

УДК 620.92

АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВНИХ НАПРЯМКІВ ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ БІОМАСИ УКРАЇНИ

Гелету́ха Г.Г., докт. техн. наук, Желє́зна Т.А., канд. техн. наук, Куче́рук П.П., канд. техн. наук, Драгнє́в С.В., канд. техн. наук

Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Канніст, 2а, Київ, 03057, Україна

<https://doi.org/10.31472/ttpe.2.2023.9>

Виконано комплексну оцінку поточного та перспективного потенціалу біомаси в Україні, доступного для енергетичних потреб. Розроблено сценарій довгострокового використання цього потенціалу для виробництва енергії та біопалив з урахуванням аспектів сталості.

A comprehensive assessment of the current and prospective potential of Ukraine's biomass available for energy has been performed. A long-term scenario of using this potential for the production of energy and biomass fuels has been developed, taking into account sustainability issues.

Бібл. 12, табл. 2, рис. 4.

Ключові слова: біомаса, потенціал біомаси, поживні рештки, біопаливо, біогаз, біометан.

АПК – агропромисловий комплекс;

ВХО – використана харчова олія;

ТПВ – тверді побутові відходи;

н.е. – нафтовий еквівалент;

орг. – органічний;

с/г – сільське господарство.

Актуальність роботи обумовлена нагальною необхідністю скорочення споживання викопних палив в Україні, зокрема, за рахунок більш широкого використання біомаси. **Метою** роботи є всебічна оцінка енергетичного потенціалу біомаси в Україні та розробка рекомендацій для практичної реалізації перспективних напрямків його використання. **Методи дослідження** включають проведення розрахунків, вивчення та аналіз літературних, статистичних та інших даних.

Комплексна оцінка енергетичного потенціалу біомаси в Україні

Наявність значного потенціалу біомаси, доступного для виробництва різних видів біопалива та енергії, є однією з основних передумов успішного розвитку біоенергетики України. Результати оцінки, виконаної за даними 2021 р., показують, що енергетичний потенціал біомаси в Україні становить близько 26 млн т н.е./рік (табл. 1). Комплексна оцінка потенціалу проведена за такими складовими як тверда біомаса, рідке біопаливо і біогаз. Джерелами твердої біомаси є різноманітні сільськогосподарські залишки (загалом 10,8 млн т н.е./рік), різні види деревної біомаси (2,7 млн т н.е./рік) та енергетичні рослини (2,6 млн т н.е./рік за умови їх вирощування на 0,5 га незадіяних сільськогосподарських земель). Тверда біомаса кількістю понад 16 млн т н.е./рік є найбільшою складовою енергетичного потенціалу біомаси країни – 62% загального обсягу.

Оцінка потенціалу виробництва рідкого біопалива включає біодизель з насіння ріпаку як сільськогосподарської культури (взято 70% загального врожаю) і з олійних енергетичних рослин (передбачено вирощування на 0,5 млн га), а також біоетанол з зерна кукурудзи (взято 10% врожаю). У 2021 році більше 90% насіння ріпаку було експортовано з України, головним чином в країни ЄС. При цьому, в Євросоюзі майже 70% насіння ріпаку (виробленого та імпортованого) іде на отримання біодизелю [3, 4]. Орієнтуючись на розвиток власного виробництва біопалив, а не на експорт сировини, вважаємо, що 70% врожаю ріпаку може бути використано для отримання біодизелю в Україні.

Аналіз та співставлення даних щодо світових обсягів виробництва і переробки кукурудзи [5], а також виробництва біоетанолу з різних видів сировини [6, 7] показує, що у 2021 р. близько 13% врожаю зерна кукурудзи у світі було використано для отримання біоетанолу. Ґрунтуючись на цьому, для України в оцінці потенціалу біомаси вважаємо за доцільне прийняти, що 10% врожаю зерна кукурудзи може перероблятися на біоетанол. За прийнятим підходом, очікуваний обсяг отримання біодизелю з ріпаку та з олійних енергетичних рослин оцінюється у 0,88 млн т н.е./рік, а біоетанолу з кукурудзи – 0,86 млн т н.е./рік.

Табл. 1. Оцінка енергетичного потенціалу біомаси в Україні (2021 р.)¹⁾

Вид біомаси / біопалива	Теоретичний потенціал виробництва	Потенціал, доступний для енергетики (економічний)	
		Частка теоретичного потенціалу, %	млн т н.е./рік
ТВЕРДА БІОМАСА:	млн т/рік		
Сільськогосподарські залишки:	136,56	33	10,80
солома зернових	42,01	20	2,87
солома ріпаку	5,88	40	0,80
побічні продукти виробництва кукурудзи на зерно (стебла, стрижні)	54,74	40	4,18
побічні продукти виробництва соняшника (стебла, корзинки)	31,15	40	1,79
лушпиння соняшника	2,78	100	1,16
Деревна біомаса:	16,04	67	2,70
паливна деревина, порубкові рештки, відходи деревообробки	7,20	95	1,68
сухостій, деревина із захисних лісосмуг, відходи обрізки і викорчовування багаторічних с/г насаджень	8,84	44	1,02
Енергетичні рослини (верба, тополя, міскантус на 0,5 млн га)	6,00	100	2,58
Тверда біомаса, всього	158,60	46	16,08
РІДКЕ БІОПАЛИВО:	млн л/рік		
Біодизель:	1412	78	0,88
з с/г ріпаку (70% врожаю насіння)	1052	70	0,58
передовий біодизель з олійних енергорослин на незадіяних с/г землях (0,5 млн га) ²⁾	360	100	0,29
Біоетанол з с/г кукурудзи (10% врожаю зерна)	16844	10	0,86
Рідке біопаливо, всього	18256	15	1,73
БІОГАЗ:	млрд м ³ CH ₄ /рік		
Біогаз з відходів тваринницьких підприємств, у т.ч.:	1,04	80	0,71
з гною великої рогатої худоби	0,29	49	0,12
з гною свиней	0,27	93	0,22
з посліду птахів	0,47	93	0,38
з гною малої рогатої худоби	0,010	25	0,002
Біогаз з пожнивних решток с/г культур, у т.ч.:	16,79	26	3,80
з соломи колосових (пшениця, жито, ячмінь)	7,05	20	1,21
зі стебел кукурудзи	6,67	30	1,72
зі стебел та кошиків соняшнику	1,44	27	0,33
з соломи сої	0,60	30	0,15
з соломи ріпаку	0,78	30	0,20
з ботвини цукрових буряків	0,24	90	0,18
Біогаз з побічної продукції харчової переробної промисловості, у т.ч.:	1,69	39	0,56

з побічних продуктів олійної промисловості	1,13	28	0,27
з побічних продуктів молочної промисловості	0,01	75	0,01
з побічних продуктів борошномельно-круп'яної промисловості	0,09	50	0,04
з побічних продуктів пивної промисловості	0,03	50	0,01
з побічних продуктів спиртової промисловості	0,05	75	0,03
з побічних продуктів цукрової промисловості	0,37	62	0,20
Біогаз з твердих побутових відходів	0,70	75	0,45
Біогаз з осадів стічних вод (комунальні очисні споруди)	0,07	100	0,06
Біогаз з силосу кукурудзи як енергетичної рослини (з 1 млн га)	3,00	100	2,57
Біогаз, всього	23,28	41	8,16
ЗАГАЛОМ			25,97

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

2) В даній оцінці біодизель цього виду вважається передовим, оскільки згідно Директиви ЄС з відновлюваної енергетики RED II [1] він не підпадає під обмеження щодо рідких біопалив, вироблених з харчових/кормових культур [2].

У виконаній оцінці потенціалу виробництва біометану враховано шість окремих груп сировини, що походять з галузей промислового тваринництва, промислового рослинництва, харчової переробної промисловості, а також комунального господарства. Види вхідної сировини охоплюють як потоки відходів та побічних продуктів, що генеруються різними галузями при поточній потужності виробництв, так і енергетичні рослини (наприклад, силос кукурудзи), які потенційно можуть бути вирощені на площі в 1 млн га.

Сумарний річний потенціал виробництва біометану в секторі АПК з відходів, побічних продуктів та спеціально вирощених енергетичних рослин складає 7,65 млн т н.е. Найбільша частка цього потенціалу припадає на поживні рештки основних сільськогосподарських культур (46,6%) та силос кукурудзи (31,5%). Відходи тваринництва можуть дати лише 0,71 млн т н.е., що становить 8,7% загального потенціалу в секторі АПК. Таким чином, суттєве нарощування виробництва біометану можливе, переважно, за рахунок залучення поживних решток та енергетичних рослин. При цьому, енергетичні рослини прийнято вважати, принаймні в ЄС, конкуруючими з продуктами харчування та кормами, а відтак перспективи їх суттєвого залучення для виробництва біометану в майбутньому наразі є не очевидними. Разом з тим, позиція авторів полягає в тому, що Україна ще має достатній потенціал залучення земель для вирощування енергетичних рослин без значного впливу на харчову безпеку, як національну, так і світову.

Результати оцінки показують, що найбільш вагомими складовими загального енергетичного потенціалу

біомаси України є сільськогосподарські залишки (42% загального обсягу), біогаз з поживних решток сільськогосподарських культур (15%), біогаз з силосу кукурудзи (10%), деревна біомаса (10%) і енергетичні рослини на тверде біопаливо (10%) (рис. 1).

В оцінці потенціалу поживних решток, що можуть бути використані для виробництва енергії та біопалив враховано доступність сировини для організованого збору технічними засобами, а також альтернативні напрямки споживання поживних решток, у тому числі на власні потреби сільського господарства. Згідно вибраного підходу, на полі в якості органічного добрива залишається 30-40% загального обсягу соломи різних культур. Крім того, практично вся маса макро- та мікроелементів, зокрема комплекс NPK в доступній для рослин формі, та до 50% маси органічного вуглецю, вилучених з поля з поживними рештками, може повернутись на ті ж поля з дигестатом, утвореним в процесі анаеробного зброджування в біогазових установках. Такий підхід дозволяє забезпечувати повернення в органічний цикл рослинництва разом з поживними рештками та дигестатом з них загалом 44-49% органічного вуглецю та 60% NPK (табл. 2). Для ботвини цукрових буряків ці показники становлять 51% та 100%, відповідно. Для інших напрямків неенергетичного використання соломи зернових колосових культур (підстилка та грубий корм для худоби, субстрат для вирощування грибів, сировина для виробництва паперу та ін.) передбачено 20% загаль-



Рис. 1. Структура енергетичного потенціалу біомаси в Україні, млн т н.е. (2021 р.)

ного обсягу утворення цього виду біомаси.

Фактори росту енергетичного потенціалу біомаси України до 2050 року

Експертні оцінки свідчать про можливість значного збільшення енергетичного потенціалу біомаси в Україні у період до 2050 р. Основні фактори росту потенціалу включають:

- Підвищення врожайності сільськогосподарських культур, в першу чергу, зернових. Аналіз поточного стану та існуючих тенденцій у сільському господарстві України, а також даних щодо врожайності зернових культур в Україні та країнах ЄС показує, що, зокрема, врожайність пшениці в Україні до 2050 року може зрости у 1,2 рази, а кукурудзи – у 1,25 разів.

- Збільшення площ під енергетичними рослинами та ріст їх врожайності. Очікується, що площі під енергорослинами у 2050 році складуть 1 млн га для

деревоподібних і трав'янистих культур (верба, тополя, міскантус), 1 млн га для олійних культур на біодизель і ще 1 млн га для кукурудзи на біогаз. Ріст врожайності можливий у 1,5 разів для деревоподібних/трав'янистих культур і 1,25 разів – для кукурудзи на біогаз.

- Використання 20% ріллі під вирощування покривних культур для виробництва біогазу, що відповідає підходам оцінки роботи [8]. Ці культури вирощують у міжсезонні між основними посівами, і таким чином вони забезпечують покрив ґрунту, захищаючи його від ерозії, покращуючи його якість та надаючи інші екологічні переваги. Дигестат, отриманий від зброджування біомаси покривних культур у біогазових установках, використовується як органічне добриво, що сприяє поверненню поживних речовин у ґрунт та відповідає підходам циркулярної економіки.

- Використання 10% потенціалу деревної біомаси для отримання біогазу шляхом термічної газифікації.

Табл. 2. Можливі напрямки використання поживних решток, %.

Вид біомаси	Енергетика			Інше ¹⁾	Покращення якості ґрунту				
					Залишається на полі ²⁾	Повертається на поле з дигестатом		Всього	
	Виробництво енергії/твердих біопалив	Зброджування (біогаз)	Всього			За С орг.	За NPK	За С орг.	За NPK
	I	II	III (I+II)	IV	V	VI	VII	VIII (V+VI)	IX (V+VII)
Солома зернових колосових	20	20	40	20	40	9	20	49	60
Стебла, стрижні кукурудзи	40	30	70	0	30	14	30	44	60
Стебла, кошики соняшнику	40	27	67	0	33	12	27	45	60
Солома сої	40	30	70	0	30	14	30	44	60
Солома ріпаку	40	30	70	0	30	14	30	44	60
Ботвина цукрових буряків	0	90	90	0	10	41	90	51	100

1) Корм/підстилка для худоби, вирощування грибів, виробництво паперу та інше.

2) Сума складових III (енергетика), IV (інше) і V (залишається на полі) дорівнює 100%.

Видається доцільним розширити сировинну базу виробництва біогазу за рахунок деревної біомаси. Застосування технології метанації очищеного генераторного газу дає можливість отримати біометан [9].

- Ріст обсягу рубки деревини в лісах. Аналіз поточного стану та існуючих тенденцій у лісовому господарстві України, а також даних щодо рівня рубки річного приросту деревини в країнах ЄС показує, що цей показник в Україні може бути збільшений в 1,4 рази (з близько 50% до 70%) [10, 11].

- Залучення нових видів сировини для виробництва моторних біопалив. При прогнозуванні потенціалу рідких біопалив у 2050 році враховується виробництво передового біоетанолу з лігноцелюлозної сировини, а також залучення нових видів сировини (наприклад, використаної харчової олії) для отримання передового біодизелю. При цьому треба зазначити, що потенціал сировини для виробництва біоетанолу I покоління у 2050р. обмежений 5% врожаю зерна кукурудзи (проти 10% у потенціалі 2021 р.). Скорочення потенційних

обсягів біоетанолу I покоління в Україні враховує існуючу загальноєвропейську тенденцію по обмеженню споживання рідких біопалив з харчових/кормових культур і заохоченню виробництва передових моторних біопалив.

Беручи до уваги наведені вище фактори, енергетичний потенціал біомаси України у 2050 р. оцінюється у близько 44 млн т н.е./рік, що у 1,7 рази більше потенціалу 2021 р. Структура потенціалу біомаси у 2050 р. характеризується значною часткою біогазу (42%), що є співставною із внеском твердої біомаси (52%) (рис. 2).

Прогноз використання енергетичного потенціалу біомаси України до 2050 року

Розроблено базовий сценарій використання енергетичного потенціалу біомаси України до 2050 року з урахуванням європейських тенденцій у секторі біоенергетики, а також особливостей умов України. Прогнозування ґрунтується на основних підходах та припущеннях, використаних у Дорожній карті розвитку біоенергетики України до 2050 року [12].

Згідно запропонованого сценарію, річний обсяг виробництва рідких біопалив у 2050 р. може досягти 2530 тис. т н.е. (у тому числі передового біодизелю/біоетанолу – 56%), а біометану – 14000 тис. т н.е. (у тому числі біометану на експорт – 50%) (рис. 3, 4). При цьому структура енергетичного використання твердої біомаси принципово відповідає такій, що представлена в роботі [12]. Реалізація даного сценарію передбачає подолання, принаймні, основних бар'єрів, існуючих у біоенергетичному секторі України. Серед них, в першу чергу, треба зазначити наступні:

- Відсутність затверджених довгострокових цілей з розвитку сектору біоенергетики.

- Відсутність конкурентного ринку теплової енергії в централізованому теплопостачанні.

- Відсутність аукціонів з державної підтримки проєктів з виробництва електроенергії з відновлюваних джерел.

- Невизначена державна позиція щодо енергетичного використання сільськогосподарських залишків.

- Відсутність вимоги щодо обов'язкової частки біоетанолу у бензині та біодизелю у дизельному паливі.

- Неготовність реєстру біометану.

- Відсутність базового закону щодо виробництва та споживання біометану на транспорті.



Рис. 2. Прогноз структури енергетичного потенціалу біомаси України у 2050 р., млн т н.е.



Рис. 3. Прогноз виробництва рідких біопалив в Україні до 2050 р., млн т н.е.

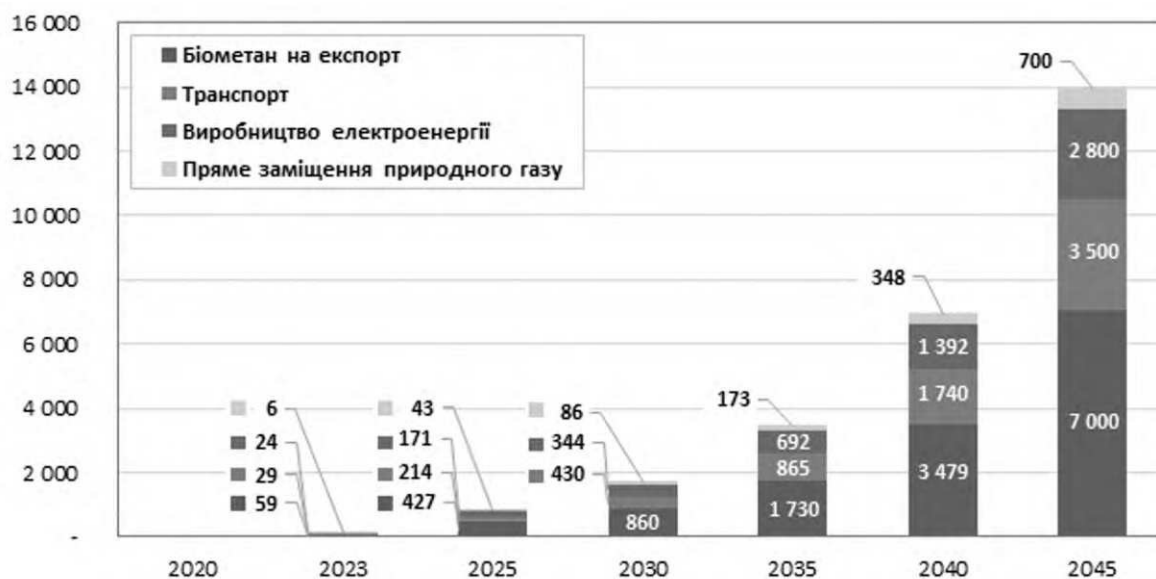


Рис. 4. Прогноз виробництва біометану в Україні до 2050 р., тис. т н.е.

Висновки та рекомендації для України

Україна має значний потенціал біомаси та інші важливі передумови для успішного розвитку біоенергетики. Для сприяння реалізації цього процесу необхідно подолати низку існуючих бар'єрів, у першу чергу, основних, що були зазначені вище. Також вважаємо за необхідне тимчасово послабити для України жорсткі критерії сталості, встановлені Директивою ЄС з відновлюваної енергетики RED II. Ці послаблення мають включати відтермінування вимоги щодо скорочення викидів парникових газів (65% для установок з виробництва рідких біопалив та біогазу для транспорту, що почали роботу з 01.01.2021); встановлення для України окремого обмеження до 2030 року по використанню енергії на транспорті з біопалив першого покоління (до 7%); розширення для України списку сировини для виробництва передових моторних біопалив, у тому числі врегулювання можливості вирощування сировини для отримання рідкого біопалива на забруднених, невикористовуваних, малопродуктивних та деградованих землях.

Стаття підготовлена в рамках виконання бюджетної теми Інституту технічної теплофізики НАН України.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Directive (EU) 2018/2001 on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast), 2018. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=EN>

2. Гелетуха Г.Г., Желєзна Т.А., Драгнєв С.В. Аналіз перспектив та питань сталості виробництва рідких моторних біопалив в ЄС та в Україні // Теплофізика та теплоенергетика, – 2023, т. 45, № 1, с. 46-54. <https://doi.org/10.31472/tpe.1.2023.6>

3. Report on Oilseeds and Products Annual. USDA report E42022-0031, April 21, 2022. <https://bit.ly/3IEjGNV>

4. Report on Biofuels Annual. USDA report E42022-0048, July 13, 2022. <https://bit.ly/3JC18pq>

5. World Agricultural Supply and Demand Estimates. USDA, 2023.

<https://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/wasde0323.pdf>

6. Annual Ethanol Production. Renewable Fuels Association.

<https://ethanolrfa.org/markets-and-statistics/annual-ethanol-production>

7. OECD-FAO Agricultural Outlook 2022-2031. Biofuels. <https://doi.org/10.1787/f1b0b29c-en>

8. S. Alberici, W. Grimme, G. Toop. Biomethane production potentials in the EU. Feasibility of REPowerEU 2030 targets, production potentials in the Member States and outlook to 2050. A Gas for Climate report, 2022. https://gasforclimate2050.eu/wp-content/uploads/2022/10/Guidehouse_GfC_report_design_final_v3.pdf

9. H. Li, D. Mehmooda, E. Thorina, Z. Yub. Biomethane production via anaerobic digestion and biomass gasification // Energy Procedia. – 2017, v. 105, p. 1172-1177. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.490>

10. *J. Geelen*. Statistical Report on Biomass Supply. Bioenergy Europe, 2022, 56 p.

11. *Гелету́ха Г.Г., Желѐзна Т.А., Пастух А.В., Драгне́в С.В.* Можливості заготівлі деревного палива в лісах України. Аналітична записка Біоенергетичної асоціації України № 19, 2018. <https://uabio.org/activity/276/>

12. *Гелету́ха Г.Г.* та ін. Дорожня карта розвитку біоенергетики України до 2050 року. Аналітична записка Біоенергетичної асоціації України № 26, 2020. <https://uabio.org/materials/9115/>

ANALYSIS OF PROSPECTIVE DIRECTIONS FOR USING UKRAINE'S BIOMASS POTENTIAL FOR ENERGY

Geletukha G.G.¹, Zheliezna T.A.², Kucheruk P.P.³,
Drahniev S.V.⁴

¹Dr. Sci. (Engin.), Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2a, Marii Kapnist Str., Kyiv, 03057, Ukraine, orcid.org/0000-0002-5249-3092, e-mail: geletukha@biomass.kiev.ua

²PhD (Engin.), Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2a, Marii Kapnist Str., Kyiv, 03057, Ukraine, orcid.org/0000-0002-9607-3022, e-mail: zhelyezna@biomass.kiev.ua

³PhD (Engin.), Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2a, Marii Kapnist Str., Kyiv, 03057, Ukraine, orcid.org/0000-0003-1888-0774, e-mail: kucheruk@biomass.kiev.ua

⁴PhD (Engin.), Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2a, Marii Kapnist Str., Kyiv, 03057, Ukraine, orcid.org/0000-0003-3754-4186, e-mail: dragnev@biomass.kiev.ua

<https://doi.org/10.31472/tpe.2.2023.9>

The purpose of the work is a comprehensive assessment of Ukraine's bioenergy potential. The task of the work is to develop recommendations for the practical implementation of promising directions for the potential utilisation. The research methods include calculations, study and analysis of literature, statistics and other data. The availability of considerable biomass potential for the production of various types of biofuel and energy is one of the main prerequisites for the successful development of bioenergy in Ukraine. Results of the assessment based on 2021 data show that the potential of biomass for energy in the country amounts to nearly 26 Mtoe/year. A comprehensive assessment of the potential was carried out for such components as solid biomass, biofuel and biogas. Sources of solid biomass are various agricultural residues, various types of wood biomass and energy crops (provided they are grown on unused agricultural land). Solid biomass in the amount of more than 16 Mtoe/year is the largest component of the country's biomass energy potential accounting for 62% of the total. Expert assessments indicate the possibility of increasing this potential to about 44 Mtoe/year in the period until 2050. A scenario for the long-term use of the biomass potential

for energy and biofuel production has been developed taking into account sustainability issues. To implement this scenario, it is necessary to overcome a number of barriers existing in the bioenergy sector, primarily the main ones. It also seems necessary to temporarily liberalize for Ukraine the strict sustainability criteria established by the EU RED II. This mitigation should include postponing the requirement to reduce greenhouse gas emissions (65% for biofuels and biogas for transport produced in installations that started operation from 01.01.2021); establishing a special limit for Ukraine until 2030 on the use of energy from first-generation biofuels in transport (up to 7%); expanding for Ukraine the list of feedstock for the production of advanced biofuels, including regulation of possibility to obtain raw material for biofuel production on polluted, unused, low-productivity and degraded lands.

References 12, table 2, figures 4.

Key words: biomass, biomass potential, harvesting residues, biofuels, biogas, biomethane.

1. Directive (EU) 2018/2001 on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast), 2018.

<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=EN>

2. Geletukha G., Zheliezna T., Drahniev S. Analiz perspektyv ta pytan stalosti vyrobnytstva ridkykh motornykh biopalyv v YeS ta v Ukraini. [Analysis of prospects and sustainability issues of liquid motor biofuels production in the EU and in Ukraine.]. Thermophysics and Thermal Power Engineering. – Vol. 45, No. 1 (2023). – P. 46-54. (Ukr.) <https://doi.org/10.31472/tpe.1.2023.6>

3. Report on Oilseeds and Products Annual. USDA report E42022-0031, April 21, 2022. <https://bit.ly/3IEjGNV>

4. Report on Biofuels Annual. USDA report E42022-0048, July 13, 2022. <https://bit.ly/3JC18pq>

5. World Agricultural Supply and Demand Estimates. USDA, 2023.

<https://www.usda.gov/oce/commodity/wasde/wasde0323.pdf>

6. Annual Ethanol Production. Renewable Fuels Association.

<https://ethanolrfa.org/markets-and-statistics/annual-ethanol-production>

7. OECD-FAO Agricultural Outlook 2022-2031. Biofuels. <https://doi.org/10.1787/flb0b29c-en>

8. S. Alberici, W. Grimme, G. Toop. Biomethane production potentials in the EU. Feasibility of REPowerEU 2030 targets, production potentials in the Member States and outlook to 2050. A Gas for Climate report, 2022. https://gasforclimate2050.eu/wp-content/uploads/2022/10/Guidehouse_GfC_report_design_final_v3.pdf

9. *H. Li, D. Mehmooda, E. Thorina, Z. Yub.* Biomethane production via anaerobic digestion and biomass gasification // *Energy Procedia*. – 2017, v. 105, p. 1172-1177. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.490>
10. *J. Geelen.* Statistical Report on Biomass Supply. Bioenergy Europe, 2022, 56 p.
11. *Geletukha G., Zheliezna T., Pastukh A., Drahnev S.* Mozhyvosti zahotivli derevnoho palyva v lisakh Ukrainy. [Opportunities for wood fuel harvesting in forests of Ukraine.]. UABio Position Paper N 19, 2018. (Ukr.) <https://uabio.org/activity/276/>
12. *Geletukha G. et al.* Dorozhnia karta rozvytku bioenerhetyky Ukrainy do 2050 roku. [Roadmap for bioenergy development in Ukraine until 2050]. UABio Position Paper N 26, 2020. (Ukr.) <https://uabio.org/materials/9115/>

Отримано 03.04.2023

Received 03.04.2023