

---

## Аналіз структури енергетичного потенціалу біомаси України та напрямків його використання

Тетяна Железна

Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ, Україна

ORCID 0000-0002-9607-3022

---

**Анотація:** Проаналізовано структуру, поточні та перспективні напрямки використання енергетичного потенціалу біомаси в Україні. Актуальність питання пов'язана з нагальною необхідністю зменшення залежності від імпортованих викопних палив за рахунок прискореного розвитку відновлюваних джерел енергії. Одним з таких джерел є біомаса, яка вже зараз забезпечує близько 9% загального постачання первинної енергії у світі і більше 11% – в Європейському Союзі. Найбільш сталими видами біомаси для енергетичних потреб в Європі вважаються відходи, залишки, лігноцелюозна біомаса, тобто ті види, що не конкурують з виробництвом продуктів харчування та кормів. Виробництво й використання рідких та газоподібних біопалив з таких видів сировини призводить до найбільшого скорочення викидів парникових газів. Це є особливо важливим для транспорту, який порівняно із секторами виробництва теплової і електричної енергії важко піддається декарбонізації.

За виконаними оцінками, економічний потенціал біомаси в Україні становить майже 34 млн т н.е./рік за даними 2021 р. (останнього передвоєнного). За роки війни обсяг потенціалу зменшився, але не критично, що говорить про його стійкість до негативних зовнішніх факторів. Таким чином, можна очікувати його поступового відновлення до рівня 2021 р. Крім того, потенціал має високий рівень сталості, оскільки при його оцінці застосовується консервативний підхід з урахуванням різних аспектів сталості. Найбільшими складовими енергетичного потенціалу біомаси в Україні є сільськогосподарські залишки як тверда біомаса (10,8 млн т н.е./рік за даними 2021 р.) і біогаз з проміжних/покривних культур (7,9 млн т н.е./рік). Україна має певний досвід вирощування проміжних/покривних культур, але напрямок їх використання як сировини для біогазу є новим. Перспективним сегментом розвитку біоенергетики є також виробництво біогазу/біометану з первинних сільськогосподарських залишків, але в цьому випадку вони потребують попередньої обробки як лігноцелюозна сировина.

Подальші дослідження можуть полягати у визначенні та відпрацюванні методів попередньої обробки лігноцелюозної біомаси, які є найбільш ефективними для умов України з технічної і економічної точок зору. Крім того, необхідно працювати в напрямку забезпечення техніко-економічних умов для започаткування виробництва передових рідких біопалив для транспорту, у тому числі сталих авіаційних біопалив та біопалив для морського транспорту. В цьому випадку також часто мова іде про використання саме лігноцелюозної біомаси як сировини для отримання рідких біопалив другого покоління.

**Ключові слова:** біоенергетика, біомаса, біопаливо, біогаз, енергетичний потенціал, економічний потенціал.

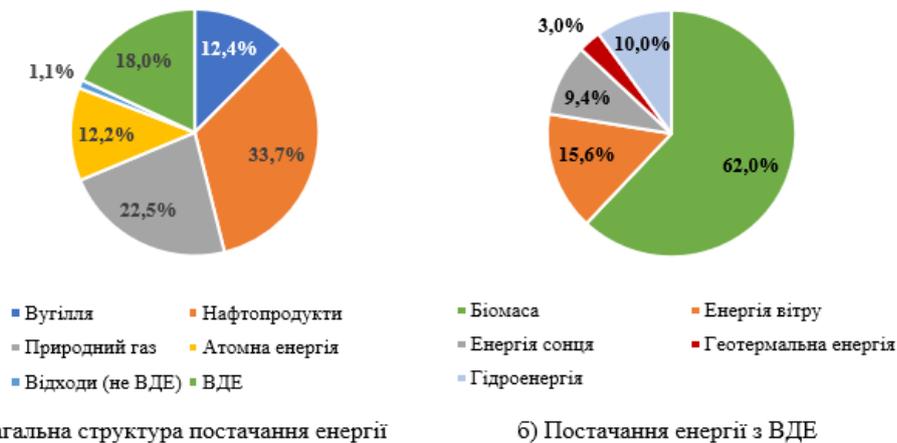
---

### 1. Вступ

Біоенергетика є однією з ключових складових відновлюваної енергетики протягом вже кількох десятиріч. Це стосується як світу загалом, так і Європи, включаючи Україну. Відновлювані джерела енергії (ВДЕ) забезпечують зараз майже 15% (92 ЕДж/рік) загального постачання первинної енергії (ЗППЕ) у світі, у тому числі близько 9% (56 ЕДж/рік) – за

рахунок біомаси. Найбільший внесок біоенергетика робить у виробництво теплової енергії – 73% загального обсягу теплоти з ВДЕ і у транспортний сектор – майже 90% всього обсягу споживання відновлюваної енергії [1].

В Європейському Союзі частка ВДЕ у ЗППЕ становить 18%, з яких 62% – енергія біомаси (рис. 1). Аналогічні показники щодо фінального споживання енергії – 22% і 60%, відповідно [2]. На відміну від викопних палив, залежність країн ЄС від імпорту біомаси/біопалив складає менше 5%. Це свідчить про великий ступінь забезпечення власними біоенергетичними ресурсами, виробництво яких співставно із сумарним видобутком природного газу, нафти й вугілля в ЄС. Хоча тверда біомаса забезпечує 70% енергії у європейському біоенергетичному секторі, біогаз/біометан і рідкі біопалива також відіграють значну роль, яка продовжує збільшуватися. Особливо це стосується біометану, який за своїми властивостями може бути повним заміником природного газу.



**Рис. 1.** Структура первинного постачання енергії в ЄС [2].

Як і загалом у світі, в ЄС частка біомаси серед усіх ВДЕ є найбільшою у виробництві теплової енергії та у споживанні відновлюваної енергії на транспорті (табл. 1). Оскільки у транспортній галузі ЄС дизельне паливо забезпечує до двох третин загального споживання енергії, саме його заміщення біопаливом суттєво впливає на рівень декарбонізації сектору. На сьогодні біодизель (FAME) і відновлюваний дизель (HVO) заміщують вже більше 7% сумарного споживання дизпалива в ЄС. У багатьох країнах як стандартне паливо продається дизпаливо В7 (до 7% біодизеля по об'єму) і бензин Е10 (до 10% біоетанолу по об'єму). Близько 40% загального обсягу споживання біопалив на транспорті забезпечується біопаливами другого покоління (передовими), тобто такими, що вироблені з відходів та інших видів сталої біомасової сировини згідно Директиви ЄС 2018/2001 з відновлюваної енергетики [3]. Це є важливим, оскільки використання саме передових біопалив призводить до найбільшого скорочення викидів парникових газів й повністю відповідає критеріям сталості.

**Таблиця 1.** Внесок ВДЕ до кінцевого споживання енергії в ЄС, 2022 р. [2].

Сектор	Частка енергії з біомаси	Загальна частка відновлюваної енергії	Загальне споживання
Електроенергія	5,9%	38,5% <sup>1)</sup>	2791 ТВт·год (10,0 ЕДж)
Транспорт	6,1%	6,9%	11,6 ЕДж
Теплова енергія, палива <sup>2)</sup>	Біомаса (пряме споживання: 17,8% Тепло з біомаси: 3,8%	22,6%	17,4 ЕДж
Загальне кінцеве споживання енергії	13,1%	21,9%	39,0 ЕДж

- 1) Без врахування імпортованої «зеленої» електроенергії.
- 2) Кінцеве споживання палив і теплової енергії у промисловості, житловому секторі, секторі послуг, сільському господарстві, лісовому господарстві.

Одним з найбільш важливих факторів, які визначають можливі обсяги енергетичного використання біомаси, є об'єм і структура доступних ресурсів біомаси. Зазвичай виділяють три види потенціалу біомаси – теоретично можливий (теоретичний), технічно досяжний (технічний) і економічно доцільний (економічний). Іноді додають ще й інші види, наприклад, потенціал реалізації, з уведенням відповідних додаткових обмежень. У спрощеному визначенні, теоретичний – це максимальний обсяг біомаси, доступної в певній системі у певний період часу. Технічний – це частка теоретичного потенціалу, доступна за розглянутих техніко-структурних умов і за поточного рівня технологічних можливостей збору врожаю, заготівлі та інших операцій. Технічний потенціал також враховує просторові обмеження, зумовлені іншими напрямками землекористування (виробництво продуктів харчування, кормів), а також екологічні та деякі інші нетехнічні обмеження. Економічний – це частка технічного потенціалу, яка відповідає критеріям економічної прибутковості в заданих рамкових умовах [4, 5].

За даними роботи [6], теоретичний потенціал біомаси в ЄС-27 (плюс Швейцарія) становить 8,5 ЕДж/рік. Основними складовими цього потенціалу є солома (3,8 ЕДж/рік) та лісові залишки (3,2 ЕДж/рік). Оцінений теоретичний потенціал включає різні напрямки споживання біомаси в рамках концепції біоекономіки – виробництво продуктів харчування, кормів, енергії та інших продуктів. Щодо біоенергетичного сектору, очікується, що у 2030 р. економічно доцільний потенціал біомаси в Європі складатиме 5-10 ЕДж/рік (до 15 ЕДж/рік з урахуванням імпорту ресурсів), а у 2050 р. – 8-10 ЕДж/рік (15-20 ЕДж/рік з урахуванням імпорту) [7]. Результати оцінок завжди суттєво залежать від застосованої методології та охоплених видів біомаси.

В ЄС потужною рушійною силою розвитку відновлюваної енергетики є Європейський зелений курс (ЄЗК), спрямований на досягнення кліматичної нейтральності Європи до 2050 року [8]. Досягнення амбітних цілей Європейського зеленого курсу потребує, серед іншого, пошуку і залучення до енергетичного сектору нових видів сталої біомаси. Такими прикладами є біомаса від обрізки та викорчовування багаторічних сільськогосподарських насаджень (садів, виноградників та ін.), проміжні/покривні культури [9, 10]. Директива ЄС 2018/2001 з відновлюваної енергетики [3] класифікує ці види біомаси як такі, що рідке біопаливо, вироблене з них, є передовим. Україна слідує основним напрямкам ЄЗК, для чого також необхідне розуміння структури, обсягів та рівня сталості наявних ресурсів біомаси. За прикладом ЄС, біомаса від обрізки та викорчовування садів та виноградників, проміжні/покривні культури та деякі інші види біомаси свого часу були додані до оцінки енергетичного потенціалу.

## **2. Об'єкт і предмет дослідження**

Об'єктом дослідження є енергетичний потенціал біомаси в Україні. Предметом дослідження є структура енергетичного потенціалу біомаси. Структура потенціалу залежить від того які саме види біомаси були включені в оцінку, на що, в свою чергу, впливає наявність вихідних даних і достовірних підходів до розрахунків.

## **3. Мета та задачі дослідження**

Мета дослідження – визначення рівня сталості та стійкості енергетичного потенціалу біомаси в Україні.

Задачі дослідження:

1. Виконати оцінку енергетичного потенціалу біомаси України за останніми статистичними даними.
2. Провести порівняльний аналіз структури та обсягу біомаси України за період з 2021 року.
3. Визначити нові можливі напрямки використання економічного потенціалу біомаси.

#### 4. Аналіз літератури

Детальну оцінку енергетичного потенціалу біомаси та можливих напрямків його використання представлено в Атласі енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України [11]. Розраховано технічно досяжний енергетичний потенціал біогазу, рідкого біопалива і твердої біомаси по областях України за статистичними даними 2021 року. Як сировину для отримання біогазу розглянуто гній, органічну фракцію твердих побутових відходів (ТПВ), осад стічних вод, жом цукрових буряків і рослинний силос. Технічно досяжний енергетичний потенціал біогазу оцінено у 4,3 млн т н.е./рік. В Атласі також представлено можливі обсяги виробництва теплової і електричної енергії з біогазу й встановлену потужність відповідного обладнання. Щодо рідкого біопалива, розраховано потенціал біодизеля з насіння ріпаку (832,1 тис. т н.е./рік) та біоетанолу з зерна кукурудзи і з меляси (892,4 тис. т н.е./рік). Потенціал твердої біомаси охоплює первинні та вторинні сільськогосподарські залишки, деревну біомасу, енергетичні рослини, ТПВ. Сумарний річний потенціал твердої біомаси оцінено у 42,8 млн т н.е.

В Дорожній карті розвитку біоенергетики України до 2050 року [12] запропоновано довгостроковий сценарій, що відповідає переходу України на 100% ВДЕ у 2070 році. Наведено оцінку економічно доцільного потенціалу біомаси поточного (23,1 млн т н.е./рік за даними 2018 р.) та перспективного до 2050 року (47,6 млн т н.е./рік). Серед основних факторів росту потенціалу зазначено підвищення врожайності сільськогосподарських культур, розширення сировинної бази для виробництва біогазу і моторних біопалив, збільшення площ під енергетичними рослинами та ріст їх врожайності. Крім того, в Дорожній карті запропоновано структуру використання біопалив в Україні до 2050 р. за їх видами та за видами отриманих енергоносіїв. Прогнозується суттєвий ріст споживання первинних сільськогосподарських залишків для енергетичних потреб і значний ріст виробництва теплової енергії з твердої біомаси.

Авторами [13] представлено результати оцінки енергетичного потенціалу біомаси за даними 2021 року (майже 26 млн т н.е./рік). Результати структуровано за категоріями тверда біомаса, рідке біопаливо, біогаз і в кожній категорії розглянуто різні види біомаси/біомасової сировини. Найбільшою складовою потенціалу є тверда біомаса – 16,1 млн т н.е./рік (62% від загального). До її складу включено сільськогосподарські залишки (солома зернових та ріпаку, побічні продукти виробництва кукурудзи на зерно та соняшнику, лушпиння соняшнику), деревну біомасу (паливна деревина, порубкові рештки, відходи деревообробки, сухостій, деревина із захисних лісосмуг, відходи обрізки та викорчовування садів і виноградників), енергетичні рослини (верба, тополя, міскантус). Виконаний прогноз збільшення потенціалу біомаси до 2050 року відповідає значенню у майже 44 млн т н.е./рік. Визначені потенційні фактори росту є близькими до таких, зазначених у Дорожній карті розвитку біоенергетики України до 2050 року [12].

Підходи до оцінки економічного потенціалу різних видів первинних сільськогосподарських залишків найбільш ґрунтовно описані в роботах [13, 14]. Автори обґрунтовують підхід до визначення частки рослинних залишків, яку можна вилучити з поля для потреб енергетики. Інші джерела літератури з питання енергетичного потенціалу біомаси належать вже розглянутим вище авторам, різним чином інтерпретують дані цих авторів або

стосуються якихось окремих видів біомаси/біопалив і не висвітлюють загальну картину енергетичного потенціалу біомаси.

## 5. Методи досліджень

Для досягнення мети роботи було застосовано такі методи теоретичного дослідження як аналіз, синтез, порівняння, абстрагування. Використання порівняльного аналізу дало можливість виявлення і визначення властивостей та характеристик окремих об'єктів дослідження на основі зібраних статистичних даних і емпіричних досліджень. Також застосовано метод вторинного дослідження, який спирається на необхідні дані, що є у вільному доступі. Автор користувався відкритими даними з вітчизняних та зарубіжних наукових статей, звітів, інтернет-ресурсів.

## 6. Результати досліджень

Україна традиційно має високорозвинене сільське господарство, що визначає наявність великої кількості біомаси сільськогосподарського (с/г) походження. Аграрну біомасу можна розділити на такі категорії як первинні сільськогосподарські залишки, вторинні сільськогосподарські залишки і гній тварин/послід птахів [15]. Первинні с/г залишки утворюються безпосередньо на полі в процесі збирання врожаю сільськогосподарських культур, тоді як вторинні (наприклад, лушпиння соняшника) – генеруються на підприємствах переробної харчової промисловості при обробці врожаю. Енергетичний потенціал с/г залишків зазвичай рахується як тверда біомаса, а потенціал гною/посліду перераховується на обсяг виробництва біогазу/біометану.

Первинні сільськогосподарські залишки включають надземну частину рослинних решток – побічну продукцію (солому), яка може збиратися, та стерню, яка залишається на полі. Обсяг соломи зернових і олійних культур, стебел кукурудзи, соняшника та інших видів побічної продукції (ПП) визначається величиною так званого коефіцієнта ПП, що відображає співвідношення між ПП та основною продукцією (зерно, насіння). Це співвідношення залежить від виду й сорту рослини, її врожайності і може коливатися у певному діапазоні. Для умов України можна навести такі орієнтовні значення коефіцієнту ПП: пшениця – 1,0, ячмінь – 0,8, ріпак – 2,0, кукурудза – 1,3, соняшник – 1,9 [14]. Це означає, що на 1 кг зерна пшениці приходить 1 кг соломи, на 1 кг насіння соняшника – 1,9 кг побічної продукції виробництва соняшника (стебла, кошики) і так далі.

Враховуючи структуру посівних площ України і врожайність сільськогосподарських культур, найбільшими складовими енергетичного потенціалу первинних с/г залишків протягом багатьох років є солома зернових колосових та ПП виробництва кукурудзи (стебла, стрижні – кукурудзиння). Так, за даними останнього передвоєнного 2021 року, економічний потенціал соломи зернових колосових становив 2,87 млн т н.е./рік, а побічної продукції виробництва кукурудзи на зерно – 4,18 млн т н.е./рік (табл. 2). За роки війни виробництво сільськогосподарських культур і, відповідно, обсяг рослинних залишків помітно зменшилися, але можна припустити, що з 2025 р. почалася тенденція певного росту. Принаймні, за даними 2025 р., загальний енергетичний потенціал с/г залишків (7,64 млн т н.е./рік) вже дещо більший, ніж у 2024 р. (7,43 млн т н.е./рік), хоча й суттєво поступається показнику 2021 р. (10,80 млн т н.е./рік).

**Таблиця 2.** Оцінка енергетичного потенціалу біомаси в Україні.

Вид біомаси/біопалива	Потенціал, доступний для енергетики (економічно доцільний), млн т н.е./рік <sup>1)</sup>			
	2021 р.	2023 р.	2024 р.	2025 р.
Сільськогосподарські залишки:	10,80	8,22	7,43	7,64
солома зернових колосових	2,87	1,89	1,94	1,99
солома ріпаку	0,80	1,14	0,98	0,88
побічні продукти виробництва кукурудзи на зерно (стебла, стрижні)	4,18	3,08	2,67	3,05
побічні продукти виробництва соняшника (стебла, корзинки)	1,79	1,39	1,19	1,11
лушпиння соняшника	1,16	0,72	0,65	0,61 <sup>2)</sup>
Деревна біомаса:	2,70	2,64	2,57	2,57
паливна деревина, порубкові рештки, відходи деревообробки	1,68	1,64	1,56	1,56 <sup>2)</sup>
сухостій, відходи деревини із захисних лісосмуг, відходи обрізки та викорчовування садів і виноградників	1,02	1,00	1,01	1,01 <sup>2)</sup>
Енергетичні рослини (верба, тополя, міскантус на 0,5 млн га)	2,58	2,58	2,58	2,58
Тверда біомаса, загалом	16,08	13,44	12,58	12,79
Біодизель:	0,86	0,86	0,98	0,91
з ріпаку <sup>3)</sup>	0,58	0,58	0,70	0,63
з олійних енергетичних рослин на незадіяних с/г землях (0,5 млн га)	0,28	0,28	0,28	0,28
Біоетанол:	0,92	0,70	0,62	0,68
з кукурудзи (10% врожаю зерна)	0,86	0,63	0,55	0,62
з меляси	0,06	0,07	0,07	0,06
Рідке біопаливо, загалом	1,78	1,56	1,60	1,59
Біогаз:				
з відходів тваринницьких підприємств (гній, послід)	0,71	0,67	0,65	0,65 <sup>2)</sup>
з ПП виробництва с/г культур	3,80	3,03	2,88	2,92
з ПП харчової переробної промисловості	0,56	0,72	0,63	0,63 <sup>2)</sup>
з твердих побутових відходів	0,45	0,36	0,37	0,37 <sup>2)</sup>
з осадів стічних вод комунальних очисних споруд	0,06	0,05	0,05	0,05 <sup>2)</sup>
з силосу кукурудзи як енергетичної рослини (з 1 млн га)	2,57	2,57	2,57	2,57
з проміжних/покривних культур	7,94	7,94	7,94	7,94
Біогаз, загалом	16,09	15,34	15,09	15,13
<b>ВСЬОГО</b>	<b>33,95</b>	<b>30,34</b>	<b>29,27</b>	<b>29,51</b>

1) Без урахування тимчасово окупованих територій України станом на 2021 рік.

2) Орієнтовні дані через відсутність повного обсягу статистичної інформації за потрібний рік.

3) Частка врожаю насіння, потенційно виділена на виробництво біодизелю, може змінюватися в залежності від поточних економічних умов: 2021, 2024, 2025 рр. – 70%, 2023 р. – 50%.

Зазвичай, солома зернових колосових вже має багато напрямків використання – як органічне добриво, підстилка для худоби, будівельний матеріал, субстрат для вирощування грибів. Саме тому визначення обсягу, доступного для потреб енергетики, вимагає ретельного підходу та врахування багатьох місцевих умов. В біоенергетичному секторі України найбільш розповсюдженим є спалювання тюкованої соломи в котлах, а також виробництво гранул і брикетів. Побічна продукція виробництва кукурудзи на зерно має менше існуючих напрямків споживання, а тому є більш доступною для енергетики. Враховуючи великий потенціал кукурудзиння в Україні, а також його кращі паливні характеристики порівняно з соломою, цьому напрямку варто приділити серйозну увагу. Стебла соняшника також можуть бути значним джерелом біомаси для отримання енергії, але перешкода полягає в тому, що на сьогодні не відпрацьована технологія їх заготівлі.

Лушпиння соняшника (вторинний залишок с/г) є тією складовою енергетичного потенціалу біомаси України, яка вже зараз дуже активно використовується в секторі біоенергетики. Майже всі олійноекстракційні заводи (ОЕЗ) споживають лушпиння для виробництва енергії, в першу чергу, для власних потреб. У разі наявного залишку лушпиння, з нього зазвичай виробляють гранули/брикети безпосередньо на ОЕЗ або продають іншим виробникам твердого біопалива. Річний потенціал лушпиння залежить, головним чином, від валового збору соняшнику в Україні; існує також невеликий експорт та імпорт насіння. Поточний рівень утилізації економічного потенціалу насіння соняшника сягає 70% і вище.

Високий ступінь поточного споживання (90% і вище) має також потенціал деревної біомаси, в першу чергу такі доступні його види як дрова, тирса, тріски й гранули, брикети з них. Для фактичного збільшення енергетичних ресурсів деревної біомаси необхідно заготовляти її з таких додаткових (неочевидних) джерел як відходи обрізки та викорчовування садів і виноградників, сухостій, відходи відновлення та реконструкції захисних лісосмуг [16, 17].

Економічний потенціал біомаси, у тому числі деревної, може бути збільшений також за рахунок вирощування енергетичних рослин на незадіяних сільськогосподарських землях. В ЄС цей напрямок біоенергетики вважається недостатньо сталим через конкуренцію за землю з точки зору виробництва продуктів харчування. В Україні такої проблеми немає, площа незадіяних сільськогосподарських земель становить до 3-4 млн га. Якщо виділити, наприклад, 0,5 млн га під вирощування верби, тополі, міскантуса, то потенціал біомаси енергетичних рослин становитиме 2,58 млн т н.е./рік. Крім того, вирощування силосу кукурудзи як енергетичної рослини на іншому мільйоні гектарів дає економічний потенціал виробництва біогазу обсягом 3,00 млрд м<sup>3</sup> СН<sub>4</sub>/рік (2,57 млн т н.е./рік).

Для отримання біогазу/біометану є також багато інших джерел сировини, найбільшим з яких є проміжні/покривні культури. Завдяки їх вирощуванню на ~20% посівної площі в Україні можна виробити більше 9 млрд м<sup>3</sup> СН<sub>4</sub>/рік біогазу (~7,9 млн т н.е./рік). Проміжні/покривні культури вирощуються у проміжок часу, коли поле вільне від основних сільськогосподарських культур. Україна має певний досвід вирощування таких культур, але напрямок їх використання як сировини для біогазу/біометану є новим [18]. Існуючі в Україні біогазові/біометанові установки працюють здебільшого на гної/посліді, силосі кукурудзи, мелясі, жомі цукрового буряку. При цьому зазвичай використовується суміш різних видів біомаси, а не моносировина.

## 7. Перспективи подальшого розвитку досліджень

Перспективним напрямком для України є виробництво біогазу/біометану з первинних сільськогосподарських залишків, але в цьому випадку вони потребують попередньої обробки як лігноцелюлозна сировина [19]. Подальші дослідження можуть полягати у визначенні та відпрацюванні методів попередньої обробки лігноцелюлозної біомаси, які є найбільш

ефективними для умов України з технічної і економічної точок зору. Кукурудзиння і стебла соняшника є потенційним джерелом великого обсягу лігноцелюлозної біомаси для отримання біогазу/біометану і передових моторних біопалив. Існуюча сільськогосподарська техніка дає теоретичну можливість збору стебел соняшника, але їх заготівля є неекономічною через невелику щільність розташування стебел на одиницю площі. Задачі подальших досліджень можуть полягати у розробці та відпрацюванні ефективних технологій заготівлі побічної продукції виробництва соняшника. Крім того, необхідно працювати в напрямку забезпечення техніко-економічних умов для започаткування виробництва передових рідких біопалив для транспорту, у тому числі сталих авіаційних біопалив та біопалив для морського транспорту. В цьому випадку також часто мова іде про використання саме лігноцелюлозної біомаси як сировини для отримання рідких біопалив другого покоління.

## 8. Висновки

Україна має значний потенціал біомаси, доступний для виробництва енергії та різних видів біопалив. За роки війни обсяг потенціалу зменшився, але не критично, що говорить про його стійкість до негативних зовнішніх факторів. Крім того, потенціал має високий рівень сталості, оскільки при його оцінці застосовується консервативний підхід з урахуванням різних аспектів сталості. Зазвичай при оцінці економічного потенціалу розрахунок іде по трьох напрямках – тверда біомаса, рідке біопаливо (біодизель, біоетанол) та газоподібне біопаливо (біогаз/біометан). Важливо розуміти, що це умовне розподілення, яке не впливає на фізичний обсяг біомаси, але певним чином відображає пріоритетні або перспективні напрямки використання потенціалу. Підхід, закладений в оцінку потенціалу, дає можливість перерозподіляти види біомаси між різними категоріями в залежності від того, на якому види рідкого або газоподібного біопалива треба зробити акцент.

Наприклад, в категорію рідких біопалив можна додати кілька видів сталих авіаційних біопалив та біопалив для морського транспорту. Це вплине на розподілення відповідних видів сировини в інших категоріях – тверда біомаса й біогаз. Інший приклад – в категорію потенціалу біогазу можна увести додатковий рядок лігноцелюлозної біомаси (деревна біомаса, енергетичні рослини) для отримання біогазу шляхом термохімічної газифікації (наразі враховується тільки анаеробне зброджування). Але при цьому потенціал зазначених видів біомаси в категорії твердої біомаси зменшиться. Такі зміни доцільно робити, коли є підстави вважати новий напрямок економічно перспективним, оскільки мова іде про оцінку економічно доцільного потенціалу біомаси. Так, останні кілька років у поточному потенціалі газоподібних біопалив вже враховується біогаз з проміжних/покривних культур [20], хоча раніше він рахувався лише у потенціалі на довгострокову перспективу до 2050 року. Можна очікувати, що наступним кроком буде додавання принаймні по одному виду сталого авіаційного біопалива та біопалива для морського транспорту [21].

Для практичної реалізації енергетичного потенціалу біомаси необхідно впроваджувати технології її вирощування (енергетичні рослини, проміжні, покривні культури), заготівлі та збору (стебла соняшника, біомаса від обрізки та викорчовування садів, виноградників), встановлювати та оптимізувати ланцюжки постачання на біоенергетичні об'єкти, розвивати ринок торгівлі біомаси як палива (наприклад, створення біопаливної біржі).

---

### Список літератури:

- 1) Global Bioenergy Statistics Report. WBA, 2025 [Online]. Available at: <https://www.worldbioenergy.org/uploads/251118%20GBSR.pdf>
- 2) Implementation of bioenergy in the European Union – 2024 update. IEA Bioenergy, 2024 [Online]. Available at: [https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2025/01/CountryReport2024\\_EU27\\_final\\_v2.pdf](https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2025/01/CountryReport2024_EU27_final_v2.pdf)

- 3) Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council of 11 December 2018 on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast) [Online]. Available at: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A02018L2001-20240716>
- 4) How bioenergy contributes to a sustainable future. IEA Bioenergy, 2023 [Online]. Available at: <https://www.ieabioenergyreview.org/>
- 5) Global biomass potential towards 2035. WBA fact sheet, 2016 [Online]. Available at: [https://www.worldbioenergy.org/uploads/Factsheet\\_Biomass%20potential.pdf](https://www.worldbioenergy.org/uploads/Factsheet_Biomass%20potential.pdf)
- 6) Hamelin L., Borzęcka M., Kozak M., Pudełko R. (2019). A spatial approach to bioeconomy: Quantifying the residual biomass potential in the EU-27. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 100, 127-142. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.10.017>
- 7) Kircher M. (2025). EU Bioenergy – Status and Potential. *Energies*, 18(18): 4857. <https://doi.org/10.3390/en18184857>
- 8) The European Green Deal (EGD). Knowledge brief (2024) [Online]. Available at: <https://eeb.org/wp-content/uploads/2025/05/The-European-Green-Deal-Knowledge-Brief.pdf>
- 9) Dyjakon A. (2018). Harvesting and Baling of Pruned Biomass in Apple Orchards for Energy Production. *Energies*, 11 (7): 1680. <https://doi.org/10.3390/en11071680>
- 10) Svensson S.-E. et al. (2025). Evaluating intermediate crops for biogas production – Effects of nitrogen fertilization and harvest timing on biomass yield, methane output and economic viability. *Biomass and Bioenergy*, 192: 107497. [10.1016/j.biombioe.2024.107497](https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2024.107497)
- 11) Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України / За ред. Кудрі С.О. Київ-2024 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [/https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/atlas\\_2024\\_publication.pdf](https://www.ive.org.ua/wp-content/uploads/atlas_2024_publication.pdf)
- 12) Geletukha G. et al. Roadmap for bioenergy development in Ukraine until 2050. UABIO Position Paper N 26, 2020 [Online]. Available at: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/11/uabio-position-paper-26-en.pdf>
- 13) Гелетуха Г.Г., Железна Т.А., Кучерук П.П., Драгнєв С.В. (2023). Аналіз перспективних напрямків використання енергетичного потенціалу біомаси України. *Теплофізика та теплоенергетика*, 45 (2), 77-86. <https://doi.org/10.31472/ttpe.2.2023.9>
- 14) Geletukha G., Zheliezna T. Prospects for the use of agricultural residues for energy production in Ukraine. UABIO Position Paper N 7, 2014 [Online]. Available at: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/04/position-paper-uabio-7-en.pdf>
- 15) Polipalli K. et al. (2025). A review on value addition of Agricultural Residues by Chemical and Bio-chemical Processes to abate environmental pollution. *Green Technologies and Sustainability*, 3 (4): 100241. <https://doi.org/10.1016/j.grets.2025.100241>
- 16) Zheliezna T., Bashtovyi A., Geletukha G. Analysis of additional sources of wood fuel in Ukraine. UABIO Position Paper N 15, 2016 [Online]. Available at: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2016/04/position-paper-uabio-15-en.pdf>
- 17) Kulišić B., Radić T., Njavro M. (2020). Agro-Pruning for Energy as a Link between Rural Development and Clean Energy Policies. *Sustainability*, 12 (10): 4240. <https://doi.org/10.3390/su12104240>
- 18) Geletukha G. et al. Advanced biomethane production from intermediate and cover crops. UABIO Analytical Note N 1, 2025 [Online]. Available at: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2025/05/Analytical-Note-1-2025-EN.pdf>
- 19) Geletukha G. et al. Advanced biomethane production from lignocellulose materials. UABIO Analytical Note N 2, 2025 [Online]. Available at: [https://uabio.org/wp-content/uploads/2025/07/Analit\\_Zapiska2\\_2025\\_EN.pdf](https://uabio.org/wp-content/uploads/2025/07/Analit_Zapiska2_2025_EN.pdf)
- 20) Geletukha G. et al. Feasibility study and carbon footprint assessment of biomethane production from intermediate crops in Ukraine. *Ecological Engineering & Environmental Technology*, 26 (11), 237-247. <https://doi.org/10.12912/27197050/212663>

21) Zheliezna T., Drahnev S. (2022). Comparative analysis of biofuels and other alternative fuels for introduction in aviation and waterborne transport of Ukraine. *Journal of Science*. Lyon, 37, 37-42. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7409774>

---

## **Analysis of the structure of Ukraine's biomass energy potential and directions of its use**

**Tetiana Zheliezna**

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

ORCID 0000-0002-9607-3022

---

**Abstract:** The structure, current and prospective directions of using the bioenergy potential of Ukraine are analyzed. The relevance of the issue is associated with the urgent need to reduce dependence on imported fossil fuels through the accelerated development of renewable energy sources. One of such sources is biomass, which already provides about 9% of the total supply of primary energy in the world and more than 11% in the European Union. The most sustainable types of biomass for energy needs in Europe are considered waste, residues, lignocellulosic biomass, which are types not competing with the production of food and feed. The production and use of liquid and gaseous biofuels from these feedstocks leads to the greatest reduction in greenhouse gas emissions. This is particularly important for transport, which is difficult to decarbonize compared to the heat and electricity sectors.

According to the performed estimation, the economic potential of biomass in Ukraine is estimated at almost 34 Mtoe/y according to 2021 data (the latest pre-war data). During the war years, the volume of the potential decreased, but not critically, which indicates its resistance to negative external factors. Thus, it can be expected to gradually recover to the 2021 level. In addition, the potential has a high level of sustainability, since a conservative approach is used in its assessment, taking into account various aspects of sustainability. The largest components of the bioenergy potential in Ukraine are agricultural residues as solid biomass (10.8 Mtoe/y based on 2021 data) and biogas from intermediate/cover crops (7.9 Mtoe/y). Ukraine has some experience in growing intermediate/cover crops, but the direction of their use as feedstock for biogas is new. A promising segment of bioenergy development is also the production of biogas/biomethane from primary agricultural residues, but in this case, they require preliminary processing as lignocellulosic feedstock.

Further research may comprise identifying and developing methods of pre-treatment of lignocellulosic biomass that are most effective for the conditions of Ukraine from a technical and economic point of view. In addition, it is necessary to work towards ensuring technical and economic conditions for the launch of production of advanced biofuels for transport, including sustainable aviation biofuels and biofuels for maritime transport. In this case, it is also often a question of using lignocellulosic biomass as a feedstock for obtaining second-generation biofuels.

**Key words:** bioenergy, biomass, biofuel, biogas, bioenergy potential, economic potential.

---