



Економіка

УДК 620.92:338.433: 338.764(477)

DOI <https://doi.org/10.5281/zenodo.20345545>

**Методологія формування біоенергетичних кластерів в умовах
трансформації енергетичної системи України**

Гальчинська Юлія Миколаївна

Д.е.н., професор, професор кафедри енергозберігаючих технологій та енергетичного менеджменту ЗВО «Подільський державний університет»,
32316, м. Кам'янець-Подільський, вул. Шевченка, 12, Україна

galchynskaya@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4260-3072>

Ларіна Ярослава Степанівна

Д.е.н., професор, професор кафедри маркетингу імені А.Ф. Павленка
Київський національний економічний університет імені Вадима Гетьмана
03051, м. Київ, проспект Берестейський 54 -1, Україна

yaroslava.larina@kneu.edu.ua

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2712-7824>

Прийнято: 05.05.2026 | Опубліковано: 20.05.2026

Анотація. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю зміцнення енергетичної безпеки України, диверсифікації джерел енергії та зменшення залежності від викопного палива в умовах воєнних викликів та трансформації енергетичного сектору. Значний потенціал біомаси, зокрема сільськогосподарських відходів, створює передумови для розвитку біоенергетики та формування енергетичних кластерів на регіональному рівні.



Метою статті є вивчення теоретичних та методологічних засад формування енергетичних кластерів та найповніше використання біоенергетичного потенціалу аграрного сектору на основі оцінки можливостей комплексного використання біоресурсів. У роботі використано методи економічного аналізу, статистичного групування, кластерного аналізу, порівняльної оцінки та прогнозування. Для формування біоенергетичних кластерів застосовано методи оцінки біоенергетичного потенціалу різних енергетичних культур, сільськогосподарських відходів, а також евклідову класифікацію регіонів України. Розраховано енергетичний потенціал біомаси за регіонами України, визначено рівень можливого заміщення природного газу та класифіковано регіони за подібністю структури біоенергетичних ресурсів. Результати дослідження показали, що загальний економічний енергетичний потенціал біомаси в сільськогосподарських підприємствах України перевищує обсяги поточного споживання природного газу. Найвищий потенціал заміщення традиційних енергоресурсів характерний для Житомирської, Волинської, Вінницької, Рівненської та Сумської областей. На основі кластерного аналізу було сформовано три енергетичні кластери, враховуючи регіональні особливості ресурсної бази та можливості розвитку розподілених енергетичних систем. Доведено, що ефективне використання сільськогосподарських відходів, насамперед соломи, сприятиме розвитку локальних енергетичних систем, підвищенню енергетичної незалежності громад та декарбонізації економіки. Перспективи подальших досліджень пов'язані з розробкою цифрових моделей управління енергетичними кластерами, інтеграцією технологій інтелектуальних мереж та мікромереж, а також оцінкою економічної ефективності та екологічних наслідків функціонування біоенергетичних кластерів в умовах повоєнної відбудови України.

Ключові слова: біомаса, альтернативні джерела енергії, енергетичний потенціал, енергетичний кластер, сільськогосподарські відходи, альтернативна енергетика, microgrid clusters, енергонезалежність.



Methodology for the formation of bioenergy clusters in the context of the transformation of the Ukrainian energy system

Julia Galchynska

Doctor of Economic Sciences, Professor, Professor of the Department of Energy-Saving Technologies and Energy Management, Higher educational institution «Podillia State University» 32316, Kamianets-Podilskyi, Shevchenko St., 12, Ukraine
galchynskaya@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4260-3072>

Yaroslava Larina

Doctor of Economics, Professor, Professor of the Department of Marketing named after A.F. Pavlenko Kyiv National Economic University named after Vadym Hetman 03051, Kyiv, Beresteyskyi Avenue 54 -1, Ukraine
yaroslava.larina@kneu.edu.ua

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-2712-7824>

Abstract: The relevance of the study is due to the need to strengthen Ukraine's energy security, diversify energy sources and reduce dependence on fossil fuels in the face of military challenges and the transformation of the energy sector. The significant potential of biomass, in particular agricultural waste, creates the prerequisites for the development of bioenergy and the formation of energy clusters at the regional level. The purpose of the article is to study the theoretical and methodological principles of the formation of energy clusters and the most complete use of the bioenergy potential of the agricultural sector based on the assessment of the possibilities of the integrated use of bioresources. The work uses methods of economic analysis, statistical grouping, cluster analysis, comparative assessment and forecasting. Methods for assessing the bioenergy potential of various energy crops, agricultural waste, as well as the Euclidean



classification of regions of Ukraine were applied in order to form bioenergy clusters. The energy potential of biomass was calculated by regions of Ukraine, the level of possible substitution of natural gas was determined and the regions were classified according to the similarity of the structure of bioenergy resources. The results of the study showed that the total economic energy potential of biomass in agricultural enterprises in Ukraine exceeds the volumes of current natural gas consumption. The highest potential for replacing traditional energy resources is characteristic of Zhytomyr, Volyn, Vinnytsia, Rivne and Sumy regions. Based on the cluster analysis, three energy clusters were formed, taking into account the regional characteristics of the resource base and the possibilities for the development of distributed energy systems. It has been proven that the effective use of agricultural waste, primarily straw, will contribute to the development of local energy systems, increasing the energy independence of communities and decarbonization of the economy. Prospects for further research are related to the development of digital models for managing energy clusters, the integration of smart grid and microgrid technologies, as well as the assessment of the economic efficiency and environmental consequences of the functioning of bioenergy clusters in the conditions of post-war reconstruction of Ukraine.

Keywords: biomass, alternative energy sources, energy potential, energy cluster, agricultural waste, alternative energy, microgrid clusters, energy independence.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими чи практичними завданнями. Проблема забезпечення енергетичної незалежності є надзвичайно актуальною для України, що зумовлює необхідність активізації використання підприємствами та іншими споживачами альтернативних джерел енергії. Значний потенціал у цьому контексті має біомаса, відходи різних сільськогосподарських культур, рівень енергетичного використання яких все ще залишається недостатнім. Основними стримуючими



чинниками є недостатнє технічне забезпечення процесів збирання та підготовки сировини, обмежена кількість енергетичних установок для її ефективного використання, виведення з обігу частини земель сільськогосподарського призначення, підвищені ризики військового стану, а також низький рівень інтегрованості в загальну енергосистему. Одним з шляхів вирішення цих проблем є формування енергетичних кластерів на засадах маркетингу взаємодії.

Концепція енергетичних кластерів сформувалась у відповідь на глобальні виклики декарбонізації, енергетичної безпеки та переходу до розподілених енергосистем (distributed energy systems). Сучасні дослідження розглядають енергетичні кластери як інтегровані системи, що поєднують генерацію з альтернативних джерел енергії (або ВДЕ), накопичення енергії, цифрові платформи управління, microgrid-архітектури та механізми енергетичної кооперації між зацікавленими учасниками ринку. У науковій літературі енергетичні кластери трактуються як територіально або функціонально інтегровані об'єднання підприємств, енергетичних об'єктів, інфраструктури, наукових установ та споживачів, які спільно формують інноваційне середовище розвитку енергетики. Особливо активно дослідження розвиваються у напрямках smart grid, DER-clusters, multi-microgrid systems та peer-to-peer energy trading.

Результати дослідження можуть сприяти розв'язанню проблем енергодефіциту в економіці України та вирішенню практичних завдань щодо комплексного використання відходів аграрного виробництва.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз наукових публікацій, присвячених залученню альтернативних джерел енергії, зокрема біологічного походження, свідчить про значний розвиток фундаментальних досліджень у цій сфері. Глибокі теоретико-методологічні засади вивчення енергетичного потенціалу біосфери, принципів енергозбереження та шляхів їх практичної реалізації були закладені у працях таких учених, як В. Вернадський, Ф. Кене, С. Подолинський. Подальший розвиток природничих наук сприяв формуванню сучасних наукових підходів до розроблення технологій збирання й переробки



біомаси на біопаливо, зокрема біогаз, біодизель і біоетанол. Значний внесок у розвиток цього напрямку зробили такі дослідники, як Г. Гелетуха, Л. Гуцаленко, В. Дубровін, О. Єрмаков, Н. Зеленчук та інші. Економічні та організаційні аспекти використання біоенергетичних ресурсів та розвитку біоенергетичного потенціалу висвітлено у працях І. Кириленка, М. Кропивка, В. Месель-Веселяка, О. Шпичака та інших провідних науковців. Методологія формування і функціонування біоенергетичних кластерів частково була опрацьована в роботах Т.І. Биркович, Д.О. Лазаренка, В.І. Ляшенко, М.В. Суворова та інших вчених.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.

Біоенергетичний потенціал може бути визначений як на рівні господарської одиниці, так і на рівні регіональних утворень, що дає змогу виділити відповідні "центри концентрації". Це зумовлює необхідність опрацювання відповідних науково обгрунтованих рішень щодо алокації регіонального біоенергетичного потенціалу з метою створення спеціалізованих енергетичних кластерів.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою статті є опрацювання теоретико-методологічних засад формування енергетичних кластерів та максимально повного використання біоенергетичного потенціалу аграрного сектору на основі оцінки можливостей комплексного використання біоресурсів, у т.ч. оцінки ресурсного потенціалу з виробництва біопалива з різних сільськогосподарських культур.

Виклад основного матеріалу дослідження. Україна характеризується високим рівнем розвитку аграрного сектору, що формує значний потенціал для виробництва енергії біологічного походження. Водночас наявний ресурсний потенціал біомаси використовується недостатньо ефективно, що зумовлено низьким рівнем обізнаності щодо можливостей її застосування, а також обмеженим практичним досвідом переробки та утилізації твердих відходів сільськогосподарського походження. Важливим фактором є також відносно низька щільність населення порівняно з країнами Європейського Союзу, що у поєднанні з наявністю невикористовуваних сільськогосподарських земель (їх



площа складала майже 4 млн га до початку повномасштабного вторгнення) відкривало значні можливості для вирощування енергетичних культур. Виклики, пов'язані з війною, погіршили ситуацію в енергетичній сфері: відбулося виведення з обігу сільськогосподарських земель (близько 5 млн га), що знаходяться в окупації, зоні бойових дій або потребують розмінування, зріс дефіцит робочої сили, зруйновано частину установок, що працюють на біомасі. Ці фактори створили додаткові перешкоди для використання біомаси та збалансованого розвитку енергетики в Україні.

У Національному плані дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 року висловлено очікування, що біоенергетика як частина валового кінцевого споживання енергії в Україні має зрости мінімум удвічі за період 2020-2030 років, досягнувши 6 млн т н.е. [1, с. 5], включаючи всі види біопалива (відходи лісового господарства, сільськогосподарські відходи та енергетичні культури), в той час як всі альтернативні джерела енергії, включаючи біоенергетику, мають зрости у 5 разів до 2050 року порівняно з 2020 роком, відповідно до Енергетичної стратегії України до 2050 року [2].

Результати досліджень [3, с. 6-9] свідчать, що найбільший невикористаний потенціал твердої біомаси зосереджений саме у сільському господарстві, що обумовлює доцільність концентрації уваги на ефективному залученні аграрних відходів до енергетичного використання. Навіть за сучасних умов в Україні зберігається значний невикористаний потенціал утилізації твердої біомаси, зокрема для виробництва електричної енергії та комбінованої генерації теплової й електричної енергії на основі відходів сільського і лісового господарства. Особливе місце серед таких ресурсів займають сільськогосподарські відходи, які формують вагомий, проте недостатньо задіяний резерв.

З метою забезпечення достатньо рівномірного розподілу енергетичних ресурсів як зарубіжні, так і українські дослідники акцентують увагу на економічних та організаційних аспектах кластеризації енергетики. Поняття кластерного підходу до територіального групування економічних суб'єктів



уперше було ґрунтовно розроблено М. Портером. Учений визначав кластер як географічно локалізовану сукупність взаємопов'язаних підприємств, спеціалізованих постачальників, сервісних компаній, суб'єктів суміжних галузей, а також організацій, діяльність яких пов'язана з функціонуванням відповідного сектору [4]. Оптимально сформовані кластери одночасно поєднують переваги конкурентних відносин та можливості співпраці між учасниками в межах окремих регіонів або сфер діяльності.

У роботах Т. І. Биркович енергетичний кластер розглядається як інструмент регіонального розвитку та підвищення конкурентоспроможності енергетичного сектору через інтеграцію виробництва, науки, бізнесу та держави [5]. Основну увагу вчений приділяє європейському досвіду формування кластерів та можливостям його адаптації в Україні. Суворов М. В. досліджує функціонування кластерів у сфері енергоефективності та альтернативної енергетики в країнах ЄС. Автор підкреслює, що кластери стають платформою для трансферу технологій, розвитку інновацій та залучення інвестицій. Особливу роль відіграють міжгалузеві зв'язки між енергетикою, ІТ та науково-дослідними центрами [6]. Таким чином, у сучасних наукових дослідженнях поступово формується концепція “place-based renewable energy clusters”, згідно з якою енергетичні кластери повинні враховувати локальні ресурси, територіальні особливості та потреби громад. Такий підхід дозволяє забезпечити не лише декарбонізацію, а й локальну економічну стійкість та соціальну інтеграцію.

У методологічному плані значна частина сучасної наукової літератури присвячена розвитку microgrid clusters — систем взаємопов'язаних мікромереж на основі розподілених енергоресурсів (distributed energy resources - DER). Так, у роботі П. Лещенка та А. Запорожця [7] проаналізовано методологію побудови та архітектуру microgrid clusters (кластери мікромереж), механізми координації та управління енергетичними потоками. Автори зазначають, що така кластеризація забезпечує: підвищення надійності енергопостачання; зменшення навантаження на централізовані мережі; інтеграцію альтернативних джерел енергії у мережі;



підвищення енергоефективності на рівні підприємств і регіонів; розвиток prosumer-моделі (коли виробник стає одночасно споживачем).

Guan, Wei, Guerrero та Vasquez розглядають кластери мікромереж як основу майбутніх енергетичних смарт-систем. Дослідники наголошують, що ефективне функціонування кластерів потребує інтеграції наступних елементів [8]: виявлення і оптимальне використання джерел енергії; оптимізаційні алгоритми; ICT; big data; AI-based енергетичний менеджмент.

Додатковим фактором, що впливає на формування енергокластерів, є наявність міжнародного досвіду, зокрема тісна взаємодія українського аграрного сектору з аналогічними секторами європейських країн, що сприяє трансферу знань і технологій. Водночас технічні засоби, необхідні для переробки біосировини, не потребують значних інвестицій і не належать до вузькоспеціалізованого обладнання, що підвищує доступність їх впровадження.

Методологія формування і функціонування біоенергетичних кластерів — це комплексний підхід, що базується на об'єднанні виробників сільсько-господарської продукції, переробних підприємств, наукових установ та інвесторів у межах певних територіальних одиниць (районів, областей) для створення ефективного біоенергетичного ринку. Основні положення методології включають: етапи формування, принципи, що покладено в основу створення і функціонування кластеру, а також підходи до управління кластером.

Етапи формування біоенергетичного кластера у свою чергу передбачають:

1. Ініціювання та аналіз. Ідентифікація процесів кластеризації у регіоні, аналіз наявного ресурсно-сировинного потенціалу (біомаса, відходи).
2. Розробка організаційної структури, що передбачає вибір моделі кластера (наприклад, протокластерна модель) та налагодження взаємодії між учасниками (фермери, енергетичні компанії, влада).
3. Формування інфраструктури, що підтримує розвиток кластера.

Отже, ідентифікація процесів кластеризації розпочинається з аналізу наявного ресурсно-сировинного потенціалу, що формує біоенергетичний



потенціал, тобто сукупність усіх доступних відновлюваних біологічних ресурсів, які можна перетворити на теплову або електричну енергію, а також на моторне паливо. Біоенергетичний потенціал включає наступні складові [3; 9; 10]:

- відходи сільського господарства: солома зернових, стебла кукурудзи та соняшника, лушпиння соняшника, відходи від переробки цукрового буряку.
- потенціал енергетичних культур, які вирощують для виробництва палива (енергетична верба, міскантус, свічграс, тополя та ін.);
- потенціал відходів лісового господарства та деревообробки: гілки, кора, тирса, тріска та відходи меблевого виробництва.
- відходи тваринництва: гній та пташиний послід, які є основною сировиною для виробництва біогазу;
- органічні відходи: побутові відходи (тверді побутові відходи, що містять органіку), опале листя, а також осади міських стічних вод.

Проведений аналіз показав, що потенціал біомаси в сільськогосподарських підприємствах України є значним ресурсом для енергозаміщення. Загальний енергетичний біомаси сільгосппідприємств в Україні становить приблизно 25 499 тис. т н.е. Цей обсяг теоретично дозволяє замістити понад 112,8% природного газу, що споживається (при споживанні близько 27,8 млрд м³ або 22,6 млн т н.е.). У розрізі областей найвищий відсоток можливого заміщення газу демонструють Волинська (283,3%) та Вінницька (270,8%) області.

Наступним етапом дослідження є вивчення структури енергетичного потенціалу за видами біомаси. Основними джерелами енергії при цьому є відходи рослинництва та деревина:

- Первинні відходи рослинництва (солома та стебла): Загальний потенціал по Україні оцінюється у 6847 тис. т н.е. Найбільшими постачальниками таких відходів є Полтавська (643,2 тис. т н.е.), Хмельницька (568,5 тис. т н.е.) та Вінницька (520,8 тис. т н.е.) області.
- Енергетичний потенціал відходів деревини (лісозаготівля та переробка) в цілому по Україні становить близько 3 532 тис. т н.е.



- Енергетичний потенціал лушпиння соняшнику складає близько 513 тис. т н.е., де лідером є Кіровоградська область (99,2 тис. т н.е.).

У межах дослідження було здійснено обчислення усіх складових біоенергетичного потенціалу. Так, потенціал енергетичних культур з урахуванням урожайності та коефіцієнтів виходу, наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

Розрахунок потенціалу енергетичних культур в Україні, тис. т у.п./рік

Площі по культурах, тис га	
Верба	472
Міскантус	283
Тополя	189
кукурудза (на біогаз)	472
<i>Разом</i>	<i>1416</i>
Верба	1690
Міскантус	1130
Тополя	690
кукурудза (на біогаз)	1485
<i>Разом</i>	<i>4996</i>

Розраховано авторами

У межах дослідження були проведені розрахунки біоенергетичного потенціалу за областями України та визначено можливості заміщення природного газу, що наведено у таблиці 2.

Таблиця 2

Біоенергетичний потенціал за областями України та можливості заміщення природного газу

	Газ природний, тис.м ³	Газ природний, тис.т н.е.	Економічний енергетичний потенціал біомаси у сільськогосподарських підприємствах, тис. т н.е.	Заміщення, %
Україна	27837598	22604	25499	112,8
Вінницька	694794	564	1528	270,8
Волинська	393133	319	905	283,3
Дніпропетровська	3515574	2855	1062	37,2



Житомирська	538957	438	1851	423,0
Закарпатська	359077	292	520	178,3
Запорізька	1030873	837	969	115,7
Івано-Франківська	990753	804	524	65,2
Київська	1622672	1318	1348	102,3
Кіровоградська	367540	298	967	324,1
Львівська	1338133	1087	754	69,4
Миколаївська	981030	797	854	107,1
Одеська	1604043	1302	1558	119,6
Полтавська	1704014	1384	1436	103,8
Рівненська	475550	386	1035	268,0
Сумська	747706	607	1570	258,6
Тернопільська	478689	389	806	207,4
Харківська	2471572	2007	1025	51,1
Херсонська	336861	274	1006	367,8
Хмельницька	590233	479	1388	289,6
Черкаська	1914550	1555	1059	68,2
Чернівецька	302802	246	365	148,3
Чернігівська	520218	422	1771	419,2

*Без урахування Донецької та Луганської областей

Розраховано авторами за результатами власних досліджень

Як видно з таблиці 2, найбільший економічний енергетичний потенціал біомаси наявний у сільськогосподарських підприємствах Житомирської, Вінницької, Чернігівської, Сумської, Полтавської, Одеської та Київської областей. Проте на тепер наявний енергетичний потенціал біомаси низки областей України має обмежене використання через повномасштабне вторгнення РФ та підвищені ризики. Крім того, слід враховувати можливість заміщення традиційного палива альтернативними джерелами енергії, що розраховано нами і подано у таблиці 2.

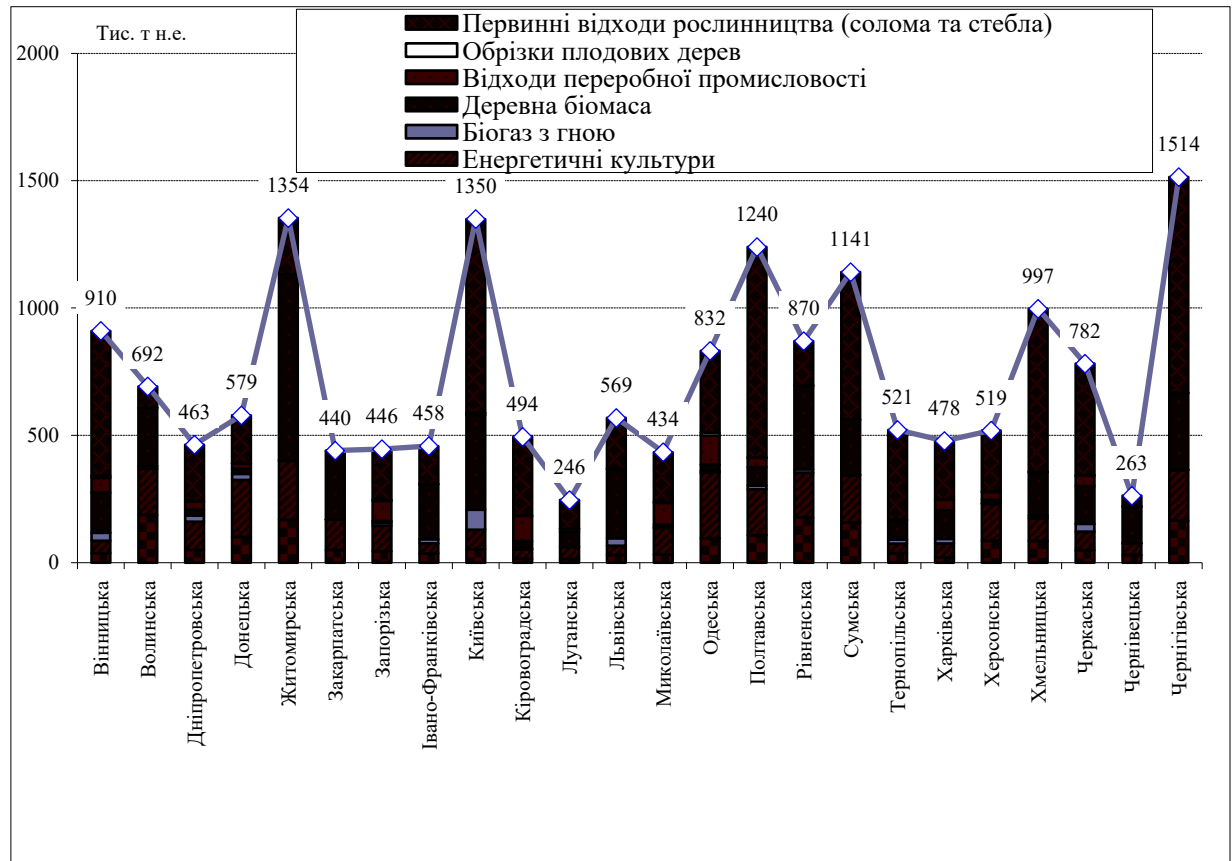


Рис.1. Економічний енергетичний потенціал біомаси у сільсько-господарських підприємствах за регіонами України у 2019 році

Розраховано авторами

Результати аналізу продемонстрували максимальні можливості такого заміщення у Житомирській, Кіровоградській та Херсонській областях. Також достатньо високий потенціал заміщення у Вінницькій, Волинській, Рівненській та Сумській областях.

Третій етап дослідження передбачає класифікацію регіонів з подальшим утворенням кластерів. Отримані дані містять результати кластерного аналізу (класифікація за середніми), де області згруповані за подібністю їхнього енергетичного потенціалу. Зокрема, Кластер 3 включає області з високим потенціалом первинних відходів (X1), такі як Вінницька (520,8) та Полтавська (643,7). Кластер 1 формують області з вищими показниками за іншими параметрами (наприклад, відходи деревини або специфічні культури), як-от Волинська та Житомирська (таблиця 3).

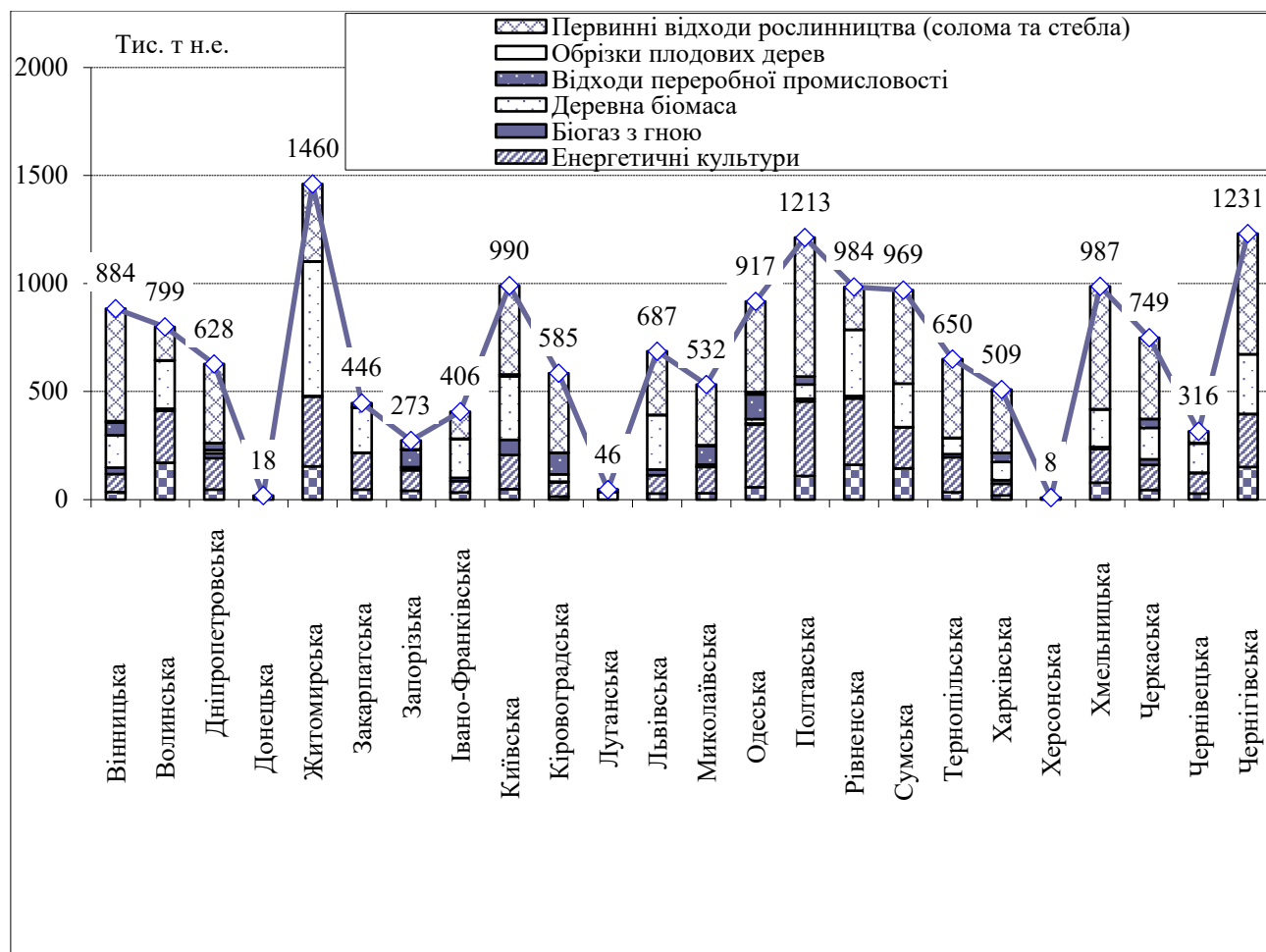


Рис.2. Економічний енергетичний потенціал біомаси у сільсько-господарських підприємствах за регіонами України у 2024 році

Таблиця 3

Формування енергетичних кластерів в Україні на основі розрахунків біоенергетичного потенціалу за даними 2024 року

	X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	Відстань	Номер Кластера
Волинська	154,92	0,23	0,00	224,04	9,60	239,98	170,36	113,87	1
Житомирська	357,86	0,55	0,00	623,00	2,31	323,45	153,16	463,30	1
Закарпатська	19,63	1,57	0,00	208,10	0,37	171,02	45,63	145,57	1
Запорізька	41,24	2,89	78,99	4,32	10,33	94,80	40,69	286,01	1
Івано-Франківська	124,99	0,52	0,00	180,78	14,86	52,10	33,10	146,16	1



Львівська	294,95	0,95	0,00	252,07	25,54	85,51	27,59	173,71	1
Рівненська	197,91	0,39	0,00	306,54	11,38	306,72	161,04	175,26	1
Чернівецька	54,06	2,40	0,00	134,93	2,01	94,80	27,41	175,78	1
Дніпропетровська	365,64	1,17	31,84	14,78	22,83	145,16	46,14	54,10	2
Кіровоградська	368,30	0,88	99,17	33,13	4,00	65,06	14,23	88,59	2
Миколаївська	281,04	4,27	85,76	8,04	3,13	120,83	29,37	91,19	2
Одеська	419,31	11,05	114,63	20,41	6,20	289,00	57,00	181,04	2
Тернопільська	363,81	0,94	0,00	75,04	14,59	161,72	33,65	68,92	2
Харківська	293,15	0,47	41,51	84,83	16,52	53,91	18,72	108,44	2
Черкаська	375,58	0,44	41,51	144,82	26,64	115,25	44,64	98,90	2
Вінницька	520,81	7,34	57,84	149,72	30,15	83,65	34,04	141,84	3
Київська	411,32	1,56	7,52	293,14	70,41	158,01	48,07	168,79	3
Полтавська	643,71	0,38	36,85	65,26	12,97	345,00	109,00	232,06	3
Сумська	432,59	0,39	0,00	200,89	1,78	189,61	143,97	106,62	3
Хмельницька	568,47	1,31	0,00	174,08	9,29	156,15	77,54	69,43	3
Чернігівська	558,19	0,16	0,00	275,96	0,69	245,38	150,33	120,49	3

Сформовано авторами за результатами власних досліджень

Проведений аналіз показує, що Україна має значний потенціал біомаси, який у сільськогосподарському секторі перевищує обсяги споживання природного газу. Ключовими регіонами-лідерами є Вінницька, Полтавська та Хмельницька області. Нами сформовано три кластери, у межах яких учасники зможуть отримувати стабільне забезпечення біопаливом та енергією згідно принципу партнерських стосунків. У першому кластері провідне місце за рівнем біоенергетичного потенціалу належить Житомирській області, також важливими є Волинська і Рівненська області, що мають високий потенціал заміщення; у другому – Одеській області; у третьому – Київська, Сумська та Чернігівська (лише райони з достатнім безпековим рівнем).

Сучасні енергетичні кластери неможливі без впровадження цифрової інфраструктури. У науковій літературі smart grid розглядається як базова технологічна платформа для інтеграції кластерів альтернативної енергетики, підкреслюється необхідність переходу від централізованих моделей до distributed control systems. Слід відзначити, що існують значні інфраструктурні



та технічні виклики кластеризації. Зокрема, автори Johannes Schiffer, Daniele Zonetti, Ediriweera та Lidula досліджують проблеми захисту та проектування microgrid clusters та наголошують, що збільшення кількості розподілених джерел енергії ускладнює: захист мереж; управління потоками енергії; підтримання певної частоти; кібербезпеку та синхронізацію режимів роботи [11].

О. Федосєєнко аналізує проблеми проектування microgrid кластеризації в умовах високої частки альтернативних видів енергії [12]. Серед основних викликів ним визначено: нестабільність генерації; необхідність швидкого балансування; складність координації DER; потребу в нових алгоритмах управління. У низці робіт наголошується, що без розвитку накопичувачів енергії та smart control systems ефективне функціонування енергетичних кластерів є обмеженим [13], і ці аспекти слід враховувати при проектуванні енергетичного кластера.

При формуванні кластерів важливими є питання їхнього впливу на регіональний розвиток та декарбонізацію економіки. У роботах щодо renewable energy landscapes підкреслюється, що енергетичні кластери формують локальні ланцюги створення вартості; нові робочі місця; інноваційні екосистеми; енергетичну незалежність громад [14; 15; 16; 17].

В публікаціях українських науковців останніх років простежується перехід від традиційної централізованої енергетики до диверсифікованої енергосистеми (distributed energy systems). Серед ключових аспектів такого переходу розглядаються [14; 15; 16; 17]:

- енергонезалежні громади;
- біоенергетичні кластери;
- smart communities;
- microgrid-рішення для критичної інфраструктури;
- інтеграцію України до європейського енергетичного ринку.



Таким чином, ефективне використання сільськогосподарських відходів, передусім соломи, може стати одним із практичних і економічно доцільних напрямів розвитку біоенергетики в Україні у середньостроковій перспективі.

Висновки. Проведений аналіз показав, що Україна має колосальний потенціал біомаси, який у сільськогосподарському секторі перевищує обсяги споживання природного газу. Мета дослідження, що стосувалася опрацювання методології формування енергетичних кластерів, досягнута. Зокрема, визначено, що методологія кластеризації передбачає триетапне формування енергетичного кластера: ініціювання та аналіз; розробка організаційної структури, що передбачає вибір моделі кластера; розвиток інфраструктури.

Проведене дослідження підтвердило, що Україна володіє значним біоенергетичним потенціалом, основу якого становлять відходи сільського господарства, зокрема солома, стебла культур, лушпиння соняшнику та інші види біомаси. Встановлено, що рівень використання цього потенціалу залишається недостатнім, незважаючи на можливість суттєвого заміщення природного газу альтернативними джерелами енергії. Найбільші можливості для розвитку біоенергетики мають Житомирська, Вінницька, Полтавська, Чернігівська, Сумська та Київська області. Ключовими регіонами-лідерами з урахуванням військових загроз є Житомирська, Вінницька, Полтавська та Хмельницька області.

У результаті кластерного аналізу сформовано три регіональні енергетичні кластери, що дозволяють об'єднати виробників біосировини, переробні підприємства, наукові установи та інфраструктурні об'єкти на засадах партнерства. Доведено, що кластерний підхід сприяє підвищенню енергоефективності, розвитку локальних енергетичних систем, зміцненню енергетичної безпеки та формуванню умов для декарбонізації економіки. Водночас розвиток біоенергетичних кластерів потребує модернізації інфраструктури, впровадження smart grid та microgrid-рішень, накопичувачів енергії й сучасних цифрових систем управління. Ефективне використання



біомаси може стати важливим чинником енергетичної незалежності України та інтеграції до європейського енергетичного простору.

Перспективи подальших досліджень полягають у розробленні ефективних моделей функціонування біоенергетичних кластерів із використанням smart grid та microgrid-технологій, а також механізмів інтеграції альтернативної енергетики до європейського енергетичного простору. Важливим напрямом є також удосконалення методів оцінювання біоенергетичного потенціалу регіонів та обґрунтування інструментів державної підтримки розвитку кластерів в умовах повоєнного відновлення України.

Список використаних джерел

1. Місцева українська біомаса: потенціал збирання та процеси обробки. 2025. URL: https://mev.gov.ua/sites/default/files/2025-09/utc-2025_appendix-i_ua_0.pdf (дата звернення: 15.05.2026).
2. Енергетична стратегія України до 2050 року. URL: <https://mev.gov.ua/reforma/enerhetychna-stratehiya-0> (дата звернення: 15.05.2026).
3. Ermakov O.Y., Melnychenko V.V. Bioenergy potential of agricultural enterprises. *Економіка АПК*. 2017. №11. С. 5-11.
4. Porter M. *Competitiveness: learning guide*. Williams, UK. 2001.
5. Биркович Особливості формування енергетичних кластерів: зарубіжний та вітчизняний досвід. *Економіка та держава*. 2012. №10. С. 96-98.
6. Суворов М. В. (2021). Європейський досвід функціонування кластерів у сфері енергоефективності та відновлюваної енергетики: уроки інноваційного розвитку. *Економічний простір*. №171. С. 58-63. <https://doi.org/10.32782/2224-6282/171-10> (дата звернення: 17.05.2026).
7. Лещенко П., Запорожець А. Огляд архітектур кластерів мікромереж на базі розподілених джерел енергії. *Системні дослідження в енергетиці*. 2025. № 2(82). С. 13-28.



8. Guan Y, Wei B, Guerrero JM, et al. An overview of the operation architectures and energy management system for multiple microgrid clusters. *iEnergy*. 2022. №1(3). С.306-314. <https://doi.org/10.23919/EN.2022.0035> (дата звернення: 15.05.2026).
9. Кропивко М.Ф. Концептуальний підхід до кластерної організації та управління розвитком агропромислового виробництва. *Економіка АПК*. 2010. № 11. С. 3-13.
10. Трачук А. Аналіз потенціалу та перспектив розвитку технологій біомаси в Україні. *Науковий журнал «Енергетика: економіка, технології, екологія»* 2024. №1. С. 131-137. URL: <https://energy.kpi.ua/article/view/297589/292017> (дата звернення: 16.05.2026).
11. Johannes Schiffer, Daniele Zonetti, Romeo Ortega, Aleksandar Stankovic, Tevfik Sezi, Joerg Raisch. A survey on modeling of microgrids - from fundamental physics to phasors and voltage sources. *Automatica*. 2016. Volume 74. URL: <https://www.sciencedirect.com/journal/automatica/vol/74/suppl/C> (дата звернення: 15.05.2026).
12. Fedoseienko O.M. CHALLENGES AND DESIGN ASPECTS OF MICROGRID CLUSTERING. *Праці ІЕД НАН України*. 2023. Вип. 65. DOI: <https://doi.org/10.15407/publishing2023.65.068> (дата звернення: 15.05.2026).
13. Лазаренко Д.О., Ляшенко В.І., Уткін В.П. Структурні моделі циркулярних біоенергетичних кластерів. 2023. *Економічний вісник Донбасу* № 1(71). С. 80-86. URL: <https://nasplib.isofts.kiev.ua/handle/123456789/193782> (дата звернення: 15.05.2026).
14. Писаренко П.В., Самойлік М.С., Диченко О.Ю., Руденко О.М. Оптимізація організаційної структури управління ресурсно-екологічною безпекою на регіональному рівні на інноваційних засадах. *Бізнес-Інформ*. 2020. № 8. С. 60–68.
15. Буданов М. П. Системно-кластерний підхід до забезпечення управління енергетичною безпекою підприємств в умовах ентропії зовнішнього середовища.



Бізнес-Інформ. 2024. №8. С. 209–217. URL:
<https://doi.org/10.32983/2222-4459-2024-8-209-217> (дата звернення: 17.05.2026).

16. Башнянин Г.І., Городиський Т.І., Іванченко Г.В. Кластеризація як фактор підвищення інноваційності та екологізації економіки регіону. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2013. Випуск 23.4. С. 136-146.

17. Фінагіна О. В., Гудзь П. В., Грон А. В. Перспективні напрямки розвитку електроенергетичного ринку України: інновації та регіональні кластери. *Соціально–економічний розвиток регіонів в контексті міжнародної інтеграції*. 2016. №23 (12). С. 57-63.