

Шманько Н.Р.,
здобувач* третього (освітньо-наукового) рівня вищої освіти
«доктор філософії» за спеціальністю 073 «Менеджмент»,
ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-4456-8224>,
Західноукраїнський національний університет, м. Тернопіль

УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТАМИ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ З ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ В АГРАРНІЙ СФЕРІ: ДОСВІД ЄС

Shmanko N.R.,
candidate for the third level of higher education
“Doctor of Philosophy” in specialty 073 “Management”,
West Ukrainian National University, Ternopil

MANAGEMENT OF RENEWABLE ELECTRICITY GENERATION FACILITIES IN THE AGRICULTURAL SPHERE: EU EXPERIENCE

Постановка проблеми. Сільське господарство традиційно споживає велику кількість енергії і частка відновлювальних джерел енергії (далі – ВДЕ) у цій сфері досі відносно низька. За даними міжнародної експертно-аналітичної мережі REN21, у 2021 році частка відновлюваних джерел у сумарному енергоспоживанні сільського, лісового і рибного господарства світу становила лише 15,4 % (проти 10,8 % у 2011 р.) [1]. У країнах ЄС частка ВДЕ і біопалив у загальному енергоспоживанні агропромислового комплексу у 2023 р. складала приблизно 11,7 % [2], тоді як нафта, газ і вугілля все ще домінують (понад 70 %). Водночас агропромисловий сектор ЄС у 2023 році спожив близько 26,4 млн тонн нафтового еквіваленту енергії (3 % усієї енергії ЄС) [2]. Для досягнення амбітних цільових показників ЄС у сфері ВДЕ 2030 року агросектор потребує значного посилення переходу на «зелену» енергію. В Україні, де понад 70 % площі займають орні землі та агровиробництво є одним з важелів відновлення економіки, інтеграція ВДЕ відкриває можливості зменшити імпорт енергоносіїв і скоротити викиди CO₂. Як наголошують фахівці Держенергоефективності, використання потенціалу біоенергетики в потужному аграрному секторі України дозволить знизити імпортозалежність і зміцнити економіку [3]. Отже, системне впровадження «зелених» генераційних об'єктів на сільгоспідприємствах має стати одним з пріоритетів енергетичної політики та аграрної стратегії України.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз сучасних наукових досліджень свідчить про зростання інтересу до інтеграції відновлюваних джерел енергії у сільське господарство як інструменту підвищення енергоефективності і сталості аграрного виробництва. У міжнародних публікаціях значна увага приділяється агровольтаїці як технології, що поєднує генерацію електроенергії з виробництвом сільськогосподарської продукції. Зокрема, у роботі S. Asa'a та ін. [4] агровольтаїчні системи розглядаються як мультидисциплінарна модель взаємодії енергетики та агросектору, здатна оптимізувати використання земельних ресурсів і зменшувати вуглецевий слід. Подібні висновки містяться і в дослідженнях D. Soto-Gómez [5] та A. Zahrawi, A. Aly [6], в яких доведено, що інтеграція сонячних панелей у структуру фермерських господарств дозволяє одночасно забезпечувати виробництво електроенергії і підтримувати продуктивність агроecosystem. Окремим напрямом досліджень є біоенергетика: за результатами аналізу V. Burg та співавт. [7], біогазові установки у сільському господарстві можуть виступати центром циркулярної економіки, забезпечуючи утилізацію аграрних відходів і виробництво енергії, тоді як у роботі S. Pimenow та ін. [8] наголошується на значному потенціалі аграрної біомаси України для розвитку біоенергетики та енергетичної незалежності.

Українські дослідження також акцентують на необхідності структурної трансформації аграрного сектору у напрямі «зеленої» енергетики. Так, Н. Петруха [9] обґрунтовує, що зелена трансформація аграрних підприємств пов'язана з впровадженням енергоефективних технологій, використанням біоенергетичних ресурсів і розвитком відновлюваних джерел енергії у виробничих процесах. Своєю чергою, С. Цюпа [10] і В. Кузьома [11] підкреслюють, що біоенергетика і циркулярні

* Наук. керівник: Брич В.Я. – д-р екон. наук, професор

моделі господарювання формують нову парадигму розвитку агросектору, де відходи сільськогосподарського виробництва стають ресурсом для виробництва енергії. Узагальнення цих досліджень дозволяє зробити висновок, що інтеграція агровольтаїки, біогазових установок і циркулярних підходів управління ресурсами розглядається науковцями як ключовий напрям модернізації аграрного виробництва та підвищення енергетичної стійкості сільських територій.

Попри наявність значної кількості досліджень, присвячених агровольтаїці, біоенергетиці та зеленій трансформації аграрного сектору, більшість із них зосереджується переважно на технологічних або екологічних аспектах використання відновлюваних джерел енергії. Натомість питання управління об'єктами генерації електроенергії з ВДЕ в аграрному секторі, зокрема організаційних моделей їх функціонування і можливостей адаптації європейського досвіду до умов України, досліджено недостатньо. Саме тому дане дослідження спрямоване на систематизацію практик країн ЄС у цій сфері і визначення напрямів їх імплементації для підвищення енергоефективності й стійкості українського аграрного виробництва.

Постановка завдання. Метою статті є узагальнення європейського досвіду управління об'єктами генерації електроенергії з відновлюваних джерел у аграрному секторі і визначення практичних підходів до його адаптації в умовах розвитку аграрної енергетики України.

Виклад основного матеріалу дослідження. Об'єкт генерації ВДЕ – це будь-яка установка, що виробляє електроенергію (іноді і тепло) з відновлюваних джерел на аграрних підприємствах: наприклад, сонячні електростанції (на дахах чи в полі), малі вітроустановки, біогазові чи біомасові котельні, а також малі гідроелектростанції. Управління такими об'єктами включає планування, експлуатацію і технічне обслуговування установок, а також інтеграцію їх в енергосистему. До завдань входять моніторинг вироблення (датчики, SCADA-системи), регулювання видачі потужності (через інвертори, блоки акумуляції), диспетчеризація (когенераційні установки біогазу можуть генерувати базове навантаження), а також забезпечення відповідності стандартам мережі (наприклад, підтримка частоти і напруги при підключенні до мережі) [4].

Основна мета – забезпечити надійну та ефективну генерацію енергії з ВДЕ для власних потреб господарства з можливістю надлишкової видачі в мережу. Для сільгоспвиробника це означає зниження витрат на енергію, підвищення енергонезалежності й отримання додаткового доходу від продажу електрики за «зеленим» тарифом або іншими інструментами (договір купівлі-продажу тощо). Керують такими об'єктами фермерські підприємства самостійно або у складі енергокооперативів (як у Данії), інколи з участю енергетичних компаній чи місцевої влади. Наприклад, у кооперативній моделі власники ферм інвестують спільно в біогазову установку і ділять як затрати, так і вигоди (прибуток від реалізації електроенергії, тепла та органічного добрива).

Розрізняють два ключові сценарії експлуатації: автономне (ізольоване) енергозабезпечення фермерського об'єкта за рахунок власної ВДЕ (застосовується там, де доступу до мережі немає або він дорогий) і підключення до мережі, коли фермерське підприємство передає надлишок електроенергії у загальнодержавну систему [5; 6]. Управління передусім полягає у балансуванні – наприклад, вирівнюванні інтервальних коливань сонячної чи вітрової генерації. Тому в останні роки набувають поширення технології акумуляції (сонячні батареї разом з накопичувачами), а також інтегровані енергоменеджмент-системи, які у реальному часі розподіляють струм між споживачами на господарстві і мережею за вказаними пріоритетами.

У великих фермерських господарствах можуть застосовуватися комбіновані когенераційні установки на біомасі – вони генерують одночасно електро- і теплову енергію, що суттєво підвищує коефіцієнт корисної дії (далі – ККД) і зменшує втрати [4].

Наведена табл. 1 систематизує основні типи генеруючих установок ВДЕ, які використовуються в агросекторі, та характерні особливості їх управління.

Незалежно від типу, всі ВДЕ-об'єкти потребують належного моніторингу і зв'язку з енергосистемою. У країнах ЄС активне застосування знаходять системи «розумного» енергоменеджменту: вони автоматично керують графіком виробництва (наприклад, коригують роботу обприскувачів чи насосів залежно від наявності сонячної енергії) і споживання на фермерському господарстві. До того ж, об'єднання кількох ферм в енергетичні кооперативи дозволяє централізовано керувати кількома генераційними об'єктами, балансуючи виробництво і споживання всередині локальної мережі. Наприклад, у Данії численні аграрні кооперативи об'єднують фермерів для спільного будівництва біогазових станцій і поставки біометану в газову мережу. Загалом, «управління» ВДЕ в агросфері – це складна система технічних, економічних і регуляторних рішень, що забезпечують ефективну і сталу роботу «зелених» генеруючих об'єктів з урахуванням особливостей фермерських господарств.

Таблиця 1

Основні типи генеруючих установок ВДЕ, які використовуються в агросекторі

Тип ВДЕ	Застосування в АПК	Особливості управління
Сонячна (PV)	– будівлі (дахи, навіси над пасовищами); – поля (сонячні ферми на землі, агровольтаїка)	Інтермітентна генерація (тільки вдень). Потрібне відстеження сонячного випромінювання і керування максимальною точкою потужності (MPPT). Легко масштабувати. Часто поєднується з акумуляторами (банки батарей) для згладжування циклів генерування. Наприклад, агрофотовольтаїка (розміщення панелей над рослинами) потребує контролю освітленості ґрунту.
Вітрова (турбіни)	– вітротурбіни середньої потужності (на невеликих полях або біля ферм)	Коливання потужності за вітром. Для регулювання використовують системи повороту лопатей (зміна кута атаки) або підйом/опускання турбіни. Інтегрується в мережу через силову електроніку, що забезпечує синхронізацію з частотою мережі. При мережевому підключенні передбачено диспетчеризацію залежно від попиту та прогнозів погоди.
Біогазові установки	– переробка гною, силосу, решток рослин, органіки в біогаз	Генерують електроенергію 24/7 (стаціонарний режим). Управління включає забезпечення стабільної подачі сировини (автоматизовані системи подачі гною), підтримку оптимальних температур і рівнів у метантенках. Використовують теплоту від двигунів для опалення приміщень ферми або теплиць (когенерація). Потреба в управлінні показниками якості біомаси (засміченість, сухість) та утилізації залишків (біодобриво).
Біомасові котли/біоТЕЦ	– спалювання деревини, соломи, відходів сільгоспвиробництва для виробництва тепла (іноді з генерацією)	Працюють на постійному навантаженні, тобто подача палива і повітря автоматизована для підтримки заданої температури. При комбінованому виробництві електрики (теплоелектростанція) виникає потреба узгодження обсягів тепла і потужності генерації. Обладнання контролює тиск пари та витрати палива.
Малі гідроелектростанції (рідше)	– водотоки на господарських ставках, каналах	Пікові або регульовані установки. Управління полягає у регулюванні витрати води через турбіну (засувками) для підтримки певної напруги/частоти в мережі. Будують із урахуванням екологічних вимог (мінімальний рівень витрати води).

Джерело: систематизовано на основі аналізу [4–6; 8]

Країни Європи накопили багатий досвід впровадження відновлюваної енергетики в сільському господарстві. Нижче наведено декілька характерних прикладів і тенденцій.

Німеччина: світовий лідер з аграрного біогазу. Станом на кінець 2025 р. в Німеччині налічувалося приблизно 9605 біогазових установок (9315 з них виробляють електрику на місці, 290 – переробляють біогаз у біометан) [12]. Їхня сукупна електрична потужність – 6816 МВт. Когенерація дала також ~32,3 ТВт·год теплоти (18,7 ТВт·год із яких пішло на опалення домогосподарств і підприємств) [12]. 95 % німецьких біогазових установок працюють на сільськогосподарській сировині (гній, кормові культури) [13]. Сектор стимулювався довгостроковими тарифами за «зелений» струм (Енергетичний закон EEG) із гарантованою виплатою до 20 років. Нині перевагу надають ринковим аукціонам: після 2023 р. 95 % виробників продають електрику напряму на ринку, але майже всі досі доплачуються з публічних фондів [13]. Німеччина також активно впроваджує агровольтаїку (сонячні панелі над полями), розглядає малі вітрогенератори на фермах і стимулює модернізацію агротехніки на електричні/біопаливні аналоги.

Данія: орієнтація на біометан і кооперативи. Тут можна навести наступний приклад: децентралізована модель фермерських кооперативних біогазових станцій, яка охопила всю країну. Сьогодні близько 160 станцій в Данії постачають 11 % від національного споживання газу [14]. Фермери об'єднуються, інвестуючи у спільні заводи, де переробляють гній і агросировину на біометан, який подається у газову мережу. Уряд підтримує сектор вигідними умовами: стабільними субсидіями на будівництво і закупівлі обладнання та програмами розвитку кооперативів. Модель Данії відзначається економією на масштабі і великим соціальним ефектом – створенням нових робочих місць у сільській місцевості [14].

Нідерланди: передовий досвід агровольтаїки. Наприклад, на фермі Піта Альберса в Бабберіхі (м. Зеверленд) зібрано 10250 сонячних панелей потужністю 2,67 МВт, встановлених над плантацією малини [15]. Цей проєкт унікальний тим, що розроблені напівпрозорі модулі, які пропускають сонячне світло для рослин, захищаючи їх від градобобою і спеки. Система генерує стільки електроенергії, що вистачає для приблизно 1250 домогосподарств [15]. Крім захисту посівів, панелі знизили температуру повітря під ними, що позитивно вплинуло на врожай. Паралельно Wageningen University проводить

кілька дослідів з іншими ягідними культурами під сонячними панелями. Нідерланди активно розробляють стандарти агровольтаїки та проводять великі дослідження з оптимізації угруповань рослин під панелями.

Франція: легалізація агровольтаїки і зелена енергія у фермерських господарствах. У 2024 році опублікований указ № 2024-318, який регламентує встановлення сонячних панелей на сільськогосподарських землях [16]. Наприклад, за цим документом покриття площі сонячними модулями не має перевищувати 40 % культивуваної ділянки, а врожайність сільгоспкультур при агровольтаїці повинна бути не меншою 90 % від звичайної (крім тваринництва) [16]. Такі правила розроблено для того, щоб поєднувати енергетику і традиційне землеробство без шкоди для продуктивності ґрунту. Окрім юридичних нововведень, у Франції широко застосовуються біогазові установки на сільгоспвиробництві (особливо – у скотарстві) і сонячні панелі на фермах. До 2023 р. Франція ввела власні стимули для фермерського «зеленого» виробництва енергії через програми субсидій та пільгові кредити.

Іспанія: сонячні і комплексні рішення у виноробстві. Проект LIFE+ REWIND (2015–2019) демонстрував ефективне використання ВДЕ у агропромисловості на прикладі виноробного підприємства в Іспанії [17]. Там встановили дві системи: плаваючі сонячні панелі на резервуарі очищення стоків (для потреб очисної споруди) та автономні панелі для роботи системи краплинного зрошення. Результати наступні: плаваючі панелі забезпечили 53902 кВт год на рік економії електроенергії (зі зменшенням викидів CO₂ на 13476 кг/рік), а панелі для зрошення замінили 2621 л дизпального на рік і скоротили ще 7040 кг CO₂ [17]. Аналіз показав, що застосування таких ВДЕ-систем є технічно та економічно доцільним, роблячи господарство більш стійким до змін цін на пальне.

Польща – яскравий приклад регіональних кооперативів та європейських інвестицій. Група фермерів у південно-західній Польщі (Західне Помор'я) збудувала власну біогазову установку потужністю 2 МВт, що реалізує енергію для локального споживання [18]. Цей завод, побудований за підтримки ЄС, дав додатковий ринок збуту для сільгосппродукції регіону (постачає кормову сировину – жом цукрових буряків, силос кукурудзи) [18]. У 2020 р. він виробив близько 8000 МВт-год електроенергії, яка використовувалася для покриття локальних потреб регіону і став єдиним таким постачальником у районі [18]. Фермери регулярно проводять там навчання для колег, демонструючи практичні вигоди біогазу. Польща, як і інші країни Східної Європи, також отримує довгострокові гарантії «зелених тарифів» для відновлювальної енергетики, що заохочує фермерів вкладати у сонячні та вітрооб'єкти.

В табл. 2 систематизовано управлінські механізми й ефекти для аграрного сектору від використання ВДЕ в країнах ЄС.

Таблиця 2

Управлінські механізми й ефекти для аграрного сектору від використання ВДЕ в країнах ЄС

Країна	Вид ВДЕ, приклад	Управлінські механізми й ефекти для аграрного сектору
1	2	3
Німеччина	Біогаз (майже 8600 фермерських установок), сонячна і мала вітрова енергетика	Модель довгострокових «зелених тарифів» (до 20 років) забезпечила фінансову стабільність інвестицій у біогазові і сонячні установки на фермах. Управління об'єктами генерації інтегроване в структуру аграрних підприємств, що дозволяє використовувати відходи рослинництва і тваринництва як сировину для енергетики. В результаті фермери отримали додаткове джерело доходу, а біогазова генерація стала частиною енергетичного балансу країни.
Данія	Біометан, вироблений фермерськими кооперативами	Ключовим управлінським механізмом стала кооперативна модель: фермери об'єднують ресурси для створення спільних біогазових станцій. Держава забезпечує гарантований викуп біометану та інвестиційні гранти. Це зменшило індивідуальні ризики фермерів і дозволило масштабувати виробництво енергії, перетворивши аграрний сектор на значного постачальника газу в національну енергосистему.
Нідерланди	Агровольтаїка (сонячні панелі над сільськогосподарськими культурами)	Управління енергетичною генерацією поєднується з агротехнологічним менеджментом: сонячні установки інтегруються у виробничі процеси ферми без втрати продуктивності землі. Держава фінансує експериментальні проекти та розробляє нормативні рекомендації щодо розміщення панелей. Цей підхід дозволяє використовувати одну територію для виробництва і продуктів харчування, і електроенергії.

1	2	3
Франція	Агровольтаїка та сонячні установки на фермах	Регуляторна модель спрямована на баланс між енергетикою та аграрним виробництвом. Законодавство обмежує площу покриття панелями та зобов'язує зберігати мінімальний рівень урожайності. Таким чином управління об'єктами генерації здійснюється через систему аграрно-енергетичного регулювання, що запобігає витісненню сільського господарства енергетичними проєктами.
Іспанія	Сонячні енергосистеми та гібридні установки у виноробстві	Управління ВДЕ реалізується через енергоефективні програми для агропідприємств. Установки встановлюються безпосередньо на виробничих об'єктах, що дозволяє скорочувати витрати на електроенергію та паливо. Практика демонструє, що інтеграція сонячних систем у технологічні процеси фермерських господарств знижує енергетичну залежність агробізнесу.
Польща	Фермерські біогазові установки (приклад кооперативу Terra)	Управління генерацією здійснюється через локальні енергетичні проєкти за участю фермерів, муніципалітетів і європейських фондів. Біогазові установки працюють на аграрних відходах і постачають електроенергію в місцеві мережі. Така модель підвищує економічну стійкість фермерських господарств і формує локальні енергетичні кластери.

Джерело: розроблено авторами на основі аналізу [12–18]

Цей огляд показує: масштабні впровадження «зеленої» генерації в АПК приносять економічні й екологічні вигоди. Політики підтримки (гарантовані тарифи, дотації, стандартні договори) стимулювали початкове зростання, але з часом акцент зміщується на ринкові механізми та інновації (аукціони, вимірювання продуктивності). Крім того, важливу роль відіграє просвітницька робота серед фермерів (семінари, демонстраційні установки), що видно на прикладі Польщі та Іспанії.

Отже, європейська практика демонструє, що навіть невеликі сільськогосподарські господарства можуть ефективно використовувати власні ВДЕ-генератори. Для України доцільно поєднати багато цих практик. Наприклад, слід розвивати біогазову галузь, використовуючи наявні аграрні ресурси: рештки зернових, солому, гній. База для цього величезна – за підрахунками, в Україні щорічно збирається понад 43 млн тонн соломи зернових і технічних культур [7]. Залучення кооперативної моделі (як у Данії та Польщі) дозволить невеликим фермам об'єднуватися для спільної генерації і нарощування масштабів виробництва біометану чи біоенергії. Також корисним буде впровадження агровольтаїки: будівництво сонячних навісів над полями (виноградниками, садами, баштанами) або інтеграція панелей на господарські будівлі. Нові норми (як у Франції) можуть забезпечити врожайність культур при розгортанні сонячних панелей. Перші пілотні проєкти агровольтаїки в Україні вже обговорюються на рівні дослідницьких центрів і приватних компаній [19].

Необхідно адаптувати регуляторні стимули. Як і в ЄС, має сенс пропонувати фермерським «зеленим» проєктам вигідні тарифи і спрощені процедури приєднання до мережі. На сьогодні в Україні діє «зелений» тариф (0,117 €/кВт·год за оцінкою 2024 р.) [19], але він переважно орієнтований на великі СЕС. Варто розробити окремі програми чи «зелений бонус» для аграрних невеликих об'єктів – наприклад, пільговий «зелений» тариф для СЕС/бітурбіни <1 МВт на фермі. Важливо також створити умови для реалізації біометану (розвиток ринку біогазу), зокрема спростити ліцензування та інтеграцію біометану у газову мережу (як це зроблено у Німеччині та Данії).

Критичною є і технічна підтримка фермерів. За європейським зразком, Україні потрібно організувати навчальні центри (наприклад, на базі аграрних університетів чи кооперативів) з демонстраційними «чистими фермами». Приклад із Польщі показує, що тісна співпраця із ЗВО і регіональною владою сприяє швидкому розгортанню «чистих» технологій у селі. Наявність доступних «зелених кредитів» і грантових програм (REPowerEU, регіональні інвестиційні фонди) може зменшити капіталоукладення аграріїв у обладнання ВДЕ, як це відбувається за кордоном.

Отже, поєднання технологій з досвіду ЄС – біогазових установок, агровольтаїки, сільських мікрогенерацій і сприятливої політики стимулів та освіти – дозволить Україні за короткий строк підвищити енергоефективність агросектора. Це допоможе не лише досягти цілей декарбонізації, але й зробити сільські регіони більш економічно стійкими та енергетично незалежними.

Висновки з проведеного дослідження. Узагальнення європейського досвіду показало, що інтеграція об'єктів генерації електроенергії з відновлюваних джерел в аграрну сферу стала важливим інструментом підвищення енергоефективності сільського господарства і диверсифікації доходів фермерських господарств. У країнах Європейського Союзу найбільш поширеними формами використання ВДЕ у сільському господарстві є біогазові установки, агровольтаїчні системи та фермерські сонячні електростанції. Їх розвиток забезпечується поєднанням державної підтримки, довгострокових економічних стимулів, кооперативних моделей організації виробництва енергії та інтеграції енергетичних технологій у виробничі процеси аграрних підприємств. Практика Німеччини,

Данії, Нідерландів, Франції, Іспанії та Польщі демонструє, що ефективне управління такими об'єктами ґрунтується на системному поєднанні технологічних рішень, регуляторних механізмів та партнерської взаємодії між фермерами, державою і науковими установами.

Для України використання цього досвіду є особливо актуальним з огляду на значний ресурсний потенціал аграрного сектору та потребу підвищення енергетичної незалежності. Перспективними напрямками є розвиток біогазових комплексів на основі аграрних відходів, впровадження агровольтаїчних систем на сільськогосподарських угіддях, створення енергетичних кооперативів та удосконалення механізмів державної підтримки малих об'єктів генерації. Адаптація європейських підходів до управління такими об'єктами дозволить не лише підвищити енергоефективність аграрного виробництва, а й сприятиме розвитку сільських територій, зменшенню викидів парникових газів та формуванню більш стійкої енергетичної системи країни.

Література

1. Renewables in agriculture. Renewables 2024 Global Status Report. *REN21*. 2024. URL: https://www.ren21.net/gsr-2024/modules/energy_demand/04_renewables_in_agriculture/ (дата звернення: 02.01.2026).
2. Agriculture and forestry energy use down 1.1 % in 2023. *Eurostat*. 2025. URL: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20251125-3> (дата звернення: 02.01.2026).
3. Відновлення енергетики має базуватися на принципах енергоефективної трансформації. *Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України*. 14 липня 2023. URL: <https://saee.gov.ua/news/vidnovlennia-energetiki-maje-bazuvatisia-na-principax-energoefektivnoyi-transformaciyi> (дата звернення: 02.01.2026).
4. A multidisciplinary view on agrivoltaics: Future of energy and agriculture / Asa'a S., Reher T., Rongé J., Diels J., Poortmans J., Radhakrishnan H. S., van der Heide A., Van de Poel B., Daenen M. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2024. Vol. 200. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114515>.
5. Soto-Gómez D. Integration of Crops, Livestock, and Solar Panels: A Review of Agrivoltaic Systems. *Agronomy*. 2024. Vol. 14. Iss. 8. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy14081824>.
6. Zahrawi A. A., Aly A. M. A Review of Agrivoltaic Systems: Addressing Challenges and Enhancing Sustainability. *Sustainability*. 2024. Vol. 16. Iss. 18. 8271. DOI: <https://doi.org/10.3390/su16188271>.
7. Transforming Agriculture into Energy: Unlocking Ukraine's Bioenergy Potential for Sustainable Post-Conflict Recovery / Pimenow S., Pimenowa O., Moldavan L., Udova L., Wasilewski M., Wasilewska N. *Energies*. 2025. Vol. 18. Iss. 5. DOI: <https://doi.org/10.3390/en18051212>.
8. Agricultural biogas plants as a hub to foster circular economy and bioenergy: An assessment using substance and energy flow analysis / Burg V., Rolli C., Schnorf V., Scharfy D., Anspach V., Bowman G. *Resources, Conservation and Recycling*. 2023. Vol. 190. 106770. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106770>.
9. Петруха Н. Сутність і зміст зеленої трансформації сільськогосподарських підприємств. *Економічний аналіз*. 2025. Т. 35. № 2. С. 566-573. DOI: <https://doi.org/10.35774/econa2025.02.566>.
10. Цюпа С. В. Аналіз сучасного стану та тенденцій розвитку біоенергетики в аграрному виробництві: моніторинг ресурсного базису та обсягів виробництва біопалива. *Український журнал прикладної економіки та техніки*. 2025. Т. 10. № 4. С. 354-357. DOI: <https://doi.org/10.36887/2415-8453-2025-4-72>.
11. Кузьома В. В. Пріоритетні напрями розвитку циркулярних трансформацій у агросекторі України. *Український журнал прикладної економіки та техніки*. 2022. Т. 7. № 4. С. 291-296. DOI: <https://doi.org/10.36887/2415-8453-2022-4-44>.
12. Changing Markets Foundation. Biogas in the EU: A policy and financial analysis. 2025. URL: <https://changingmarkets.org/wp-content/uploads/2025/10/MM-Report-Biogas-in-the-EU-A-policy-and-financial-analysis-recolored-V010-Final.pdf> (дата звернення: 02.01.2026).
13. Agricultural biogas plants as a hub to foster circular economy and bioenergy: An assessment using substance and energy flow analysis / Burg V., Rolli C., Schnorf V., Scharfy D., Anspach V., Bowman G. *Resources, Conservation and Recycling*. 2023. Vol. 190. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106770>
14. Denmark biogas energy: co-operative farming and biomethane to grid. *Anaerobic Digestion Community*. 2025. URL: <https://blog.anaerobic-digestion.com/denmark-biogas-energy-co-operative-farming-and-biomethane-to-grid/> (дата звернення: 02.01.2026).
15. Solar installations bear fruit for Netherlands Agri-PV. *BayWa r.e*. 2026. URL: <https://www.baywa-re.com/en/case-studies/solar-installations-bear-fruit-for-netherlands-agri-pv> (дата звернення: 12.01.2026).
16. Deboutte G. France issues new rules for agrivoltaics. *pv magazine*. 2024. URL: <https://www.pv-magazine.com/2024/04/09/france-issues-new-rules-for-agrivoltaics/> (дата звернення: 02.01.2026).

17. Farm energy efficiency with renewables. *EU CAP Network*. 2019. URL: https://eu-cap-network.ec.europa.eu/projects/farm-energy-efficiency-renewables_en (дата звернення: 02.01.2026).

18. Biogas plant delivers renewable energy and inspiration in Poland. *European Commission*. 19 October 2020. URL: https://ec.europa.eu/regional_policy/en/projects/Poland/biogas-plant-delivers-renewable-energy-and-inspiration-in-poland (дата звернення: 02.01.2026).

19. Альтернативна енергетика. *UkraineInvest*. 2026. URL: <https://ukraineinvest.gov.ua/en/industries/energy/renewable-energy/> (дата звернення: 12.01.2026).

References

1. REN21 (2024), Renewables in agriculture. Renewables 2024 Global Status Report, available at: https://www.ren21.net/gsr-2024/modules/energy_demand/04_renewables_in_agriculture/ (access date January 02, 2026).

2. Eurostat (2025), Agriculture and forestry energy use down 1.1 % in 2023, available at: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-eurostat-news/w/ddn-20251125-3> (access date January 02, 2026).

3. State Agency for Energy Efficiency and Energy Saving of Ukraine (2023), “Energy recovery should be based on the principles of energy-efficient transformation”, available at: <https://saee.gov.ua/news/vidnovlennia-energetiki-maje-bazuvatisia-na-principax-energoefektivnoyi-transformaciyi> (access date January 02, 2026).

4. Asa'a, S., Reher, T., Rongé, J. et al. (2024), “A multidisciplinary view on agrivoltaics: Future of energy and agriculture”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 200, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2024.114515>.

5. Soto-Gómez, D. (2024), “Integration of Crops, Livestock, and Solar Panels: A Review of Agrivoltaic Systems”, *Agronomy*, Vol. 14, Issue 8, 1824, DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy14081824>.

6. Zahrawi, A.A. and Aly, A.M. (2024), “A review of agrivoltaic systems: Addressing challenges and enhancing sustainability”, *Sustainability*, Issue 16, no. 18, 8271, DOI: <https://doi.org/10.3390/su16188271>.

7. Pimenow, S., Pimenowa, O., Moldavan, L. et al. (2025), “Transforming agriculture into energy: Unlocking Ukraine’s bioenergy potential for sustainable post-conflict recovery”, *Energies*, Vol. 18, Issue 5, DOI: <https://doi.org/10.3390/en18051212>.

8. Burg, V., Rolli, C., Schnorf, V. et al. (2023), “Agricultural biogas plants as a hub to foster circular economy and bioenergy: An assessment using substance and energy flow analysis”, *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 190, 106770, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106770>.

9. Petrukha, N. (2025), “The essence and content of the green transformation of agricultural enterprises”, *Ekonomichnyi analiz*, Vol. 35, no. 2, pp. 566-573, DOI: <https://doi.org/10.35774/econa2025.02.566>.

10. Tsiupa, S.V. (2025), “Analysis of the current state and development trends of bioenergy in agricultural production: monitoring of the resource base and volumes of biofuel production”, *Ukrainskyi zhurnal prykladnoi ekonomiky ta tekhniky*, Vol. 10, no. 4, pp. 354-357, DOI: <https://doi.org/10.36887/2415-8453-2025-4-72>.

11. Kuzioma, V.V. (2022), “Priority directions for the development of circular transformations in the agricultural sector of Ukraine”, *Ukrainskyi zhurnal prykladnoi ekonomiky ta tekhniky*, Vol. 7, no. 4, pp. 291-296, DOI: <https://doi.org/10.36887/2415-8453-2022-4-44>.

12. Changing Markets Foundation. Biogas in the EU: A policy and financial analysis (2025), available at: URL: <https://changingmarkets.org/wp-content/uploads/2025/10/MM-Report-Biogas-in-the-EU-A-policy-and-financial-analysis-recolored-V010-Final.pdf> (access date January 02, 2026).

13. Burg, V., Rolli, C., Schnorf, V., Scharfy, D., Anspach, V. and Bowman, G. (2023), “Agricultural biogas plants as a hub to foster circular economy and bioenergy: An assessment using substance and energy flow analysis”. *Resources, Conservation and Recycling*. 2023. Vol. 190. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2022.106770>

14. Anaerobic Digestion Community (2025), Denmark biogas energy: co-operative farming and biomethane to grid, available at: <https://blog.anaerobic-digestion.com/denmark-biogas-energy-co-operative-farming-and-biomethane-to-grid/> (access date January 02, 2026).

15. BayWa r.e. (2026), “Solar installations bear fruit for Netherlands Agri-PV”, available at: <https://www.baywa-re.com/en/case-studies/solar-installations-bear-fruit-for-netherlands-agri-pv> (access date January 12, 2026).

16. Deboutte, G. (2024), “France issues new rules for agrivoltaics”, *pv magazine*, available at: <https://www.pv-magazine.com/2024/04/09/france-issues-new-rules-for-agrivoltaics/> (access date January 02, 2026).

17. EU CAP Network (2019), Farm energy efficiency with renewables, available at: https://eu-cap-network.ec.europa.eu/projects/farm-energy-efficiency-renewables_en (access date January 02, 2026).

18. European Commission (2020), Biogas plant delivers renewable energy and inspiration in Poland, available at: https://ec.europa.eu/regional_policy/en/projects/Poland/biogas-plant-delivers-renewable-energy-and-inspiration-in-poland (access date January 02, 2026).

19. UkraineInvest (2026), Renewable energy, available at: <https://ukraineinvest.gov.ua/en/industries/energy/renewable-energy/> (access date January 12, 2026).

Шманько Н.Р.

УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТАМИ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ З ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ В АГРАРНІЙ СФЕРІ: ДОСВІД ЄС

Мета. Узагальнення європейського досвіду управління об'єктами генерації електроенергії з відновлюваних джерел у аграрному секторі і визначення практичних підходів до його адаптації в умовах розвитку аграрної енергетики України.

Методика дослідження. Використано комплекс загальнонаукових і спеціальних методів, зокрема методи аналізу і синтезу – для узагальнення наукових підходів до розвитку відновлюваної енергетики в аграрній сфері; порівняльний аналіз – для вивчення досвіду країн Європейського Союзу щодо управління об'єктами генерації електроенергії з ВДЕ; систематизацію – для структурування основних моделей використання біогазових установок, агровольтаїки та інших форм аграрної енергогенерації; а також аналітичне узагальнення – для визначення можливостей імплементації європейських практик у вітчизняний аграрний сектор.

Результати дослідження. Встановлено, що в аграрному секторі ЄС найбільш поширеними є біогазові установки, агровольтаїчні системи та фермерські сонячні електростанції. Зокрема, у Німеччині функціонує близько 8,6 тис. біогазових установок, які виробляють близько 29 ТВт·год електроенергії на рік, що забезпечує стабільне енергопостачання сільських територій. У Данії сформована кооперативна модель виробництва біометану, де близько 160 біогазових станцій покривають близько 11 % потреб країни у газі. Досвід Нідерландів і Франції демонструє активне впровадження агровольтаїчних систем, що поєднують виробництво електроенергії з аграрним використанням земель, зокрема сонячні панелі потужністю 2,67 МВт, інтегровані у фермерські господарства. Показано, що ефективність управління такими об'єктами забезпечується поєднанням державних стимулів, довгострокових тарифних механізмів підтримки, кооперації фермерських господарств та інтеграції енергетичних технологій у виробничу інфраструктуру аграрних підприємств. На основі узагальнення європейського досвіду визначено можливість використання біогазових технологій, агровольтаїки і фермерських мікрогенерацій для підвищення енергоефективності аграрного сектору України.

Наукова новизна результатів дослідження. Набула подальшого розвитку систематизація моделей управління об'єктами генерації електроенергії з відновлюваних джерел у аграрному секторі країн ЄС і виокремлення їх ключових організаційно-економічних компонентів, зокрема поєднання технологічних рішень (біогазові комплекси, агровольтаїчні системи, фермерські сонячні електростанції), кооперативних форм організації виробництва енергії та механізмів державної підтримки.

Практична значущість результатів дослідження. Запропоновані підходи можуть бути використані для формування ефективної політики підтримки відновлюваної енергетики у сільському господарстві, зокрема розвитку біогазових установок, агровольтаїчних систем і фермерських енергетичних кооперативів. Запропоновані рекомендації можуть бути використані органами державного управління, аграрними підприємствами та інвесторами при розробленні програм розвитку аграрної енергетики.

Ключові слова: фермерські підприємства, аграрний сектор, агровольтаїка, біогаз, біоенергетика, енергетична ефективність, управління об'єктами генерації, сонячні і вітрові електростанції.

Shmanko N.R.

MANAGEMENT OF RENEWABLE ELECTRICITY GENERATION FACILITIES IN THE AGRICULTURAL SPHERE: EU EXPERIENCE

Purpose. The aim of the article is to summarize the European experience of managing renewable energy generation facilities in the agricultural sector and to identify practical approaches to its adaptation in the conditions of the development of agrarian energy in Ukraine.

Methodology of research. Complex of general scientific and special methods was used, in particular methods of analysis and synthesis to generalize scientific approaches to the development of renewable energy in the agricultural sector; comparative analysis to study the experience of European Union countries in managing renewable energy generation facilities; systematization to structure the main models of using biogas plants, agrovoltatics and other forms of agricultural energy generation; as well as analytical generalization to determine the possibilities of implementing European practices in the domestic agricultural sector.

Findings. It was established that biogas plants, agrovoltaic systems and farm solar power plants are the most common in the EU agricultural sector. In particular, in Germany there are about 8.6 thousand biogas plants operating, which produce about 29 TWh of electricity per year, which ensures a stable energy supply to rural areas. In Denmark, a cooperative model of biomethane production has been formed, where about 160 biogas plants cover about 11% of the country's gas needs. The experience of the Netherlands and France demonstrates the active implementation of agrovoltaic systems that combine electricity production with agricultural land use, in particular solar panels with a capacity of 2.67 MW, integrated into farms. It is shown that the efficiency of management of such facilities is ensured by a combination of state incentives, long-term tariff support mechanisms, cooperation of farms and integration of energy technologies into the production infrastructure of agricultural enterprises. Based on the generalization of European experience, the possibilities of using biogas technologies, agrovoltaics and farm microgenerations to increase the energy efficiency of the agricultural sector of Ukraine have been identified.

Originality. The systematization of management models for renewable energy generation facilities in the agricultural sector of EU countries and the identification of their key organizational and economic components have further developed, in particular the combination of technological solutions (biogas complexes, agrovoltaic systems, farm solar power plants), cooperative forms of organizing energy production, and state support mechanisms.

Practical value. The proposed approaches can be used to form an effective policy to support renewable energy in agriculture, in particular the development of biogas plants, agrovoltaic systems and farmer energy cooperatives. The proposed recommendations can be used by state authorities, agricultural enterprises and investors in developing agricultural energy development programs.

Key words: farm enterprises, agricultural sector, agrovoltaic, biogas, bioenergy, energy efficiency, management of generation facilities, solar and wind power plants.

Дата надходження рукопису: 04.02.2026

Дата прийняття рукопису до друку: 12.03.2026

Дата публікації: 31.03.2026