renewable energy and, in particular, agrovoltatics and the prospects for implementing such experience in Ukraine in the context of fulfilling the tasks of the country's sustainable development strategy program and ensuring its energy independence and food security.

Materials and methods. In the research process, theoretical and empirical methods of cognition, general scientific methods were used: theoretical generalization; analysis of mechanisms of state management regarding the use of renewable energy in different countries of the world, as well as instruments of state management and stimulation of the introduction of agrovoltatics technologies; methods of analogies and abstraction.

Results. As a result of the conducted research, the conclusion was reached that the structure of the world energy sector will be highly diversified in the near future, which will contribute to the development of competition between different types of energy, between countries and regions. The state and prospects for the development of world solar energy and one of its current directions – agrovoltatics are considered. The article examines the theoretical principles of the positive impact of alternative energy and, in particular, agrovoltatics on the development of agriculture, which, being one of the most important sectors of the economy for the country, has all the prerequisites for the introduction of innovative technologies that will contribute to the use of clean energy, environmental protection and increasing the efficiency of agriculture. The leading countries in the use of solar energy (China, Germany, Italy, USA, Japan) were identified and the measures that were taken in these countries and stimulated the rapid growth of solar generation in them were analyzed. The results of the study indicate that the successful development of alternative energy and agrovoltatics in the leading countries of the world is ensured by state support, a clearly defined regulatory framework, effective financing mechanisms and a powerful information policy in support of new technologies. The general conclusions of the study can be the basis for forming a scientific basis for the implementation of agrovoltatics in Ukraine.

Prospects. Further research should be directed at improving the mechanisms for implementing state policy on the implementation of agrovoltatics technologies in Ukraine.

Key words: agrovoltatics, renewable energy, state policy, agriculture, world experience, energy efficiency, legislation.

Постановка проблеми. У контексті сучасної парадигми сталого розвитку має відбуватися перехід економіки на відновлювані джерела енергії. Також актуальними залишаються питання підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва, яке забезпечить виконання стратегії сталого розвитку щодо продовольчої безпеки. Досвід різних країн щодо формування національних стратегій сталого розвитку енергетики в напрямку збільшення в її структурі відновлюваної енергетики та механізмів стимулювання ефективного розвитку сільського господарства має велике значення для України. Водночас одним з важливих напрямів розвитку як енергетики так і сільського господарства є технологія агровольтаїки, яка останніми роками значними темпами впроваджується в багатьох країнах світу, досягаючи високих результатів. Водночас, вивчення міжнародного досвіду є необхідним елементом у формуванні вітчизняної стратегії розвитку агровольтаїки з метою забезпечення сільськогосподарського виробництва енергією та сприяти підвищенню його ефективності, а також побудови відповідних засад державної політики в сфері енергозабезпечення. Крім того, розвиток відновлюваної енергетики для України є одним із першочергових завдань щодо підвищення її енергетичної та екологічної безпеки. Адже, в першу чергу, це необхідність зменшення імпорту іноземних енергоносіїв і досягнення енергетичної незалежності. По-друге, Україна повинна виконувати міжнародні

зобов'язання, які взяла на себе, зокрема, в рамках Паризької угоди 2015 року [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Дослідження альтернативних джерел енергії постійно ведуться як українськими, так і закордонними науковцями. Зокрема, цією проблемою займалися такі дослідники як І. Бланк, Дж. Роджерс, В. Герасимчук, С. Кудря, Л. Матвійчук, А. Прокіп, Г. Півняк, Ф. Шкрабець, С. Бойченко та інші. Агровольтаїці присвячені наукові дослідження канадських вчених У. Джаміля, Д.М Пірса, хорватського науковця Д. Матуліч, а також численні дослідження науковців з Польщі — Kuaban Godlove, Czekalski Piotr, Nwobodo Onyeka, Sell Raivo, Tabah. Водночас, з метою впровадження агровольтаїки в Україні існує потреба в більш глибокому аналізі закордонного досвіду використання технологій агровольтаїки.

Формулювання цілей статті. Метою дослідження є здійснення аналітичного огляду та узагальнення зарубіжного досвіду впровадження агровольтаїки з метою виявлення найкращих практик, які можуть бути адаптовані до умов України.

Виклад основного матеріалу дослідження.

Альтернативна енергетика — це підхід до виробництва енергії, що ґрунтується на використанні відновлюваних природних ресурсів та технологій, які не завдають шкоди довкіллю. Вона використовує сонячну, вітрову, водну та геотермальну енергію, що забезпечує її довгострокову доступність. Важливою

перевагою такого виду енергії є мінімальні викиди парникових газів, що сприяє зменшенню негативно-го впливу на клімат та збереженню екосистем. Крім того, розвиток альтернативної енергетики має велике значення у сучасних умовах геополітичних викликів, оскільки стабільність функціонування енергетичного сектора визначає рівень національної безпеки. Відповідно, всі країни світу ставлять завдання щодо доступу до різних видів енергії з метою збільшення її загального обсягу. Адже тільки у 2024 році відбулося зростання глобального попиту на електроенергію на 2,2%, що в загальному підсумку перевищило середньорічні показники споживання енергії за останнє десятиліття. Втім за прогнозом Міжнародного енергетичного агентства (МЕА) до 2035 року споживання електроенергії в світі досягне до 32 трлн. кВт/год із встановленою потужністю 5900 ГВт, а в структурі такого обсягу споживання енергетики альтернативна енергетика складатиме близько 44%. Водночас Міжурядова група експертів зі зміни клімату Організації Об'єднаних Націй в ООН, в своїх висновках зазначає, що частка альтернативної енергії до 2050 року в разі найбільш позитивного сценарію може скласти 77% [2]. У зв'язку з цим у багатьох розвинених країнах світу велика увага приділяється питанням енергетичної ефективності та енергозбереження, яке тісно пов'язане з використанням альтернативних відновлюваних джерел енергії. Причому одним із основних видів таких джерел енергії є сонячна енергетика, яка в останнє десятиліття виходить на провідні позиції в економіках розвинених країн. На думку фахівців та науковців, приріст числа сонячних електростанцій у Євросоюзі щорічно становить близько 35% [2]. Підвищений інтерес у світі до сонячної енергії пояснюється перевагами використання сонячних технологій, серед яких низькі експлуатаційні витрати та надійність джерела живлення. У деяких країнах сонячна енергія сьогодні коштує дешевше, ніж енергія, отримана з інших, зокрема, традиційних джерел. Згідно з прогнозами аналітиків та фахівців у галузі сонячної генерації до 2050 року за 1 МВт-год ціна впаде до 20–40 \$, тобто вдвічі ніж у поточному 2025 році [3].

За підрахунками аналітичного центру Ember, який займається дослідженнями кліматичної політики Європейського Союзу, саме сонячна енергетика у 2024 році забезпечила 29% попиту країн Євросоюзу в електриці, тоді як газ — 15,7%, а вугілля — 9,8%. На атомну енергетику припало 23,7% від загального виробництва електроенергії, на гідроенергетику — 13,2%. Слід також зазначити, що у 2024 році Китай випередив увесь світ за виробництвом відновлюваної енергії, а Індія збільшила виробництво відновлюваної енергії більш ніж утричі, порівняно з попитом на електроенергію, який цього року був значно меншим [4].

Крім того, за інформацією таких профільних інституцій, як IRENA, IEA, BNEF багаті на вуглеводи

країни встановили національні цілі щодо розвитку відновлюваної енергетики: Канада (30–40% до 2030 року); Саудівська Аравія (20% до 2025 року); Об'єднаний Арабський Емірати (15% до 2035 року); Кувейт (10% безстроково); Бразилія (23% до 2030 року) [5]. Найбільшими темпами розвиваються технології та ринки відновлюваних джерел енергії в таких країнах, як США та країнах Європейського Союзу (Швеція, Австрія, Фінляндія, Німеччина, Португалія, Іспанія), Японія, Китай, Бразилія та Індія.

В наукових колах та серед практиків все більше з'являється інформації щодо розвитку нової технології використання сонячної енергії, а саме про агровольтаїку (або Agrivoltaics; Agri-PV; Агри-ПВ) — це спосіб поєднати сонячну енергетику з фермерством. Агровольтаїка — це інноваційна форма поєднання виробництва електроенергії та ведення сільського господарства на одній земельній ділянці. Ця технологія може допомогти ефективніше використовувати землю, підвищити врожайність і видобувати чисту енергію. Засновник Інституту сонячної енергетики ім. Фраунгофера (ISE), професор Адольф Гетцбергер та доктор Армін Застров ще у 1981 році представили концепцію агровольтаїки. Вони довели, що подвійне використання земель може принести велику користь. Вони досліджували, як можна адаптувати традиційні фотоелектричні системи для забезпечення однорідного росту рослин паралельно із виробленням сонячної енергії [6]. Американські дослідники довели можливість сталого розвитку сонячної енергетики в рамках агровольтаїки, коли, з одного боку, мікроклімат деяких сільгоспугідь позитивно позначається на виробництві «зеленої» електрики, а, з іншого боку, сонячні панелі сприяють підвищенню врожайності. Вчені з'ясували, що розсіяна тінь, що відкидається фотоелектричними установками, у ряді випадків надає позитивний вплив на врожай. До таких культур входять, наприклад, салатна зелень, томати і «технічна» кукурудза (використовується для виробництва біопалива). Особливо чуйні на розсіяну тінь певні сорти салату. Таким чином, агровольтаїка відкриває нові можливості підвищення врожайності деяких культур. Втім, принципово в даному випадку саме комбіноване використання земельних ділянок, коли ви одночасно отримуєте сільськогосподарську продукцію і зелену електроенергію. На думку американських фахівців, для задоволення глобального попиту на електроенергію достатньо задіяти під агровольтаїку лише один відсоток сільськогосподарських земель. Європейські країни поступово формують власні правові та інституційні підходи до розвитку агровольтаїки, і серед них найбільш показовим є досвід Німеччини, Франції та Італії, де ця технологія вже інтегрована в державні програми розвитку енергетики та сільського господарства, і незабаром Європа може стати лідером розвитку такої технології використання сонячної енергії.

Агровольтаїчні системи відрізняються від звичайних наземних сонячних електростанцій, які займають великі площі сільськогосподарських угідь тим, що вони дозволяють одночасно виробляти електроенергію та вирощувати сільськогосподарські продукти, причому з вищою врожайністю. Так, обсяг ринку агрофотовольтаїки у 2023 році оцінювався у 5 мільярдів доларів США і за прогнозами зросте на 11,5% до 2032 року. Проекти агровольтаїки з'являються по всьому світі та підтверджують застосування цієї технології в різних сферах сільськогосподарського виробництва (рослинництві, садівництві, бджільництві, тваринництві).

Досвід застосування агровольтаїки засвідчує, що таке комбіноване землекористування має ряд таких переваг.

Оптимізація земель. Агровольтаїка відрізняється від інших проектів сонячної енергетики тим, що земля під сонячними панелями та навколо них використовується одночасно як для вироблення електроенергії так і сільськогосподарського виробництва.

Збільшення врожайності. Адже сонячні панелі над посівами забезпечують тінь, зменшуючи тим вплив палючого сонця та випаровування, що створює мікроклімат, який пом'якшує екстремальні коливання температури та втрату води, та призводить до підвищення врожайності сільськогосподарських культур та зниження потреби у воді.

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

Диверсифікація прибутків. Агровольтаїка може запропонувати фермерам додаткові джерела доходу, адже частина чистої електроенергії може бути продана громаді.

Досвід запровадження агровольтаїки за кордоном демонструє неабиякий успіх і доцільно його більш детально розглянути.

Німеччина вже давно є одним із світових лідерів у використанні енергії сонця. Станом на початок 2021 року у Німеччині на сонячну енергетику припало близько 9% електроенергії. Крім того країна є лідером щодо впровадження як технологій агровольтаїки так і їх законодавчого забезпечення. Особливої уваги в країні агровольтаїка набула у 2000 роках, коли було реалізовано масштабний демонстраційний проект у Геггелбаху (Баден-Вюртемберг), який підтвердив ефективність поєднання аграрного виробництва з виробництвом електроенергії та було доведено, що сумарна продуктивність землі при такій комбінації може перевищувати ефективність окремого використання на 60–80% [7]. Це стало підґрунтям для активізації державної політики і у 2021 році Німеччина офіційно закріпила агровольтаїку у своєму законодавстві щодо відновлюваних джерел енергії та запро-

вадила спеціальні премії до тарифів [8]. Важливим кроком стало створення технічних стандартів щодо технологій агровольтаїки, що дозволило чітко відмежувати агровольтаїку від класичних наземних сонячних електростанцій та забезпечити збереження пріоритетності аграрного використання землі. А у 2022 р. були внесені зміни до регламенту про прямі виплати в межах Спільної аграрної політики ЄС (GAPDZV), які гарантували збереження субсидій для фермерів за умови, що агровольтаїчна система не зменшує корисної площі більш ніж на 15%. Це рішення зняло правову невизначеність і сприяло зростанню інтересу фермерів до технологій агровольтаїки. Таким чином, німецький досвід показує комплексність підходу: поєднання технічних стандартів, правового визнання та фінансових стимулів створило умови для швидкого масштабування агровольтаїки.

У Франції станом на 2024 р. агровольтаїчні установки забезпечили близько 20% усіх нових сонячних потужностей країни, а вже з 2026 р. очікується щорічне введення понад 1 ГВт таких систем [9]. Починаючи з 2017 року технологія впроваджувалась у проекти тепличного типу, проте згодом значну частку здобули системи відкритого ґрунту, зокрема у виноградниках та садах. Проте певний час, через відсутність чіткого законодавчого визначення поняття агровольтаїки мали місце низка зловживань в сфері фінансування, пільгами скористалися проекти, які не мали відношення до агровольтаїки. У відповідь у 2021–2023 рр. Франція законодавчо визначила технологію агровольтаїки. Нове законодавство передбачає обмеження щодо щільності покриття панелями, зобов'язання доводити аграрну користь та вимогу збереження агровиробництва як основної функції землі [10]. Завдяки цьому агровольтаїка у Франції отримала чіткий правовий статус, що дало поштовх для масштабних інвестицій. Французький досвід свідчить про важливість чіткого законодавчого визначення, яке гарантує баланс між енергетичними й аграрними інтересами.

Італія є одним із світових лідерів щодо сонячної генерації і займає третє місце після Китаю та Німеччини. Перехід Італії на сонячну енергетику та її швидке нарощування пояснюються тим, що в країні практично відсутні невідновлювані ресурси і країна залежить від імпорту природного газу з інших країн. Сонячна енергетика Італії забезпечує 7,2% споживання електроенергії у країні. В країні також достатньо поширене використання агровольтаїки та зроблені важливі кроки щодо законодавчого затвердження таких технологій. Так, у 2020 р. під егідою ENEA було започатковано ініціативу «Agrivoltaico Sostenibile», яка розробила технічні стандарти та методики моніторингу врожайності під сонячними панелями, а у 2021 р. Італія в законодавчому порядку заборонила будівництво класичних сонячних електростанцій на родючих сільськогосподарських землях, та залишала можливість викори-

стання цих земель лише для агровольтаїчних систем [11]. Важливим поштовхом для розвитку агровольтаїки в Італії стало її включення до Національного плану відновлення та стійкості (PNRR) і для цієї галузі було виділено 1,1 млрд. євро на встановлення понад 1 ГВт потужностей до 2026 року [12]. Італія також інтегрувала агровольтаїку у стратегію розвитку села, яка розглядається як спосіб диверсифікації доходів фермерів, підвищення кліматичної стійкості та ефективного використання ресурсів [13]. Для села соціальні та економічні вигоди агровольтаїчних проєктів також є значними. Для фермерів оренда землі під сонячні панелі забезпечує стабільне та диверсифіковане джерело доходу, зміцнюючи їх фінансову стійкість. Місцеві спільноти також виграють від проєктів, що включають велосипедні маршрути, освітні зони та пішохідні стежки, що сприяє соціальній стійкості та залученню місцевих жителів. Такий підхід робить Італію одним із найдинамічніших ринків агровольтаїки у Європі.

Азійські країни також стали одними з піонерів інституційного закріплення агровольтаїки.

Японія у 2013 році ухвалила директиву Міністерства сільського господарства, лісівництва і рибальства, згідно з якою було дозволено розміщувати сонячні панелі на сільськогосподарських землях без зміни їхнього цільового призначення за умови продовження агровиробництва. Крім того були встановлені чіткі вимоги до технології агровольтаїки, які не дозволяли падіння врожайності на сільськогосподарських землях. Впровадження агровольтаїки супроводжувалося жорсткою системою звітності: фермери зобов'язані щороку подавати дані про урожайність, і в разі суттєвого її падіння дозволи на агровольтаїку могли бути відкликані. Утім у 2018 році запроваджено довгострокові дозволи на десять років для деградованих або малородючих земель, що стимулювало поширення агровольтаїки в депресивних регіонах та занедбаних землях. Також були запроваджені економічні стимули — фіксований «зелений тариф» на 20 років, що, в цілому, створило сприятливе середовище для масового поширення технології агровольтаїки і уже 2020 році в країні було реалізовано понад дві тисячі агровольтаїчних об'єктів, сумарна потужність яких перевищила 200 МВт, при цьому під панелями вирощуються понад 120 культур — від традиційного рису до овочів і грибів. Агровольтаїка у Японії не лише зменшила навантаження на землю, а й стала інструментом соціальної політики: вона сприяла залученню малих фермерів, відновленню занедбаних угідь і підвищенню продовольчої безпеки [14].

Південна Корея приєдналася до технологій агровольтаїки тільки останніми роками, проте одразу інтегрувала її у стратегію підтримки фермерів. Зростання інтересу до агровольтаїки та потреба підтримати сільське населення змусили владу країни розпочати реформи з формування нормативної

бази. Так, у 2024 році було дозволено використання землі для агровольтаїчних систем на 20–23 років. Паралельно було запроваджено програми навчання фермерів, страхування ризиків щодо цих нових технологій, а також встановлено, що операторами агровольтаїчних систем могли бути лише аграрії або кооперативи, а не сторонні інвестори. Такі вимоги гарантували саме сільській громаді вигоди від розвитку нової галузі. Все зазначене сприяло тому, що зараз у Кореї функціонують десятки пілотних агровольтаїчних проєктів, у тому числі на рисових полях і пасовищах, де панелі встановлені на висоті 3–5 метрів, що забезпечує можливість використання сільгосптехніки і дає додаткові агротехнічні переваги — зменшення випаровування вологи та захист рослин від екстремальних погодних явищ. Таким чином, Південна Корея поступово формує комплексну модель розвитку агровольтаїки, яка поєднує довгострокові дозволи, соціальний захист та технічні стандарти [15, 16].

У Сполучених Штатах Америки агровольтаїка ще не має єдиного національного правового визначення, однак розвиток відбувається через комбінацію федеральних фінансових програм і ініціатив окремих штатів. Такий децентралізований підхід зумовлений особливостями американського федералізму, де земельне законодавство та регулювання використання територій здебільшого належать до компетенції штатів, тоді як федеральний уряд стимулює розвиток технологій через податкові та кредитні механізми. На федеральному рівні ключовими інструментами стали податковий інвестиційний кредит (Investment Tax Credit, ITC), що дозволяє компенсувати частину витрат на встановлення сонячних систем, та програма Міністерства сільського господарства США (USDA) Rural Energy for America Program (REAP), яка надає фермерам гранти і кредити на впровадження відновлюваних джерел енергії, включно з агровольтаїкою [17]. Хоча ці механізми не створені спеціально для агровольтаїки, вони забезпечують доступ до фінансування для господарств, які хочуть поєднати виробництво енергії та продовольства. Таким чином, навіть за відсутності спеціального закону федеральні інструменти формують основу для економічної доцільності агровольтаїчних проєктів. Нині у США впроваджено десятки агровольтаїчних проєктів, які реалізуються в різних форматах: від вирощування ягід та овочів під панелями до використання пасовищ для одночасного випасу худоби та виробництва енергії. Деякі ініціативи орієнтовані на екологічний ефект, зокрема створення сприятливих умов для запилювачів або збереження біорізноманіття («pollinator-friendly solar»), що інтегрує агровольтаїку у природоохоронну політику [18]. Хоча частка агровольтаїки у загальній сонячній генерації країни ще невелика (менше 5%), її роль постійно зростає. За оцінками Міністерства енергетики США, станом на 2025 рік

загальна встановлена потужність агровольтаїчних систем перевищила 8 ГВт. Важливим фактором є й суспільна підтримка агровольтаїки. Опитування показують, що більшість фермерів розглядають агровольтаїку як спосіб підвищення доходів і зменшення ризиків, пов'язаних із кліматичними змінами, а понад 70% громад, де розташовані такі системи, позитивно оцінюють їхній вплив на розвиток територій. Крім того наукова спільнота США активно працює над розробкою оптимальних моделей агровольтаїки для різних кліматичних зон та агротехнічних умов. Систематичні дослідження здійснюють університети Аризони, Орегону, Массачусетсу, а також Національні лабораторії енергетики (NREL). Програма фінансування Foundational Agrivoltaic Research for Megawatt Scale (FARMS) фінансує проекти, які досліджують вплив агровольтаїчних конструкцій як на сільськогосподарське виробництво, так і на виробництво енергії, а також з'ясовують як агровольтаїка може інтегруватися в існуючі сонячні електростанції [19]. Таким чином, досвід США демонструє специфічну децентралізовану модель розвитку агровольтаїки: за відсутності єдиного національного правового регулювання, вирішальну роль у впровадженні агровольтаїки відіграють програми окремих штатів, федеральні податкові стимули та наукові дослідження.

Регіон Латинської Америки має значний потенціал для розвитку агровольтаїки з огляду на сприятливі кліматичні умови, великі площі сільськогосподарських угідь і, водночас, має потребу у стійкому продовольчому та енергетичному забезпеченні.

Чилі стала першою країною Латинської Америки, де в 2017–2018 роках реалізовано три пілотні агровольтаїчні проекти за участі Fraunhofer Chile. Невеликі системи потужністю близько 13кВт кожна були встановлені у муніципалітетах Ель Монте, Куракаві та Лампа неподалік Сантьяго. Їхнє завдання полягало у випробуванні різних конфігурацій сонячних панелей і культур, вирощуваних під ними, зокрема овочів, винограду та кормових трав. Результати показали, що завдяки затіненню вдалося знизити випаровування ґрунтової вологи та стабілізувати врожайність, тоді як вироблена електроенергія використовувалася для систем зрошення. Це продемонструвало подвійний ефект — енергетичний і водогосподарський, що особливо важливо для посушливих регіонів країни. На основі цих результатів чилійський уряд почав розглядати агровольтаїку як інструмент боротьби з пустелями та як шлях підвищення ефективності фермерських господарств у долинах Центрального Чилі [20].

У Мексиці дослідження проводяться у співпраці з університетами та міжнародними партнерами, зокрема в напрямі поєднання агровольтаїки з тепличними господарствами для зменшення витрат на охолодження та зрошення. В країнах Карибського басейну агровольтаїку розглядають як ефектив-

ний спосіб підвищення енергетичної незалежності та продовольчої безпеки на островах, де кожен гектар землі має критичне значення. У 2023 році Міжамериканський банк розвитку (IDB) профінансував техніко-економічне обґрунтування агровольтаїчного комплексу з поєднанням сонячних панелей і козинних ферм для малих острівних громад в цих країнах [21].

Водночас дослідники зазначають, що для просування сонячних проектів в сільськогосподарський комплекс потрібна законодавча підтримка. У Франції, Німеччині, Італії, Чехії та Нідерландах правила дозволяють спільне використання землі для сільського господарства та виробництва електроенергії без втрати сільськогосподарських субсидій, що вже дозволило реалізувати понад 200 проектів агровольтаїки по всій Європі. Втім в Угорщині, Польщі та Словаччині таких законодавчих актів немає.

Для подальшого розширення технологій агровольтаїки на державному та міждержавному рівнях запроваджуються різні інструменти, за допомогою яких стимулюється використання альтернативних джерел енергії. У Європейському Союзі ще з середини минулого сторіччя почалася дискусія щодо застосування заходів з метою стимулювання країн до впровадження відновлюваної енергетики. З цією метою була прийнята Директива 2001/77/ЄС щодо стимулювання використання електроенергії, виробленої з альтернативних джерел енергії на внутрішньому ринку електроенергії Європейського Союзу та наступна Директива про альтернативні джерела енергії 2009/28/ЄС від 23 квітня 2009 року [22]. Кожна країна Європейського Союзу своїм законодавством визначила у який спосіб здійснюватиметься таке стимулювання та його види. Серед найбільш застосовуваних видів стимулювання використання альтернативних джерел енергії особливої уваги заслуговують: «зелений тариф», система «зелених» сертифікатів, інвестиційні гранти, які застосовуються у багатьох країнах Європейського Союзу, податкові пільги, які часто доповнюють основні види стимулювання у Європейських країнах. Також деякими країнами Європейського Союзу застосовуються низьковідсоткові кредити з більш довгими періодами погашення для виробників електроенергії з альтернативних джерел енергії. Вже до 2009 року більш ніж у 60 країнах світу (у тому числі США, Канаді, Австралії, Японії, країнах ЄС, Китаї, Індії, Бразилії та ін.) було прийнято довгострокові національні програми освоєння відновлюваних джерел енергії з особливим акцентом на підтримку сонячної енергетики. Такі завдання забезпечуються надійним фінансуванням за рахунок коштів бюджету та приватного бізнесу з використанням механізму приватно-державного партнерства.

Згідно зі статтею 15 Закону України «Про альтернативні джерела енергії», Україна бере участь у міжнародному співробітництві у сфері виробництва та споживання енергії, виробленої з альтерна-

тивних джерел, відповідно до законодавства України та міжнародних договорів України [23]. Слід зауважити, що Україна з усіх пострадянських країн має найбільші успіхи у розвитку відновлюваної енергетики. Окрім того, Енергетична стратегія України на період до 2035 року передбачає збільшення частки відновлюваної енергетики до рівня 25%. Водночас після війни питання енергетичної незалежності та стійкої відбудови стане визначальним для України. Агровольтаїка може стати одним із таких рішень, оскільки вона одночасно зміцнює продовольчу безпеку, створює нові робочі місця та зменшує навантаження на енергосистему. Основними чинниками, що сприятимуть розвитку агровольтаїки в Україні мають стати: підтримка з боку держави впровадження технологій агровольтаїки; зацікавленість територіальних громад; залучення інвестицій; удосконалення нормативно-правової бази щодо використання таких технологій; подальші наукові дослідження щодо пошуків підвищення ефективності використання технологій агровольтаїки; адаптація зарубіжного досвіду.

Висновки. Проведене дослідження сучасних тенденцій розвитку агровольтаїки у провідних країнах світу дозволяє зробити висновок, що впровадження технологій агровольтаїки є достатньо ефективним. В першу чергу, агровольтаїка сприяє розвитку не тільки сільського господарства за раху-

нок використання сучасних енергозберігаючих технологій, але й забезпечує чистою енергією як сільськогосподарських товаровиробників так і місцеві громади. Крім того, впровадження агровольтаїки сприяє покращенню екологічної ситуації в регіоні, дозволяє суттєво зменшити рівень забруднення довкілля. Загальний позитивний економічний ефект від впровадження агровольтаїки може стати стимулом для залучення інвестицій в аграрний сектор. Проте розвиток сонячної генерації у розвинених країнах став можливим, головним чином, завдяки заходам державної підтримки виробників та споживачів нетрадиційної енергії. В Україні на сьогодні впровадження цих технологій гальмується з наступних причин. Зокрема, має місце неврегульованість нормативно-правової бази — відсутні норми які дозволяють розміщення агровольтаїчних систем на землях сільськогосподарського призначення; достатньо висока вартість технологій і їх впровадження стримується існуючими складнощами з отриманням кредитів та низькою зацікавленістю інвесторів; технології агровольтаїки потребують підготовки відповідних фахівців. Натомість зарубіжний досвід впровадження агровольтаїки, отримані ефективні результати мають стати підґрунтям для проведення зваженої політики впровадження агровольтаїки в Україні, особливо в умовах післявоєнної відбудови та економічної трансформації.

Література

1. Паризька угода. Ратифікована Законом № 1469-VIII від 14.07.2016 р.
2. IPCC Sixth Assessment Report. URL: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/?_cf_chl_jschl_tk__=pmd_b15dcae6f0aa9f97f8edc1dd28852e4677290db0-1628508984-0-gqNtZGzNAeKjcnBszQIO#Full (дата звернення: 15.12.2025).
3. Engels, Jip, The Promotion of Electricity from Renewable Energy Sources in the European Union. August 30, 2011. URL: <https://ssrn.com/abstract=1939760> (дата звернення: 29.11.2025).
4. European Electricity Review 2025. Ember, 2025. URL: https://ember-energy.org/app/uploads/2025/01/EER_2025_22012025.pdf (дата звернення: 15.12.2025).
5. World Energy Transitions Outlook: 1.5 °C Scenario Pathway. URL: <https://www.irena.org/Energy-Transition/Socio-economic-impact> (дата звернення: 15.12.2025).
6. INSPIRED — Agri-PV: Sustainable Use of Agrivoltaics. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems (ISE). URL: file:///C:/Users/polzo/Downloads/Factsheet_INSPIRED%20Agri-PV.pdf (дата звернення: 15.12.2025).
7. Trommsdorff M., Weselek A., Bauerle A. et al. Agrivoltaics: Opportunities for Agriculture and the Energy Transition. Freiburg: Fraunhofer ISE, 2022. 76 p.
8. Trommsdorff M., Vollprecht J., Sterzenbach T. Legislation on Agrivoltaics in Germany: Changes and Complements Towards a Comprehensive Legal Framework. AgriVoltaics World Conference Proceedings. Freiburg, 2024. P. 15–32.
9. Chatzipanagi A., Taylor N., Jaeger-Waldau A. Overview of the Potential and Challenges for Agri-Photovoltaics in the European Union. Luxembourg: Publications Office of the EU, 2023. 57 p.
10. ADEME. L'Agrivoltaïsme: État des lieux et perspectives. Paris: Agence de la Transition Écologique, 2022. 122 p.
11. Decreto Legislativo n. 199/2021. Attuazione della direttiva (UE) 2018/2001 sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili. Roma: Gazzetta Ufficiale, 2021.
12. European Commission. Commission Decision C(2023) 5246 final. State Aid SA.102871. Italy. Brussels, 2023. 34 p.
13. ENEA. Progetto Agrivoltaico Sostenibile. Roma: ENEA, 2021. 98 p.
14. Sekiyama T., Nagashima A. Solar Sharing for Both Food and Clean Energy Production: Performance of Agrivoltaic Systems for Corn, Potato, and Soybean. *Environments*. 2019. Vol. 6(6). P. 65–74.
15. Kim J., Lee Y., Park H. Policy Challenges for Agrivoltaics in South Korea. *Energy Policy*. 2022. Vol. 165. P. 112938.
16. Kang H., Lee J., Choi S. Legal Reforms for Agrivoltaics in Korea. Seoul: Korean Rural Economic Institute, 2024. 65 p.

17. U.S. Department of Agriculture. Rural Energy for America Program (REAP): Annual Report 2022. Washington, D.C.: USDA, 2023. 62 p.
18. National Renewable Energy Laboratory (NREL). Agrivoltaics Research Activities: Annual Report 2022. Golden, CO: NREL, 2023. 54 p.
19. Proctor K., Bradley A., Pascaris A. Integrating Agriculture and Solar Energy: A Socio-Technical Analysis of Agrivoltaics in the U.S. Ann Arbor: University of Michigan Press, 2022. 142 p.
20. Fraunhofer Chile Research. Agrivoltaic Pilot Projects in Central Chile: Technical Report. Santiago: Fraunhofer Chile, 2019. 59 p.
21. Inter-American Development Bank. Agrivoltaics for Caribbean Islands: Feasibility Study. Washington, D.C.: IDB, 2023. 73 p.
22. Директива Європейського Парламенту та Ради № 2009/28/ ЄС від 23.04.2009 р. URL: http://saee.gov.ua/documents/dyrektyva_2009_28.pdf (дата звернення: 15.12.2025).
23. Про альтернативні джерела енергії. Закон України від 20.02.2003 № 555-IV. URL: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/555-15> (дата звернення: 15.12.2025).

References

1. Parugska uгода [Paris Agreement]. Ratyfikovana Zakonom № 1469-№ 1469-VIII vid 14.07.2016 [in Ukrainian].
2. IPCC Sixth Assessment Report. URL: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/?_cf_chl_jschl_tk__=pmd_b15dcae-6f0aa9f97f8edc1dd28852e4677290db0-1628508984-0-gqNtZGzNAeKjcnBszQlO#Full
3. Engels, Jip. (2011). The Promotion of Electricity from Renewable Energy Sources in the European Union. August 30 URL: <https://ssrn.com/abstract=1939760>
4. European Electricity Review 2025. Ember, 2025. URL: https://ember-energy.org/app/uploads/2025/01/EER_2025_22012025.pdf
5. World Energy Transitions Outlook: 1.5 °C Scenario Pathway. URL: <https://www.irena.org/Energy-Transition/Socio-economic-impact/>
6. INSPIRED — Agri-PV: Sustainable Use of Agrivoltaics. Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems (ISE). URL: file:///C:/Users/polzo/Downloads/Factsheet_INSPIRED%20Agri-PV.pdf
7. Trommsdorff M., Weselek A. and Bauerle A. (2022). Agrivoltaics: Opportunities for Agriculture and the Energy Transition. Freiburg: Fraunhofer ISE, 76 p.
8. Trommsdorff M., Vollprecht J., Sterzenbach T. (2024). Legislation on Agrivoltaics in Germany: Changes and Complements Towards a Comprehensive Legal Framework. AgriVoltaics World Conference Proceedings. Freiburg, Pp. 15–32.
9. Chatzipanagi A., Taylor N., Jaeger-Waldau A. (2023). Overview of the Potential and Challenges for Agri-Photovoltaics in the European Union. Luxembourg: Publications Office of the EU, 57 p.
10. ADEME. (2022). L'Agrivoltaïsme: État des lieux et perspectives. Paris: Agence de la Transition Écologique, 122 p.
11. Decreto Legislativo n. 199/2021. Attuazione della direttiva (UE) 2018/2001 sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili. Roma: Gazzetta Ufficiale, 2021.
12. European Commission. Commission Decision C(2023) 5246 final. State Aid SA.102871. Italy. Brussels, 2023. 34 p.
13. ENEA. Progetto Agrivoltaico Sostenibile. Roma: ENEA, 2021. 98 p.
14. Sekiyama T., Nagashima A. (2019). Solar Sharing for Both Food and Clean Energy Production: Performance of Agrivoltaic Systems for Corn, Potato, and Soybean. Environments. 2 Vol. 6(6). Pp. 65–74.
15. Kim J., Lee Y., Park H. (2022) Policy Challenges for Agrivoltaics in South Korea. Energy Policy. Vol. 165. Pp. 112938
16. Kang H., Lee J., Choi S. (2014). Legal Reforms for Agrivoltaics in Korea. Seoul: Korean Rural Economic Institute, 65 p.
17. U.S. Department of Agriculture. Rural Energy for America Program (REAP): Annual Report 2022. Washington, D.C.: USDA, 2023. 62 p.
18. National Renewable Energy Laboratory (NREL). Agrivoltaics Research Activities: Annual Report 2022. Golden, CO: NREL, 2023. 54 p.
19. Proctor K., Bradley A., Pascaris A. (2022). Integrating Agriculture and Solar Energy: A Socio-Technical Analysis of Agrivoltaics in the U.S. Ann Arbor: University of Michigan Press, 142 p.
20. Fraunhofer Chile Research. Agrivoltaic Pilot Projects in Central Chile: Technical Report. Santiago: Fraunhofer Chile, 2019. 59 p.
21. Inter-American Development Bank. Agrivoltaics for Caribbean Islands: Feasibility Study. Washington, D.C.: IDB, 2023. 73 p.
22. Durektuva Evropeyskogo Parlamentu ta Radu [Directive of the European Parliament and of the Council] № 2009/28/ ЄС від 23.04.2009 р. URL: http://saee.gov.ua/documents/dyrektyva_2009_28.pdf [in Ukrainian].
23. Pro alternatyvni dzhherela enerhii [About alternative energy sources]. Zakon Ukrainy vid 20.02.2003 № 555-IV. URL: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/555-15> [in Ukrainian].