

<https://doi.org/10.15407/dopovidi2026.02.034>

УДК 620.92

Ю.Ф. Снежкін, <https://orcid.org/0000-0002-9049-3392>

Г.Г. Гелету́ха, <https://orcid.org/0000-0002-5249-3092>

Т.А. Железна, <https://orcid.org/0000-0002-9607-3022>

Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ, Україна

E-mail: zhelyezna@uabio.org

Розвиток біоенергетики як складової енергетичної безпеки та декарбонізації економіки України

Представлена академіком НАН України А.А. Халатовим

Однією зі стратегічних цілей України є досягнення кліматичної нейтральності до 2050 р. Для її реалізації необхідно запроваджувати енергоефективні заходи, розширювати споживання відновлюваної енергії, розвивати циркулярну економіку. Біоенергетика є потужним сектором відновлюваної енергетики з великим потенціалом сталого біомаси і можливістю забезпечення значного скорочення викидів парникових газів у різних сферах економіки. Біоенергетичні технології дають можливість отримувати біопалива для виробництва теплової та електричної енергії й використання на транспорті. Значний потенціал твердої біомаси у понад 16 млн т н.е./рік є надійною сировинною базою для виробництва гранул та брикетів — твердого біопалива підвищеної якості, а також передових рідких біопалив. На особливу увагу заслуговує виробництво і споживання біометану, який є повним аналогом природного газу. Україна має достатні ресурси сировини для отримання біометану для внутрішнього споживання та експорту до країн ЄС. Вперше наведено детальне порівняння вартості одиниці енергії в традиційних енергоносіях і біопаливах, проаналізовано передумови для заміщення викопних палив біомасою. Для збільшення споживання біомаси та заміщення нею природного газу в Україні обґрунтовано необхідність встановлення єдиної ринкової ціни на газ для всіх категорій споживачів.

Ключові слова: декарбонізація, біоенергетика, біомаса, біопаливо, потенціал біомаси, біометан.

Вступ. Одним із ключових принципів політики ЄС, до якого прагне приєднатися Україна, є так звана Зелена угода (Green Deal), яка передбачає досягнення кліматичної нейтральності Європейського континенту до 2050 р. У жовтні 2024 р. в Україні також було прийнято Закон “Про основні засади державної кліматичної політики” [1], однією з цілей якого визначено досягнення кліматичної нейтральності не пізніше 2050 р. Для реалізації цієї мети

Ц и т у в а н н я: Снежкін Ю.Ф., Гелету́ха Г.Г., Железна Т.А. Розвиток біоенергетики як складової енергетичної безпеки та декарбонізації економіки України. *Допов. Нац. акад. наук Укр.* 2026. № 2. С. 34—45. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2026.02.034>

© Видавець ВД «Академперіодика» НАН України, 2026. Стаття опублікована за умовами відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

в країні має запроваджуватися активна декарбонізація економіки — підвищення енергоефективності, розвиток відновлюваних джерел енергії, розвиток циркулярної економіки.

Більше ніж половина загальних викидів парникових газів в Україні наразі припадає на сектор енергетики, за яким ідуть промисловість і сільське господарство (рис. 1) [2]. Проблема стану довкілля значно загострилася під час військових дій, які тривають в країні вже понад 10 років.

Крім завдання декарбонізації Україна має вирішувати величезні проблеми, пов'язані з тимчасовою окупацією частини територій і значним пошкодженням та руйнуванням об'єктів енергетики внаслідок воєнних дій. Від початку повномасштабного вторгнення було уражено більшість підконтрольних Україні теплових електростанцій (ТЕС), гідроелектростанцій (ГЕС) та теплоелектроцентралей (ТЕЦ). За даними Міністерства енергетики України, загалом пошкоджено понад 63 тис. енергетичних об'єктів; лише протягом 2024 р. уражено або зруйновано 10 ГВт електричної генерації. Сумарно було пошкоджено або знищено до 70 % генерації електроенергії, особливо постраждали ТЕС та великі ТЕЦ [3]. Крім того, унаслідок російських обстрілів у жовтні 2025 р. Україна втратила до 60 % власного видобутку газу. Київська школа економіки оцінює прямі збитки, завдані українській енергетиці, у більш ніж \$14,6 млрд [4].

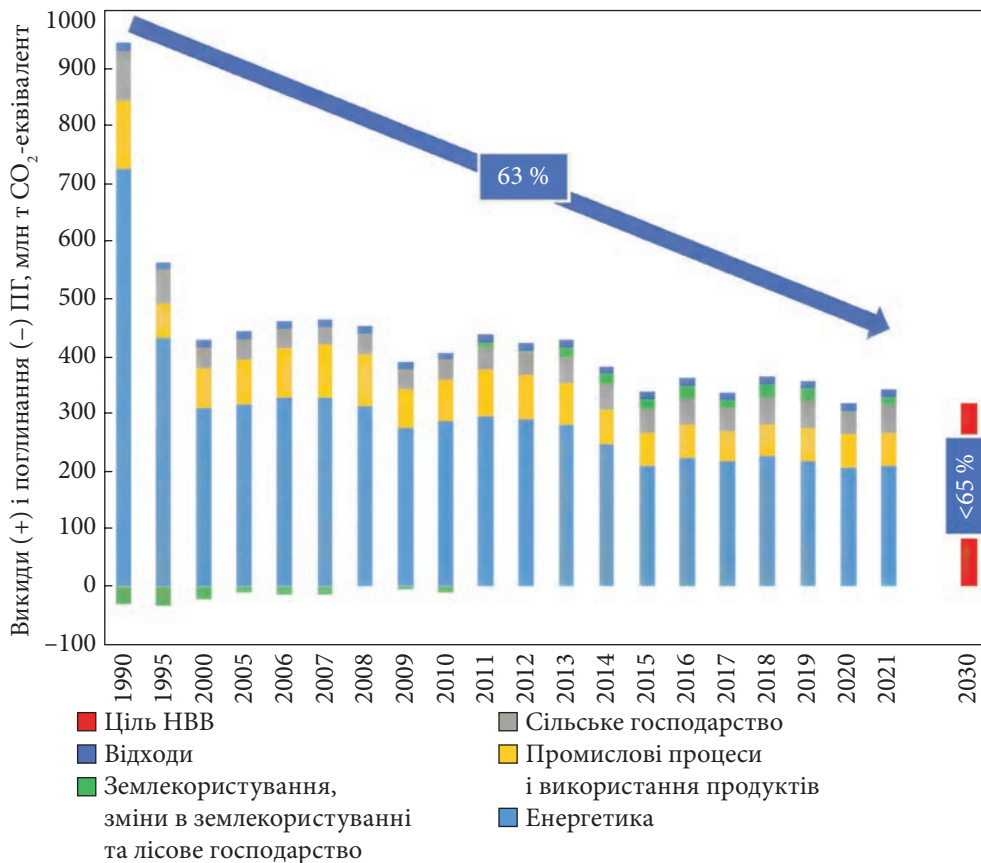


Рис. 1. Загальні викиди парникових газів (ПГ) в Україні у розрізі секторів [2]. НВВ — національно визначений внесок України до Паризької угоди

В умовах руйнування значної частини ТЕС, ТЕЦ, ГЕС та котелень, тимчасової окупації або перебування в зоні бойових дій вугільних підприємств і високої комерційної ціни природного газу особливої актуальності набуває розвиток розподільної генерації з використанням відновлюваних джерел енергії, у тому числі біомаси.

Мета дослідження — визначити перспективні напрями впровадження біоенергетичних технологій для підвищення енергетичної безпеки та ефективної декарбонізації економіки України.

Завдання, які було поставлено для досягнення мети, охоплюють оцінювання поточного та перспективного потенціалу біомаси в Україні з акцентом на біогаз/біометан, дослідження можливостей отримання синтетичного відновлюваного метану з використанням зеленого водню, аналіз передумов для ефективного заміщення природного газу біомасою.

Результати. Енергетичний потенціал біомаси в Україні сягає близько 26 млн т н.е./рік (станом на 2021 р., без урахування впливу тимчасово окупованих територій України) (табл. 1). Комплексне оцінювання потенціалу було проведено за такими складовими, як тверда біомаса (табл. 2), рідке біопаливо і біогаз. Як випливає з наведених у табл. 1, 2 даних, тверда біомаса, обсяг якої перевищує 16 млн т н.е./рік, є найбільшою складовою енергетичного потенціалу біомаси країни. Її частка становить 62 % загального показника. Очікуваний обсяг отримання рідкого біопалива оцінюється в 1,73 млн т н.е./рік, або 6,7 % загального потенціалу біомаси [5].

Під час оцінювання потенціалу виробництва біогазу було враховано шість окремих груп сировини, що походять з галузей промислового тваринництва, промислового рослинництва, харчової переробної промисловості, а також комунального господарства. Сумарний річний потенціал виробництва біогазу становить 8,16 млн т н.е., або 31,3 % загального обсягу біомаси [5].

Експертні оцінки свідчать про можливість значного збільшення енергетичного потенціалу біомаси в Україні у період до 2050 р. Основні фактори збільшення потенціалу передбачають підвищення врожайності сільськогосподарських культур, насамперед зернових; розширення площ під вирощування енергетичних рослин і прискорення їх росту; використання потенціалу деревної біомаси та вирощування покривних культур для отримання біогазу. Застосування технології термохімічної газифікації біомаси дає можливість отримати додатковий обсяг біометану з деревної сировини (табл. 3) [6].

Беручи до уваги наведені вище фактори, енергетичний потенціал біомаси України у 2050 р. оцінюється у близько 44 млн т н.е./рік, що в 1,7 раза більше, ніж у 2021 р. У його структурі переважатиме частка біогазу і біометану (42 %), що зіставно з внеском твердої біомаси (52 %) (табл. 4) [5].

Біометан — це газоподібне паливо, отримане з біогазу, концентрація метану в якому становить 97—98 %; він є повним аналогом природного газу. За оцінками Міжнародного енергетичного агентства, потенціал виробництва біометану в світі до 2040 р. досягне 730 млн т н.е./рік, що відповідає близько 20 % нинішнього загального споживання природного газу у світі [7].

Останнім часом багато експертів прогнозують значні перспективи у виробництві зеленого водню. Розвиток водневих технологій планується як один із напрямів у сфері виробництва і використання відновлюваних газів. Проте біометан має не менші перспективи. За нормальних умов нижча теплотворна здатність біометану ($35,8 \text{ МДж/м}^3$) у 3,3 раза вище,

Таблиця 1. Структура енергетичного потенціалу біомаси в Україні (2021 р.)

Складова	Потенціал	
	млн т н.е./рік	%
Сільськогосподарські (с/г) залишки	10,80	41,6
Деревна біомаса	2,70	10,4
Енергорослини (на тверде паливо)	2,58	9,9
Біодизель	0,88	3,4
Біоетанол	0,86	3,3
Біогаз		
з відходів тваринницьких підприємств	0,71	2,7
з поживних решток с/г культур	3,80	14,6
з побічної продукції харчової переробної промисловості	0,56	2,2
з твердих побутових відходів	0,45	1,7
з осадів стічних вод	0,06	0,2
із силосу кукурудзи (як енергорослини)	2,57	9,9
Усього	25,97	100

Таблиця 2. Енергетичний потенціал твердої біомаси в Україні (2021 р.)

Вид біомаси/біопалива	Теоретичний потенціал виробництва, млн т/рік	Потенціал, доступний для енергетики (економічний)	
		Частка теоретичного потенціалу, %	млн т н.е./рік
Сільськогосподарські (с/г) залишки	136,56	33	10,80
солоне зернових	42,01	20	2,87
солоне ріпаку	5,88	40	0,80
побічні продукти виробництва кукурудзи на зерно (стебла, стрижні)	54,74	40	4,18
побічні продукти виробництва соняшнику (стебла, кошики)	31,15	40	1,79
лушпиння соняшнику	2,78	100	1,16
Деревна біомаса	16,04	67	2,70
паливна деревина, порубкові рештки, відходи деревооброблення	7,20	95	1,68
сухостій, деревина із захисних лісосмуг, відходи обрізання і викорчовування багаторічних с/г насаджень	8,84	44	1,02
Енергетичні рослини (верба, тополя, міскантус) з 0,5 млн га	6,00	100	2,58
Усього	158,60	46	16,08

ніж у водню ($10,8 \text{ МДж/м}^3$), а за тиску 60 атм ця різниця збільшується до 4,1 раза (табл. 5). Отже, транспортування одного кубічного метра біометану магістральним газопроводом під тиском 60 атм передає у понад чотири рази більше енергії, ніж транспортування одного кубометра водню, що свідчить про істотну перевагу біометану [8].

Іншою перевагою є цілковита готовність газової інфраструктури до його транспортування й енергетичного використання, оскільки біометан є повним аналогом природного газу. Залишаються незмінними газопроводи, газові котли та двигуни, газові електростанції, інше енергетичне обладнання, спроектоване для використання природного газу. У разі масштабного використання зеленого водню знадобляться значні інвестиції в модернізацію газових мереж і газового обладнання.

Таблиця 3. Перспективний потенціал виробництва біогазу/біометану в Україні

Сировина для виробництва біогазу/біометану	Обсяг біогазу/біометану, млрд м^3 /рік
Відходи тваринницьких підприємств	0,9
Пожнивні рештки сільськогосподарських культур	5,2
Побічна продукція харчової переробної промисловості	0,7
Тверді побутові відходи	0,5
Осад стічних вод комунальних очисних споруд	0,1
Силос кукурудзи як енергетичної рослини з 1 млн га	3,8
Покривні культури з 20 % площі ріллі	9,8
Деревна біомаса, деревні енергетичні рослини (термохімічна газифікація 10 % потенціалу)	1,0
Усього	21,8

Таблиця 4. Прогнозована структура енергетичного потенціалу біомаси України у 2050 р.

Складова	Потенціал	
	млн т н.е.	%
Тверда біомаса	22,83	52
Рідке біопаливо	2,53	6
Біогаз	18,65	42
Усього	44,01	100

Таблиця 5. Порівняння характеристик водню і біометану

Параметр	Водень (H_2)	Біометан (CH_4)	Співвідношення CH_4/H_2
Щільність, кг/м^3 (0°C , 1 бар)	0,087	0,716	8,2
Нижча теплотворна здатність за нормальних умов (0°C , 1 бар), МДж/м^3	10,8	35,8	3,3
Нижча теплотворна здатність стиснутих газів в умовах магістрального газопроводу (0°C , 60 бар), МДж/м^3	604	2484	4,1

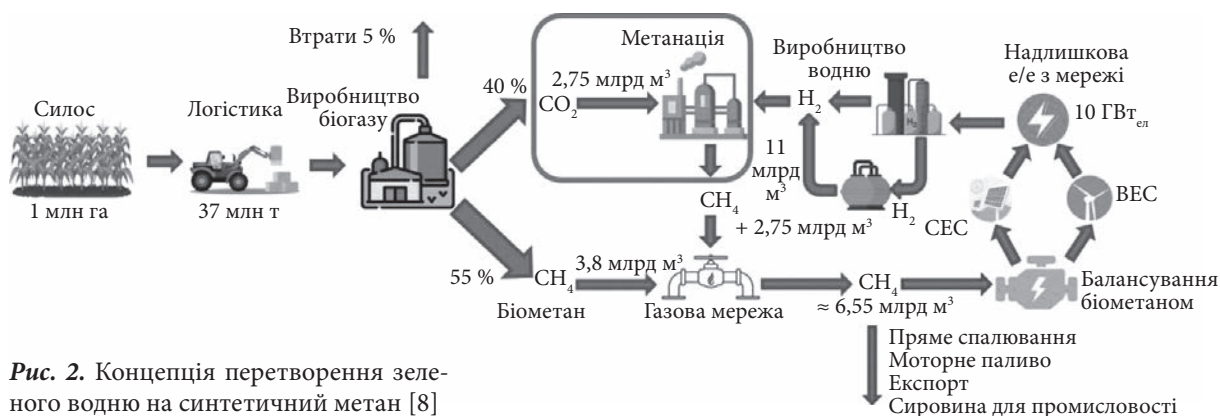


Рис. 2. Концепція перетворення зеленого водню на синтетичний метан [8]

Згідно з оцінкою фінської компанії Wartsila Corporation, з урахуванням вартості модернізації газової інфраструктури під використання водню більш рентабельним є конвертація зеленого водню в синтетичний відновлюваний метан зі збереженням наявної газової інфраструктури [9]. Тому найбільші перспективи можна вбачати у комбінації переваг обох відновлюваних газів – біометану та зеленого водню за схемою, зображеною на рис. 2 [8].

Для практичного впровадження концепції перетворення зеленого водню на синтетичний відновлюваний метан потрібно: 1) розмістити поряд обладнання для виробництва зеленого водню і біометану; 2) конвертувати зелений водень у біометан шляхом його реакції з CO₂ біогенного походження, що утворюється під час виробництва біометану (екзотермічна реакція Сабатьє); 3) закачувати у газопровід біометан і синтетичний відновлюваний метан, отриманий конвертуванням із зеленого водню.

Використання такої схеми дасть змогу додатково до потенційного обсягу біометану у 21,8 млрд м³/рік долучити 17,8 млрд м³/рік синтетичного відновлюваного метану, який може бути отриманий з CO₂ біометанових заводів і зеленого водню.

Вперше проведене детальне порівняння вартості одиниці енергії для традиційних енергоносіїв і біопалива (табл. 6) свідчить про значну перевагу останнього [10]. Наприклад, порівняно з природним газом для промисловості (річний тариф) вартість енергії, виражена у грн/МДж, нижча в середньому у 2,5 раза для деревних трісок, у 1,5 раза для гранул з лущиння, у 4,4 раза для тюків соломи чи стебел кукурудзи.

Аналіз показує, що вартість одиниці енергії для природного газу, призначеного для споживання населенням, становить 238 грн/ГДж, так само, наприклад, як і для деревних трісок. Але цього недостатньо для заміщення природного газу деревними трісками для побутового споживання населенням, оскільки вартість котла для спалювання біомаси в середньому втричі перевищує вартість котла для спалювання природного газу.

Економічна доцільність заміщення природного газу біомасою виникає, коли вартість одиниці енергії для біомаси приблизно вдвічі менша, ніж для природного газу. Отже, заміщення природного газу біомасою, як правило, економічно рентабельне для бюджетних і комерційних установ і нерентабельне для населення. Саме тому останніми роками зростає попит на біопаливо з боку бюджетних, промислових та комерційних установ, тоді як будівництво нових котелень на біомасі в системах централізованого тепlopостачання для опалення житлових будинків не здійснюється.

Різниця між ринковою та поточною ціною природного газу для населення і теплокомуненерго настільки значна, що НАК “Нафтогаз України” і його дочірні державні компанії не здатні покривати її за рахунок власних ресурсів і потребують значних багатомільярдних вливань з Держбюджету України. При цьому виникає низка проблем:

- поки природний газ залишається найдешевшим енергоносієм для систем централізованого теплопостачання, перехід опалення на відновлювані джерела енергії і декарбонізація цього сектора є нереалістичними;
- низькі тарифи на газ знижують мотивацію для підвищення енергоефективності будівель, проведення термомодернізації, встановлення індивідуальних теплових пунктів тощо;

Таблиця 6. Порівняння вартості одиниці енергії для традиційних енергоносіїв і біопалива

Вид палива або енергоносія	Середня вартість з транспортом і ПДВ, (на квітень 2025 р.)	Нижча теплотворна здатність	Вартість одиниці енергії, грн/ГДж з ПДВ
	А	Б	А/Б
Природний газ для населення	7960 грн/тис. м ³	33,5 МДж/м ³	238
для бюджетної сфери	16554 грн/тис. м ³	33,5 МДж/м ³	494
для промисловості	20250 грн/тис. м ³	33,5 МДж/м ³	604
імпорт Укртрансгазу	31000 грн/тис. м ³	33,5 МДж/м ³	925
Біометан	40000 грн/тис. м ³	33,5 МДж/м ³	1194
Бензин на колонці	60 грн/л	44 МДж/л	1364
оптові ціни	50 грн/л	44 МДж/л	1136
Дизпаливо на колонці	60 грн/л	43,12 МДж/л	1391
оптові ціни	50 грн/л	43,12 МДж/л	1160
Мазут	18 грн/л	42 МДж/л	429
Вугілля	11000 грн/т	25 МДж/кг	440
Електроенергія для населення	4,36 грн/(кВт · год)	—	1211
для населення, спожита через тепловий насос з COP = 2,7	4,36 грн/(кВт · год)	—	449
для населення, спожита через тепловий насос з COP = 3,5	4,36 грн/(кВт · год)	—	346
для побутових споживачів	10 грн/(кВт · год)	—	2778
для побутових споживачів через тепловий насос з COP = 2,7	10 грн/(кВт · год)	—	1029
Деревні тріски (W = 40 %)	2500 грн/т	10,5 МДж/кг	238
Гранули з деревини (W = 8 %)	9000 грн/т	17 МДж/кг	529
Гранули з лушпиння (W = 10 %)	7000 грн/т	17,5 МДж/кг	400
Тюки соломи чи стебел кукурудзи (W = 15 %)	2000 грн/т	14,6 МДж/кг	137

■ заможніші верстви населення мають кращі житлові умови і споживають більше тепла, а тому отримують більшу економію за умов субсидованих цін на газ і тепло, ніж менш забезпечені.

Така політика видається хибною, адже лише посилює залежність України від імпортного природного газу. Рекомендуємо встановлення єдиної ринкової ціни на газ для всіх категорій споживачів, а також запровадження в електронній формі через систему Дія прямої фінансової підтримки з боку держави малозабезпечених верств населення (монетизація субсидій у зручному форматі).

Тверда біомаса, як вже зазначалося, у кількості понад 16 млн т н.е./рік є найбільшою складовою енергетичного потенціалу біомаси країни — 62 % загального обсягу (див. табл. 1) [5]. Основним чинником, що впливає на нижчу теплотворну здатність твердої біомаси (деревина, паливна тріска та інше), є її вологість, що може варіювати в досить широких межах (відносна вологість $W = 15\text{—}65\%$). Зольність також впливає на теплотворну здатність, але ступінь цього впливу, навіть з урахуванням можливих коливань, не такий великий. Орієнтовно нижчу теплотворну здатність твердої біомаси можна визначити за формулою

$$Q_n^p = 18900 - 214 W^p - 189 A^p,$$

де Q_n^p — нижча теплотворна здатність, кДж/кг; W^p — робоча (відносна) вологість, %; A^p — робоча зольність, %.

Розрахунки показують, що за відносної вологості $W = 8\%$ теплотворна здатність тріски в 3,4 раза більша, ніж за вологості $W = 65\%$ [11]. Крім того, транспортування неущільненої біомаси недоцільне через низьку насипну щільність. Тому одним з поширених напрямів вирішення цієї проблеми є сушіння і брикетування або гранулювання біомаси перед її спалюванням. У європейських країнах діють стандарти, яким повинні відповідати вироблені брикети і гранули. Привертає увагу підвищена теплота згоряння (нижча) — понад 16—19 МДж/кг, висока щільність — понад 1,0—1,4 кг/дм³, низька зольність — менше 0,5—1,5 % і відносна вологість — менше 10—12 %. Основними перевагами виробництва брикетів та гранул з біомаси є одержання високоякісного, висококалорійного, низькозольного, екологічно безпечного, зручного в транспортуванні та застосуванні органічного палива.

Загалом технологія одержання паливних брикетів і гранул складається з таких етапів: подрібнення сировини, сушіння та пресування. Для кращих умов пресування сировину

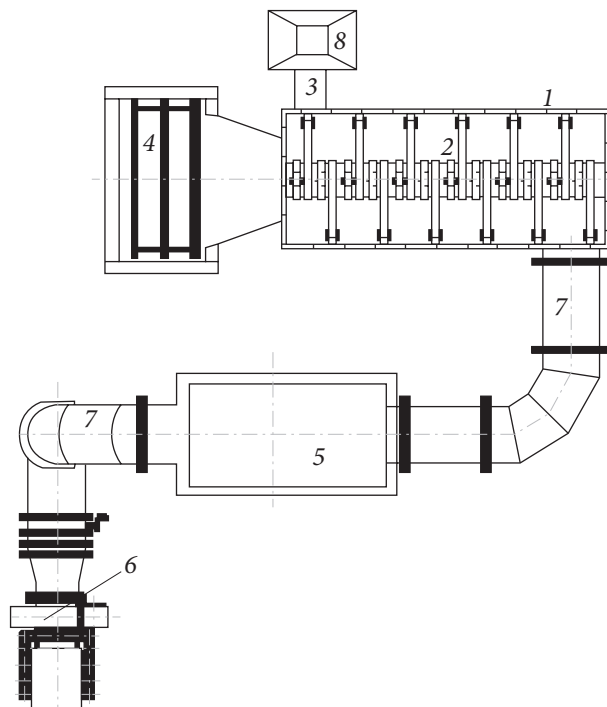


Рис. 3. Схема установки, що поєднує процеси сушіння і подрібнення: 1 — камера подрібнення і сушіння; 2 — ротор; 3 — шнековий живильник-дозатор; 4 — теплогенератор; 5 — пристрій для розділення твердої та газоподібної фаз; 6 — вентилятор; 7 — система повітропроводів; 8 — приймальний бункер

подрібнюють до фракції 3—8 мм. Далі її піддають сушінню. Кінцева вологість сировини перед пресуванням повинна становити $W = 8—10\%$. Найбільш енерговитратним етапом у виробництві брикетів і гранул з біомаси є процес сушіння — за нашими підрахунками, до 70 % загальних енерговитрат.

Сьогодні у світі найпоширенішими є барабанні та аеродинамічні сушарки. Це пов'язано з їхньою простотою у використанні і великим асортиментом на ринку. Однак за своїми питомими енергетичними витратами вони поступаються установкам, що поєднують процеси сушіння і подрібнення. Барабанні сушарки через великі габарити і низьку питому інтенсивність випаровування води ($35—40 \text{ кг}/(\text{год} \cdot \text{м}^3)$) недостатньо ефективні в застосуванні. Аеродинамічні сушарки також мають великі габарити, недоліки у використанні і малу питому інтенсивність випаровування води ($40—50 \text{ кг}/(\text{год} \cdot \text{м}^3)$) [12]. Найефективнішими для сушіння твердої біомаси є універсальні сушарки, в яких процес зневоднення поєднується з частковим подрібненням матеріалу.

В Інституті технічної теплофізики НАН України розроблено роторно-білові сушарки семи модифікацій для сушіння різних матеріалів. Для зневоднення твердої біомаси створено установку з поєднанням процесів сушіння і подрібнення (рис. 3).

Опишемо, як працює установка. Початкова сировина подається в приймальний бункер (8), звідки за допомогою шнекового живильника-дозатора (3) потрапляє в робочу камеру (1), в якій відбувається сушіння сировини до заданого рівня вологості з одночасним подрібненням до необхідної дисперсності за допомогою бил, що встановлені на роторі (2). Швидкість бил ротора регулюється в межах 10—700 об./хв. Сушильний агент надходить до робочої камери з теплогенератора (4). Температура теплоносія на вході в робочу камеру змінюється в межах 300—800 °С. З робочої камери теплоносій надходить до пристрою для розділення твердої і газоподібної фаз (5). Установка знаходиться під розрідженням, що створюється за допомогою вентилятора (6). Продуктивність установки за сировиною становить 600 кг/год. Інтенсивність випаровування води є найкращою серед наявних сушарок — до $100 \text{ кг}/(\text{год} \cdot \text{м}^3)$ [13].

За оцінками Біоенергетичної асоціації України, у 2050 р. у країні може споживатися понад 20 млн т н.е./рік біопалива, забезпечуючи 44 % загального виробництва тепла, близько 8 % виробництва електроенергії і 14 % споживання енергії на транспорті. Очікується, що більше ніж половина загального обсягу споживання біомаси припадатиме на використання твердих біопалив для виробництва теплової та електричної енергії — 14,7 млн т н.е. у 2050 р. Це відповідає загальній встановленій потужності обладнання у 49,5 ГВт і забезпечує можливість заміщення 17,86 млрд м³/рік природного газу, сприяє скороченню близько 35 млн т/рік емісії CO₂, а також уможливує створення понад 100 тис. нових робочих місць [14].

Висновки. Розвиток біоенергетики є потужним засобом декарбонізації економіки і підвищення енергетичної безпеки України. Країна має великий потенціал сталої біомаси — близько 26 млн т н.е./рік, який у перспективі до 2050 р. може ще збільшитися до 44 млн т н.е./рік. Найістотнішими чинниками, що сприяють цьому зростанню, є підвищення врожайності сільськогосподарських культур, розширення площ під вирощування енергетичних рослин та покривних культур як сировини для виробництва біометану.

Біоенергетичні технології дають можливість отримувати тверді, рідкі та газоподібні види біопалив для виробництва теплової і електричної енергії й використання на транспорті. Значний потенціал твердої біомаси (понад 16 млн т н.е./рік) є надійною сировинною

базою для виробництва гранул та брикетів (тверде біопаливо підвищеної якості), а також рідких біопалив (біодизель, біоетанол) для сектору транспорту. Важливо, що з лігноцелюлозної біомаси можна отримувати передові рідкі біопалива, використання яких робить великий внесок у загальний процес декарбонізації. Тверду біомасу під час виробництва палива необхідно зневоднювати на енергоефективних установках, що поєднують процеси сушіння і подрібнення, до кінцевої відносної вологості 10—12 %. Для цього рекомендуємо використовувати вітчизняні роторно-білові сушарки.

На особливу увагу заслуговує напрямок виробництва і споживання біометану, який є повним аналогом природного газу. Україна має достатній потенціал сировини для виробництва біометану для внутрішнього споживання та експорту до країн ЄС. Перспективним є виробництво сталого біометану з покривних культур, що може забезпечити майже 10 млрд м³/рік. Крім того, за певних умов можна практично реалізувати концепцію перетворення зеленого водню на синтетичний метан; це додасть ще близько 18 млрд м³/рік синтетичного відновлюваного метану.

Проведене вперше детальне порівняння вартості одиниці енергії для традиційних енергоносіїв і біопалива показує, що для останнього вона значно нижча. Для збільшення споживання біомаси та заміщення нею природного газу в Україні обґрунтовано необхідність встановлення єдиної ринкової ціни на газ для всіх категорій споживачів.

ЦИТОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Закон України “Про основні засади державної кліматичної політики” № 3991-IX від 08.10.2024. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3991-20#Text> (Дата звернення: 17.12.2025).
2. Національний кадастр антропогенних викидів із джерел та абсорбції поглиначами парникових газів 2023 року подання. Національний центр обліку викидів парникових газів, 2023. URL: <https://bit.ly/3KYJ1P8> (Дата звернення: 17.12.2025).
3. Проходження осінньо-зимового періоду 2024—2025: стан енергосистеми. DiXi Group, 2025. URL: <https://dixigroup.org/analytic/prohodzhennya-osinno-zimovogo-periodu-2024-2025/> (Дата звернення: 17.12.2025).
4. Андрієнко Д., Горюнов Д., Грудова В., Маркуц Ю., Маршалок Т., Нейтер Р., Піддубний І., Студеннікова І., Топольськов Д. Звіт про прямі збитки інфраструктури від руйнувань внаслідок військової агресії Росії проти України станом на листопад 2024 року. Kyiv School of Economics. URL: https://kse.ua/wp-content/uploads/2025/02/KSE_Damages_Report-November-2024-UA.pdf (Дата звернення: 17.12.2025).
5. Гелетуа Г.Г., Железна Т.А., Кучерук П.П., Драгнев С.В. Аналіз перспективних напрямків використання енергетичного потенціалу біомаси України. *Теплофізика та теплоенергетика*. 2023. 45, № 2. С. 77—86. <https://doi.org/10.31472/tpe.2.2023.9>
6. Гелетуа Г. Біогаз та біометан в Україні: потенціал, тенденції розвитку, особливості місцевого та експортного ринків. UABIO. URL: <https://bit.ly/3YIWJyz> (Дата звернення: 19.12.2025).
7. Outlook for biogas and biomethane. Prospects for organic growth. World Energy Outlook Special Report. IEA, 2020. URL: https://iea.blob.core.windows.net/assets/03aeb10c-c38c-4d10-bcec-de92e9ab815f/Outlook_for_biogas_and_biomethane.pdf (Дата звернення: 26.01.2026).
8. Гелетуа Г.Г., Матвеев Ю.Б. Перспективи виробництва біометану в Україні. *Теплофізика та теплоенергетика*. 2021. 43, № 3. С. 65—70. <https://doi.org/10.31472/tpe.3.2021.8>
9. Оптимальний шлях розвитку енергетичної системи України. Аналітичний звіт з оптимізації енергетичної системи. Wärtsilä Corporation, 2020. URL: <https://drive.google.com/file/d/1zS3HdRk3bTlEoShXOf0XMCjFL0kpw2a/view> (Дата звернення: 17.12.2025).
10. Гелетуа Г. Можливості масштабування енергетичного використання рослинних решток та іншої агросировини. Доповідь на онлайн семінарі “Роль агросектору у досягненні кліматичної нейтральності” 03.06.2025. URL: <https://gto.dixigroup.org/en/assets/images/files/uabio-geletukha.pdf> (Дата звернення: 17.12.2025).

11. Підготовка та впровадження проектів заміщення природного газу біомасою при виробництві теплової енергії в Україні. Практичний посібник: Гелетука Г.Г. (ред.). Київ: Поліграф плюс, 2016. 104 с.
12. Снежкін Ю.Ф., Корінчук Д.М., Михайлик В.А. Композиційні палива на основі торфу і рослинної біомаси. Київ: ТОВ “Поліграф сервіс”, 2012. 212 с.
13. Снежкін Ю.Ф. Енергоефективні сушарки, розроблені в Інституті технічної теплофізики НАН України. *Теплофізика та теплоенергетика*. 2025. 47, № 4. С. 5—16. <https://doi.org/10.31472/ttpe.4.2025.1>
14. Гелетука Г.Г., Железна Т.А., Матвеев Ю.Б., Кучерук П.П., Крамар В.Г. Дорожня карта розвитку біоенергетики України до 2050 року. Аналітична записка UABIO № 26. 2020. URL: https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/11/PP-UABIO-26_UA_26-11-2020.pdf. (Дата звернення 17.12.2025).

Надійшла до редакції 26.12.2025

REFERENCES

1. Law of Ukraine “On the basic principles of state climate policy” No 3991-IX of 08.10.2024 (in Ukrainian). Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3991-20#Text>
2. National inventory of anthropogenic emissions by sources and removals by sinks of greenhouse gases for 2023. National Greenhouse Gas Emissions Accounting Centre (in Ukrainian). Retrieved from <https://bit.ly/3KYJ1P8>
3. Passing the autumn-winter period of 2024—2025: state of the energy system. DiXi Group (in Ukrainian). Retrieved from <https://dixigroup.org/analytic/prohodzhennya-osinno-zymovogo-periodu-2024-2025/>
4. Andriienko, D., Goriunov, D., Grudova, V., Markuts, Yu., Marshalok, T., Neiter, R., Piddubny, I., Studennikova, I. & Topolskov, D. (2025). Report on direct infrastructure damage from destruction as a result of Russia's military aggression against Ukraine as of November 2024. Kyiv School of Economics (in Ukrainian). Retrieved from https://kse.ua/wp-content/uploads/2025/02/KSE_Damages_Report-November-2024-UA.pdf
5. Geletukha, G. G., Zheliezna, T. A., Kucheruk, P. P. & Drahnev, S.V. (2023). Analysis of prospective directions for using Ukraine's biomass potential for energy. *Thermophysics and Thermal Power Engineering*, 45, No. 2, pp. 77-86 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.31472/ttpe.2.2023.9>
6. Geletukha, G. (2025). Biogas and biomethane in Ukraine: potential, development tendencies, features of the local and export markets. UABIO (in Ukrainian). Retrieved from <https://bit.ly/3Y1WJyz>
7. Outlook for biogas and biomethane. Prospects for organic growth. World Energy Outlook Special Report. IEA, 2020. Retrieved from https://iea.blob.core.windows.net/assets/03aeb10c-c38c-4d10-bcec-de92e9ab815f/Outlook_for_biogas_and_biomethane.pdf
8. Geletukha, G. G. & Matveev, Yu. B. (2021). Prospects of biomethane production in Ukraine. *Thermophysics and Thermal Power Engineering*, 43, No. 3, pp. 65-70 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.31472/ttpe.3.2021.8>
9. The optimal path forward for Ukraine's power system. White paper on power system optimisation. Wärtsilä Corporation, 2020. Retrieved from <https://www.wartsila.com/docs/default-source/power-plants-documents/downloads/white-papers/europe/the-optimal-path-forward-for-ukraine-s-power-system.pdf>
10. Geletukha, G. (2025). Possibilities for scaling up using crop residues and other agricultural feedstock for energy. Presentation at the online seminar “The role of the agricultural sector in achieving climate neutrality” on 03.06.2025 (in Ukrainian). Retrieved from <https://gto.dixigroup.org/en/assets/images/files/uabio-geletukha.pdf>
11. Geletukha, G. (Ed). (2016). Preparation and implementation of projects for replacing natural gas with biomass in heat production in Ukraine. Practical guide. Kyiv: Poligraf plus (in Ukrainian).
12. Sniezhkin, Yu. F., Korinchuk, D. M. & Mykhailiyk, V. A. (2012). Composite fuels based on peat and plant biomass. Kyiv: Poligraf servis Ltd. (in Ukrainian).
13. Sniezhkin, Yu. F. (2025). Energy-efficient driers developed in the Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine. *Thermophysics and Thermal Power Engineering*, 47, No. 4, pp. 5-16 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.31472/ttpe.4.2025.1>
14. Geletukha, G. G., Zheliezna, T. A., Matveev, Yu. B., Kucheruk, P. P. & Kramar, V. G. (2020). Roadmap for bioenergy development in Ukraine until 2050. UABIO Position Paper No. 26. Retrieved from <https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/11/uabio-position-paper-26-en.pdf>

Received 26.12.2025

Yu. F. Sniezhkin, <https://orcid.org/0000-0002-9049-3392>

G.G. Geletukha, <https://orcid.org/0000-0002-5249-3092>

T.A. Zheliezna, <https://orcid.org/0000-0002-9607-3022>

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

E-mail: zhelyezna@uabio.org

DEVELOPMENT OF BIOENERGY AS COMPONENT OF ENERGY SECURITY AND DECARBONIZATION OF THE ECONOMY OF UKRAINE

One of Ukraine's strategic goals is to achieve climate neutrality by 2050. To achieve this, it is necessary to implement measures to improve energy efficiency, expand the use of renewable energy sources, and develop a circular economy. Bioenergy is a powerful sector of renewable energy with great potential for the sustainable use of biomass and the ability to significantly reduce greenhouse gas emissions in the economy. Bioenergy technologies enable the production of biofuels for heat and electricity generation, as well as for use in the transportation sector. The significant potential of solid biomass of over 16 Mtoe/y is a reliable feedstock base for the production of pellets and briquettes, which are solid biofuels of increased quality, as well as advanced biofuels. The production and consumption of biomethane, a complete analogue of natural gas, deserve special attention. Ukraine has sufficient raw material resources to produce the biomethane needed for domestic consumption and export to the EU. For the first time, a detailed comparison of the unit cost of energy derived from traditional sources and from biofuels is presented, and the conditions necessary for replacing fossil fuels with biomass are analyzed. It is justified that to increase biomass consumption for the purpose of replacing natural gas in Ukraine, a uniform market price for gas must be established for all categories of consumers.

Keywords: *decarbonization, bioenergy, biomass, biofuels, biomass potential, biomethane.*