УДК 620.92

ПЕРСПЕКТИВИ ВИРОБНИЦТВА БІОМЕТАНУ В УКРАЇНІ**Гелету́ха Г.Г.**, дотк. техн. наук, **Матвєєв Ю.Б.**, канд. фіз.-мат. наук*Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Марії Канніст, 2а, Київ, 03057, Україна*<https://doi.org/10.31472/tpe.3.2021.8>

Представлені перспективи розвитку виробництва і використання біометану в Європейському Союзі та Україні. Проведено порівняльний аналіз двох основних відновлюваних газів - біометану і зеленого водню. Показано, що найбільші перспективи пов'язані з комбінуванням переваг біометану і зеленого водню, яке передбачає конверсію водню в метан з подальшою подачею в розподільні або магістральні газові мережі.

Представлены перспективы развития производства и использования биометана в Европейском Союзе и Украине. Проведен сравнительный анализ достоинств и недостатков двух основных возобновляемых газов - биометана и зеленого водорода. Показано, что основные перспективы связаны с комбинированием преимуществ биометана и зеленого водорода, которое предполагает конверсию водорода в метан с последующей подачей в распределительные или магистральные газовые сети.

Prospects for the development of biomethane production in the European Union and Ukraine are presented. Comparative analysis of two main renewable gases - biomethane and green hydrogen - has been carried out. It is shown that greatest prospects are associated with combination of biomethane and green hydrogen advantages, which involves the conversion of hydrogen into methane with subsequent supply to distribution or main gas networks.

Бібліографія 7, табл. 3, рис. 1.

Ключові слова: біомаса, біогаз, біометан, водень.**Вступ**

Біометан це газоподібне паливо, отримане з біогазу, концентрація метану в якому становить 95...98 %. Біометан має суттєву перевагу по відношенню до біогазу. Зараз більшість біогазових установок спершу виробляють біогаз з концентрацією метану 50...55 %, і вже з біогазу отримують електроенергію і тепло. Розташовані такі біогазові установки зазвичай в сільській місцевості наближено до джерел сировини (гній, силос, інші сільськогосподарські відходи та залишки). При цьому значна кількість теплової енергії втрачається, оскільки в сільській місцевості як правило відсутні значні споживачі теплової енергії. Відповідно, енергетичне використання біогазу відбувається недостатньо ефективно. Виробництво біометану зі збагаченням біогазу до якості природного газу дозволяє подавати його у газову мережу, легко транспортувати та виробляти з нього електричну і теплову енергію у місцях, де є гарантоване споживання теплової енергії. Таким чином, ефективність використання енергії біогазу значно підвищується.

Біометан, як близький аналог природного газу, може використовуватися для виробництва теплової і електричної енергії, як паливо для транспорту, а також як сировина для хімічної промисловості. Крім того, виробництво біометану відповідає ідеї циркулярної економіки, оскільки воно перетворює потоки побічної продукції сільського господарства або побутових відходів в

енергію, одночасно забезпечуючи рециркуляцію поживних речовин до сільськогосподарських угідь. Загальноприйнята думка експертів – «біометан це майбутнє біогазу».

Приблизно 10% виробленого у Європі біометану використовується у якості моторного палива, перш за все в таких країнах, як Швеція, Німеччина, Фінляндія, Швейцарія. Наприклад, у Швеції, з 1,35 ТВт·год виробленого в 2019 році біометану 83% (1,13 ТВт·год) було використано на транспорті, у Німеччині, з 10 ТВт·год – 6,6% (0,66 ТВт·год) [1]. Біометан можна використовувати у всіх двигунах, що працюють на природному газі. На ринку представлено багато сучасних газових двигунів для автомобілів, важких транспортних засобів, кораблів і поїздів, які можуть працювати на біометані. Більшість виробників автомобілів випускають моделі, що працюють на стисненому або скрапленому метані. Існує також можливість переобладнати автомобіль з бензиновим двигуном для роботи на біометані.

Розвиток виробництва біометану в світі

За оцінками Міжнародного енергетичного агентства (МЕА) потенціал виробництва біометану в світі складає 730 млрд м³/рік (близько 20% нинішнього загального споживання природного газу) [2]. В 2019 році світове виробництво біометану досягло майже 5 млрд м³/рік [3].

Лідером виробництва біометану на сьогодні є ЄС, при цьому виробництво біометану в Європі існує вже

у 18 країнах. Наразі біогазовий сектор ЄС виробляє 15,8 млрд куб. метрів біогазу та 2,43 млрд куб. метрів біометану. Наприкінці 2019 року на території ЄС було біля 19 тисяч біогазових та 725 біометанових установок. Виробництво біометану у 2019 році зросло на 16% порівняно з попереднім роком [1]. Лідером європейського біометанового ринку залишається Німеччина, де на 232 заводах вироблено близько 40% європейського біометану. В останні роки за темпами розвитку лідирують такі країни, як Франція, Нідерланди, Данія та Італія (табл. 1).

Прослідковується також чітка тенденція у зміні сировини для виробництва біометану. У 2016 році почався перехід від енергетичних культур (силосу кукурудзи) до сільськогосподарських залишків, комунальних відходів та осаду стічних вод. З 2017 року майже не було створено нових заводів для роботи на енергетичних культурах. В 2019 році 60% сировини була забезпечено за рахунок сільськогосподарських залишків, 13% – осаду стічних вод, 10% – комунальних відходів, і тільки 4% за рахунок силосу кукурудзи [1].

Перспективи виробництва та споживання біометану в ЄС

Згідно з прогнозом Європейської біогазової асоціації сектор біогазу та біометану може практично

подвоїти виробництво до 2030 року, потенційне виробництво біогазу та біометану в ЄС в 2030 році може досягти 44 млрд м³/рік. До 2050 року виробництво може зрости у понад чотири рази. Згідно урядових планів Данії вже в 2025 році виробництво біометану і природного газу в країні мають зрівнятися, а в 2035 році природний газ буде повністю замінено біометаном [4].

Потенційним європейським лідером біометанового ринку є Італія, де державою різноманітними методами стимулюється використання стисненого та скрапленого біометану в якості моторного палива на транспорті. На початку 2019 року в країні було подано 900 заявок на підключення біометанових заводів до газових мереж загальною потужністю 2,2 млрд м³/рік. Очікується, що в 2023 році в Італії транспортним сектором буде споживатися 2 млрд м³ газу/рік, з яких 25% буде забезпечено біометаном (bio-CNG).

За оцінками MEA річне виробництво біометану в світі може досягти 200 млрд м³/рік в 2040 році в разі реалізації стратегії сталого розвитку [2]. При цьому ЄС втратить роль світового лідера, оскільки більш ніж 50% біометану буде вироблено і використано в Китаї та Індії.

Перспективи виробництва біометану в Україні

Наразі за оцінкою Біоенергетичної Асоціації України потенціал виробництва біогазу/біометану

Табл. 1. Загальна кількість біометанових заводів у європейських країнах у 2011-2019 роках [1]

Країна/Рік	2011	2013	2015	2016	2017	2018	2019
Німеччина	86	157	202	214	219	226	232
Франція	3	4	17	26	44	76	123
Велика Британія	5	20	54	85	89	93	99
Швеція	47	54	61	71	70	72	70
Нідерланди	16	23	21	21	34	39	51
Данія		3	12	17	25	34	42
Швейцарія	13	19	27	29	32	35	37
Італія		2	6	5	1	1	12
Фінляндія	2	5	10	11	14	15	17
Австрія	10	11	13	14	15	15	15
Норвегія	4	7	10	10	11	13	13
Люксембург	3	3	3	3	3	3	3
Угорщина	1	1	2	2	2	2	2
Іспанія	1	1	1	1	1	1	2
Ісландія			2	2	2	2	2
Естонія						2	2
Чехія							2
Бельгія							1

в Україні з використанням технології зброджування оцінюється в 7,8 млрд м³/рік (25% нинішнього споживання природного газу в країні. Потенціал охоплює біогаз з відходів та побічної продукції рослинництва (3,8 млрд м³), біогаз з відходів та побічної продукції тваринництва та переробної промисловості (1,3 млрд м³), та біогаз з силосу кукурудзи АПК (2,7 млрд м³) [5].

У 2050 р. загальний потенціал виробництва біогазу/біометану може зрости до 17 млрд м³/рік. Суттєве збільшення потенціалу прогнозується за рахунок зростання промислового виробництва, розширення сировинної бази для виробництва біогазу/біометану, укрупнення тваринницьких підприємств та переходу від захоронення твердих побутових відходів до використання технології механіко-біологічного оброблення. Дорожня карта розвитку біоенергетики в Україні до 2050 р. передбачає започаткування та ріст виробництва біометану в Україні до 1,7 млрд м³/рік у 2035 році і до 3 млрд м³/рік у 2050 році [5].

Передумови і переваги виробництва біометану в Україні

Україна має найбільшу в Європі площу сільськогосподарських угідь і, відповідно, один з найбільших в світі потенціалів аграрної сировини для виробництва біометану. Україна має розвинену газорозподільчу мережу і потужну газотранспортну систему, що дає можливість виробникам біометану підключитися до газових мереж на більшості території України. До цього треба додати можливість альтернативного завантаження української ГТС біометаном після завершення терміну діючого контракту з Росією у 2024 році.

Транспортування біометану газовими мережами і використання біометану в існуючому газовому обладнанні (газові пальники, двигуни, турбіни) не потребує витрат для їх модернізації. Біометан – один з

економічно найефективніших способів декарбонізації енергетики і економіки. Використання біометану як моторного палива дає можливість сільськогосподарським виробникам отримати власне паливо для транспорту за рахунок відходів за залишків власного виробництва. Використання біометану в громадському транспорті може значно знизити забруднення повітря у великих містах. Біометан доцільне використовувати не тільки автомобільному, але й у водному і залізничному транспорті, не тільки у стисненому, але й у скрапленому стані.

Виробництво біометану може забезпечити значний внесок у виробництво якісних органічних добрив і відродження родючості українських ґрунтів. Сектор також може брати активну участь в досягненні національної цілі зменшення викидів парникових газів. Крім того, може бути створено новий, прозорий, інноваційний, експортно-орієнтований сектор економіки зі значною кількістю додаткових робочих місць (переважно у сільській місцевості) з відповідними сплатами податків.

Біометан або зелений водень

Останнім часом спостерігається бум інформації про перспективи зеленого водню. Автори підтримують необхідність розвитку водневих технологій як один із напрямів виробництва і використання відновлюваних газів. Проте вважають, що біометан має не менші перспективи. Нижча теплотворна здатність біометану [МДж/м³] вища за цей показник для водню у 3,3 рази при тиску у одну атмосферу, і у 4,1 рази — при тиску 60 атмосфер (табл. 2). Це значить, що транспортування одного кубічного метру біометану газопроводом під тиском 60 атмосфер передає майже у чотири рази більше енергії, ніж транспортування одного кубометру водню. Це фундаментальна перевага 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, МДж/м ³ при н.у. (0°C, 1 бар)	10,8	35,8	3,3
Нижча теплотворна здатність стиснутих газів в умовах магістрального газопроводу, МДж/м ³ (0°C, 60 бар)	604	2484	4,1

Іншими перевагами є, по-перше, повна готовність газової інфраструктури до його транспортування і енергетичного використання, оскільки біометан є близьким аналогом природного газу. Залишаються незмінними газопроводи, газові котли та двигуни, газові електростанції, інше енергетичне обладнання, що спроектоване для використання природного газу. У разі масштабного використання зеленого водню знадобляться дуже великі інвестиції у модернізацію газових мереж і газового обладнання. Існують оцінки фінської компанії Wärtsilä Corporation, які демонструють, що з урахуванням вартості модернізації газової інфраструктури під використання водню, більш рентабельним є конвертація зеленого водню у синтетичний метан з використанням існуючої газової інфраструктури [6].

По-друге, вартість біометану є конкурентною до вартості зеленого водню на найближчу перспективу. На сьогодні середня вартість зеленого водню становить біля 7 \$/кг з перспективою її зменшення до 3 \$/кг до 2030 р., 2 \$/кг до 2050 р. і у майбутньому до 1 \$/кг. Середня вартість біометану на сьогодні становить 700 \$/1000 м³ з перспективою її зменшення до 650 \$/1000 м³ до 2030 р., 600 \$/1000 м³ до 2050 р. і у майбутньому до

500 \$/1000 м³. В таблиці 3 приведені прогностичні розрахунки вартості одиниці енергії в біометані та зеленому водні і їх порівняння.

Можна бачити, що наразі біометан приблизно втричі дешевше зеленого водню, в 2050 році очікується зрівняння по вартості двох відновлюваних газів, і лише подальше зменшення вартості зеленого водню нижче за 2 \$/кг призведе до того, що зелений водень може стати дешевшим за біометан.

Найбільші перспективи можна вбачати у комбінації переваг обох відновлюваних газів – біометану та зеленого водню (рис. 1).

Для практичної реалізації концепції перетворення зеленого водню у синтетичний метан потрібно:

1. розмістити поряд обладнання для виробництва зеленого водню і біометану;
2. конвертувати зелений водень у біометан, провівши його реакцію з CO₂, який виділяється під час виробництва біометану;
3. закачувати у газопровід біометан плюс синтетичний метан, у який було конвертовано зелений водень.

Використання такої схеми дозволить додатково до потенційних 7,8 млрд м³/рік біометану долучити

Табл. 3. Вартість одиниці енергії в біометані і зеленому водні

		2021	2030	2050	після 2050
Вартість зеленого водню	\$/кг	7	3	2	1
Вартість одиниці енергії у зеленому водні	\$/МДж	0,058	0,025	0,017	0,008
Вартість біометану	\$/1000 м ³	700	650	600	500
Вартість одиниці енергії у біометані	\$/МДж	0,020	0,018	0,017	0,014
У скільки разів біометан дешевше зеленого водню		3,0	1,4	1,0	0,6

Рис. 1. Концепція перетворення зеленого водню у синтетичний метан

5,6 млрд м³/рік синтетичного метану, що може бути отриманий з відходів CO₂ біометанових заводів і зеленого водню.

Висновки

Для прискорення розвитку виробництва біометану в Україні колективом народних депутатів зареєстровано проект Закону України «Про внесення змін до Закону України «Про альтернативні види палива» щодо розвитку виробництва біометану», N 5464 від 05.05.2021 р. [7]. Законопроект вирішує дві основні задачі:

1. Вводить у законодавче поле України визначення терміну «біометан» - це біогаз, що за своїми фізико-технічними характеристиками відповідає нормативно-правовим актам на природний газ для подачі до газотранспортної та газорозподільної системи або для використання в якості моторного палива.

2. Створює «Реєстр біометану» - електронну систему облікових записів, призначену для реєстрації поданого до газотранспортної або газорозподільної системи та відібраного з газотранспортної або газорозподільної системи обсягу біометану, а також для формування гарантій походження біометану, їх передачі, розподілу або анулювання та надання сертифікатів походження біометану.

Виробництво біометану зі збагаченням біогазу до якості природного газу дозволяє значно підвищити ефективність використання енергії біогазу. Основною перевагою біометану у порівнянні з зеленим воднем є можливість його транспортування з використанням існуючої газової інфраструктури в необмеженій кількості.

Вважаємо, що у найближчі роки після прийняття законодавчих актів щодо підтримки розвитку виробництва біометану основна частина виробленого біометану буде експортуватися у країни ЄС, в яких створені більш сприятливі умови для його споживання. По мірі зростання економіки України все більша частина виробленого біометану залишатиметься для внутрішнього споживання.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *EBA 2020*. "Statistical Report of the European Biogas Association 2020." Brussels, Belgium, January 2021. <https://www.europeanbiogas.eu/eba-statistical-report-2020/#:~:text=This%202020%20EBA%20Statistical%20Report,and%20biomethane%20sectors%20in%20Europe.>
2. *IEA 2020*. Outlook for biogas and biomethane. Prospects for organic growth. World Energy Outlook Special Report. France, March 2020. - <https://www.iea.org/reports/outlook-for-biogas-and-biomethane-prospects-for-organic-growth>
3. *Global biomethane market: green gas goes global*. - <https://www.cedigaz.org/global-biomethane-market-green-gas-goes-global/>
4. *Marc-Antoine Eyl-Mazzega and Carole Mathieu (eds.)*, "Biogas and Biomethane in Europe: Lessons from Denmark, Germany and Italy", Etudes de l'Ifri, Ifri, April 2019. https://www.researchgate.net/profile/Velina_Denysenko/publication/332401698_Germany's_Experience_with_Biogas_and_Biomethane/links/5cd12ce5a6fdccc9dd920979/Germanys-Experience-with-Biogas-and-Biomethane.pdf
5. *Гелетуша Г.Г., Железна Т.А., Матвеев Ю.Б., Кучерук П.П., Крамар В.Г.* Дорожня карта розвитку біоенергетики України до 2050 року. Аналітична записка N26 Біоенергетичної асоціації України, листопад 2020, 54 стор. <https://uabio.org/materials/9115/>
6. *Оптимальних шлях розвитку енергетичної системи України*. Аналітичний звіт з оптимізації енергетичної системи. Wärtsilä Corporation, 2020. <https://vse.energy/publication/1497-feh>
7. *Проект Закону про внесення змін до Закону України "Про альтернативні види палива" щодо розвитку виробництва біометану* (http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=71839).

PROSPECTS OF BIOMETHANE PRODUCTION IN UKRAINE

Geletukha G.G., Matveev Yu.B.

Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2a, Marii Kapnist (Zhelyabova) Str., Kyiv, 03057, Ukraine

<https://doi.org/10.31472/ttpe.3.2021.8>

Biogas upgrading to quality of natural gas (NG) creates possibility to supply biomethane to the NG grid, easy transportation and production of electricity and heat in locations where there is guaranteed consumption of thermal energy. Biomethane as a close NG analogue can be used for heat and electricity production, as soon as motor fuel and raw material for chemical industry.

The International Energy Agency (IEA) estimates that the world's annual biomethane production potential is 730 bcm (20% of current world's NG consumption). World biomethane production reached almost 5 bcm/yr in 2019. According to forecast of the European Biogas Association the biogas and biomethane sector may almost double its production by 2030. According to IEA estimates, annual world biomethane production could reach 200 bcm in 2040 in case the sustainable development strategy is implemented

Currently, the Bioenergy Association of Ukraine estimates the potential for biogas/biomethane production in Ukraine using fermentation technology as 7,8 bcm/yr (25% of the country's current NG consumption). The roadmap of bioenergy development in Ukraine until 2050 envisages growth of biomethane production to 1,7 bcm in 2035 and up to 3 bcm in 2050.

Currently the prospects for green hydrogen development are well known. The authors support the need of hydrogen technologies as one of the way for production and use of renewable gases. However, they believe that biomethane has no less prospects.

Transporting of one cubic meter of biomethane through gas pipeline at 60 bar pressure transmits almost four times more energy than transporting of one cubic meter of hydrogen. This is fundamental advantage of biomethane. Another advantage is the full readiness of gas infrastructure for biomethane. Given the cost of gas infrastructure modernization to use hydrogen, it is more cost-effective to convert green hydrogen to synthetic methane.

Currently, biomethane is in average three times cheaper than green hydrogen, the cost of the two renewable gases is expected to equalize by 2050, and only further possible reduction in the cost of green hydrogen below \$2/kg will

make green hydrogen cheaper than biomethane. Therefore, the greatest prospects can be seen in the combination of the advantages of both renewable gases and conversion of green hydrogen into synthetic methane (power-to-gas process).

Authors believe that after adoption of legislation to support the development of biomethane production and use in Ukraine, the bulk of biomethane produced in the country will be exported to EU, where more favourable conditions for biomethane consumption are developed. As Ukraine's economy grows, more and more of the biomethane produced will be used for domestic consumption.

References 7, tables 3, figures 1

Key words: biomass, biogas, biomethane, hydrogen.

1. *EBA 2020*. "Statistical Report of the European Biogas Association 2020." Brussels, Belgium, January 2021. <https://www.iea.org/reports/outlook-for-biogas-and-biomethane-prospects-for-organic-growth>

2. *IEA 2020*. Outlook for biogas and biomethane. Prospects for organic growth. World Energy Outlook Special Report. France, March 2020. <https://www.iea.org/reports/outlook-for-biogas-and-biomethane-prospects-for-organic-growth>

3. *Global biomethane market: green gas goes global*. <https://www.cedigaz.org/global-biomethane-market-green-gas-goes-global/>

4. *Marc-Antoine Eyl-Mazzega and Carole Mathieu (eds.)*, "Biogas and Biomethane in Europe: Lessons from Denmark, Germany and Italy", Etudes de l'Ifri, Ifri, April 2019. https://www.researchgate.net/profile/Velina_Denysenko/publication/332401698_Germany's_Experience_with_Biogas_and_Biomethane/links/5cd12ce5a6fdccc9dd920979/Germanys-Experience-with-Biogas-and-Biomethane.pdf

5. *Geletukha G.G., Zheliezna T.A., Matveev Yu.B., Kucheruk P.P., Kramar V.G.* [Roadmap for bioenergy development in Ukraine until 2050], UaBio Position Paper N26, November 2020, 54p. (in Ukr). <https://uabio.org/materials/9115/>

6. [Optimal way of Ukrainian energy system development. Analytical report on energy system optimization]. Wärtsilä Corporation, 2020 (in Ukr). <https://vse.energy/publication/1497-feh>

7. [Draft Law on Amendments to the Law of Ukraine "On Alternative Fuels" on the Development of Biomethane Production] (in Ukr). (http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=71839).

Отримано 07.07.2021

Received 07.07.2021