

doi: 10.33249/2663-2144-2019-83-10-58-63

UDC 620.92.579.66

**AN ESTIMATION OF THE ENERGY POTENTIAL OF BIOGAS OF UKRAINE****A. Hrytsai, Z. Masliukova***e-mail: biomassa@ukr.net*The Institute of Renewable Energy, National Academy of Science of Ukraine  
20 a, Hnata Khotkevicha Str., Kyiv, 02094, Ukraine

*On account of the growing interest in the fuel and energy complex of Ukraine to efficient use of renewable energy resources in order to supplement and replace the traditional fossil energy sources, there is a need for an objective analysis and evaluation of available renewable resources to generate the heat and electricity. One such alternative energy source is biogas. The purpose of this work is to evaluate the technically achievable energy potential of biogas of Ukraine, which can be obtained from animal waste and from landfills of solid household waste. The objectives of the study are, first, an analysis of the livestock and poultry population and the mass of municipal solid waste in Ukraine as a resource base for renewable energy sources; second, to calculate the technically achievable energy potential of biogas obtained as a result of the energy conversion of the biomass used. The analysis of the livestock and poultry population and the mass of municipal solid waste shows that the largest number of livestock is kept in farms in Poltava, Cherkasy and Chernihiv regions, the smallest one is in Zakarpattia region. The largest number of pigs in Ukraine is in the Donetsk and Kiev regions, the smallest one is in the Transcarpathian and Luhansk regions. With regard to municipal waste, the largest amount was generated in Kharkiv, Dnipropetrovsk and Kyiv regions, the smallest one is in Kherson, Lugansk and Volyn regions.*

*The biogas energy potential calculations were performed using the mathematical relationships known and adapted to quantify biogas energy potential from animal manure (or poultry manure) and from the organic component of landfills.*

*An estimation of the technically achievable energy potential of biogas (the amount of energy in terms of conventional fuel which can be obtained from the biomass available for energy conversion in existing energy generating installations with characteristic technical and economic parameters) from the manure of animals or the breeding of poultry their different types (cattle, pigs, chickens) and from solid waste household waste landfills were conducted both in each oblast and in Ukraine as a whole. According to the estimation the technically available energy potential of biogas of Ukraine is 1.6 mln tons of fuel equivalent, or 1.1 mln tons of oil equivalent. The scale of possible utilization of technically available energy potential of biogas by regions of Ukraine is represented by the table 2. Most of all due to the use of this potential it is possible to reduce the consumption of organic fuel in Kharkiv, Vinnitsa, Cherkasy, Dnipropetrovsk and Kyiv regions, where it is 98 ... 269 thousand tons of fuel equivalent, or 69...188 thousand tons of oil equivalent. The prospect of further research is to evaluate the scale of energy use of Ukraine's biomass and to calculate the estimated capacity of future bioenergy plants.*

**Key words:** *biogas, energy potential, animal manure, bird droppings, solid household waste.*

**ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ БІОГАЗУ УКРАЇНИ****А. Г. Грицай, З. В. Маслюкова***e-mail: biomassa@ukr.net*Інститут відновлюваної енергетики НАН України,  
вул. Гната Хоткевича, 20 а, м. Київ, 02094, Україна

*Зважаючи на посилення тенденції у паливно-енергетичному комплексі України щодо ефективного використання відновлюваних енергетичних ресурсів з метою доповнення та заміни традиційних джерел енергії, виникає необхідність об'єктивного аналізу та оцінки наявних відновлюваних ресурсів для отримання теплової та електричної енергії, одним з яких є біогаз. Метою цієї роботи є оцінка*

технічно-досяжного енергетичного потенціалу біогазу України, що може бути отриманий з відходів тваринництва та з полігонів твердих побутових відходів. Завданнями дослідження є, по-перше, аналіз чисельності поголів'я худоби та птиці та маси твердих побутових відходів в Україні як ресурсної бази відновлюваних енергетичних джерел; по-друге, проведення підрахунків технічно-досяжного енергетичного потенціалу біогазу, отриманого внаслідок енергетичного перетворення використаної біомаси. Внаслідок аналізу чисельності поголів'я худоби і птиці та маси твердих побутових відходів встановлено, що найбільша чисельність поголів'я великої рогатої худоби утримується в господарствах у Полтавській, Черкаській та Чернігівській областях, найменша – в Закарпатській області. Найбільшим поголів'я свиней в Україні є у Донецькій та Київській, найменшим – у Закарпатській та Луганській областях. Що стосується побутових відходів, то найбільша їхня кількість утворилась у Харківській, Дніпропетровській та Київській областях, найменша – в Херсонській, Луганській та Волинській областях.

Розрахунки енергетичного потенціалу біогазу здійснювалися за математичними залежностями, відомими та пристосованими для отримання кількісної оцінки енергетичного потенціалу біогазу із гною тварин (або посліду птиці) та з органічної складової полігонів твердих побутових відходів.

Оцінку технічно-досяжного енергетичного потенціалу біогазу (кількості енергії в перерахунку на умовне паливо, яку можливо отримати при використанні доступної для енергетичного перетворення біомаси в існуючих енергогенеруючих установках, що мають характерні для сьогодення техніко-економічні параметри) із гною тварин або посліду птиці для найбільш розповсюджених їхніх видів (великої рогатої худоби, свиней, курей) та з полігонів твердих побутових відходів проведено як по кожній області, так і загалом по Україні. Згідно з проведеною оцінкою, технічно-досяжний енергетичний потенціал біогазу України становить 1,6 млн т у.п., або 1,1 млн т н.е. Масштаби можливого використання технічно-досяжного енергетичного потенціалу біогазу по областях України відображені в таблиці 2. Найбільше за рахунок використання цього потенціалу можливо зменшити споживання органічного палива в Харківській, Вінницькій, Черкаській, Дніпропетровській та Київській областях, де він становить 98...269 тис. т у.п., або 69...188 тис. т н.е. Перспективою подальших досліджень є оцінка масштабів використання енергетичних ресурсів біомаси України та розрахунки прогнозованої потужності майбутніх біоенергетичних установок.

**Ключові слова:** біогаз, енергетичний потенціал, гній тварин, послід птиці, тверді побутові відходи.

## Вступ

Відновлювані джерела енергії з біомаси є важливою складовою в енергобалансі країн світу. В Європі послідовно використовується стратегія, згідно з якою до 2020 року в країнах ЄС має вироблятися 20 % енергії з відновлюваних джерел. Частка енергетики на біомасі складає: у Данії – понад 7 % усієї енергетики; в Австрії – 12 %, у Швеції – 21 %, а у Німеччині – понад 24 %. Загалом у ЄС щорічно із біомаси отримують 14 % загальної потреби у енергії.

Україна в умовах постійного зростання дефіциту традиційних видів паливних ресурсів також намагається провадити свою стратегію в галузі енергетики відповідно до норм ЄС, тобто залучати до паливно-енергетичного комплексу країни її власні енергоресурси, до яких, насамперед, належать відновлювані джерела енергії, зокрема, біогаз.

Питанням виробництва та використання біогазу як альтернативного джерела енергії приділяли значну увагу у своїх наукових доробках такі дослідники, як Гелетуха Г. Г. (Geletuha, 2015; Geletuha, 2017), Голуб Г. А. (Golub, 2015), Дубровін В. О. (Dubrovin, 2013), Кучерук П. П. (Kucheruk, 2016), Матвеев Ю. Б. (Matveev, 2016), Трофімов І. Л. (Trofimov, 2016) та інші.

Кожна область України має власну сировинну базу, придатну для виробництва біогазу, використання якого дає можливість отримання теплової та електричної енергії. Однак обсяги сировини в кожній області різні. У зв'язку з цим становить інтерес оцінка технічно-досяжного енергетичного потенціалу біогазу як по кожній області, так і загалом по Україні, що і є метою цього дослідження.

Оцінка технічно-досяжного енергетичного потенціалу біогазу України дає змогу визначити

можливість, доцільність та обсяги енергетичного використання власних відновлюваних джерел енергії як на державному, так і обласному рівнях. За наявності відомостей стосовно цього потенціалу можливо визначити пріоритетні проекти енергетичного використання біомаси, обґрунтувати їхню економічну ефективність та доцільність фінансування, залучення інвестицій.

### Матеріали та методи

Для аналізу ресурсної бази біомаси, придатної для теплових та енергетичних потреб, було використано статистичні відомості згідно з офіційним сайтом Держстату України щодо різних областей України, що стосуються чисельності поголів'я худоби, птиці та маси твердих побутових відходів. Розрахунки технічно-досяжного енергетичного потенціалу біогазу здійснювалися за відомими та застосованими відповідно до прийнятих припущень математичними залежностями (Dubrovin, 2013).

### Результати досліджень та обговорення

Для обчислення технічно-досяжного енергетичного потенціалу біогазу скористаємося методикою, наведеною у роботі (Dubrovin, 2013).

#### Біогаз із гною тварин або посліду птиці

Оцінка виконується за припущень:

1. Розрахунки виконуються тільки для найбільш розповсюджених видів, а саме: великої рогатої худоби (ВРХ), свиней, курей.

2. Біогаз отримується шляхом анаеробного бродіння гною або посліду без додавання рослинного силосу.

3. Враховуючи те, що на практиці доцільно використовувати потенціал лише тих господарств, де є максимальна кількість худоби та птиці, можна припустити, що реальний енергетичний потенціал становитиме приблизно 60–70% від обрахованого, що також важливо для питань енергетичної безпеки країни.

Технічно-досяжний енергетичний потенціал біогазу із гною тварин (або посліду птиці) обчислюється за залежністю:

$$E_1 = \frac{n \cdot \beta \cdot \alpha \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot Q_1}{Q_2}, \quad (1)$$

де  $E_1$  – технічно-досяжний енергетичний

потенціал біогазу із гною тварин (або посліду птиці), т у. п. /рік;  $n$  – кількість худоби або птиці, що утримується на тваринницьких сільськогосподарських підприємствах, голів;  $\beta$  – питомий вихід екскрементів від однієї голови тварин у перерахунку на суху органічну речовину (СОР) за рік, т СОР/гол·рік; залежить від умов утримання тварин; для ВРХ дорівнює 1,5 т СОР/гол·рік; для свиней – 0,2 т СОР/гол·рік; для курей – 0,02 т СОР/гол·рік (Dubrovin, 2013);  $\alpha$  – максимальний потенціал утворення метану з розрахунку на 1 кг сухої органічної речовини гною/посліду (приймається для ВРХ 193 м<sup>3</sup> СН<sub>4</sub>/т СОР; для свиней – 450 м<sup>3</sup> СН<sub>4</sub>/т СОР; для курей – 320 м<sup>3</sup> СН<sub>4</sub>/т СОР);  $K_1$  – коефіцієнт утворення відходів, що характеризує кількість тварин, які утримуються у закритих приміщеннях; для ВРХ  $K_1 = 0,62$ ; для свиней та курей  $K_1 = 1$ ;  $K_2$  – коефіцієнт доступності відходів, що характеризує кількість гною, яку можливо зібрати і доставити існуючими технічними засобами до біогазової установки, приймається за 0,93 (Geletuha, 2011);  $Q_1$  – теплота згоряння метану, яка становить 35,9 МДж/м<sup>3</sup> СН<sub>4</sub>;  $Q_2$  – теплота згоряння умовного палива, приймається за 29300 МДж/т у.п.

Зазначимо, що метановий потенціал гною та посліду залежить від технології отримання біогазу. Для сучасних біогазових установок вихід метану становить від 0,5 до 1 м<sup>3</sup> біогазу з 1 м<sup>3</sup> реактора за добу при використанні моносубстратів гнойових відходів.

Що стосується коефіцієнта утворення відходів у формулі (1), то, з урахуванням переважної практики випасання худоби протягом теплого періоду року на пасовищах, слід зазначити:

- для ВРХ враховується втрата частини гною в період випасання. При цьому, вважається, що корови переважно утримуються безприв'язним способом впродовж усього року; телята утримуються впродовж холодного періоду (210 діб) у приміщеннях, а в літній період (156 діб) – утримуються в загонах; телиці випасаються у полі впродовж 156 днів на рік по 12 годин на добу;

- для свиней, що утримуються в господарствах усіх видів, коефіцієнт утворення відходів буде однаковим з урахуванням домінуючої практики їхнього утримання у

приміщеннях;

- для птиці, що утримується на птахофабриках, враховано втрату частини придатних для ефективного бродіння відходів у вигляді посліду, беручи до уваги переважну практику вигулу птиці поза приміщеннями для їхнього утримання.

Також слід зазначити, що гній тварин та послід птиці період зберігання втрачає свій метановий потенціал. Теплота згоряння метану та умовного палива в залежності (1) стали за часом і не впливають на зміну теплоенергетичного потенціалу біогазу.

### Біогаз із полігонів твердих побутових відходів (ТПВ)

Оцінка технічно-досяжного енергетичного потенціалу біогазу полігонів твердих побутових відходів виконується за припущення, що біогаз отримується з органічної речовини – домінуючої складової комунальних відходів. З полігону біогаз видобувається системою видобувних свердловин.

З урахуванням зазначеного, технічно-досяжний енергетичний потенціал обчислюється за залежністю (Dubrovin, 2013):

$$E_2 = \frac{M \cdot \alpha \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot Q_3}{Q_2}, \quad (2)$$

де  $E_2$  – технічно-досяжний енергетичний потенціал біогазу з органічної складової полігонів твердих побутових відходів, т у. п./рік;  $M$  – маса твердих побутових відходів, які щорічно утворюються в Україні, т/рік;  $\alpha$  – вихід метану з однієї тонни побутових відходів, приймається за  $85 \text{ м}^3/\text{т}$ ;  $K_3$  – коефіцієнт технічної доступності, який визначає ефективність збору біогазу на полігоні, приймається за  $0,75$  (Dubrovin, 2013);  $K_4$  – частка ТПВ, що перебуває в анаеробних умовах та може продукувати біогаз, приймається за  $0,67$  (Geletuha, 1998);  $Q_3$  – теплота згоряння метану становить  $35,9 \text{ МДж}/\text{м}^3$  (Dubrovin, 2013). Решта умовних позначень відповідає прийнятим раніше.

В табл. 1 наведено чисельність поголів'я худоби та птиці, що утримуються на фермах та птахофабриках України, та маса твердих побутових відходів. Наведену статистику взято на офіційному сайті Держстату України без урахування тимчасово окупованої території Автономної Республіки Крим, м. Севастополя та тимчасово окупованих територій у Донецькій та Луганській областях.

Таблиця 1. Чисельність поголів'я худоби і птиці та маса твердих побутових відходів\*

№ з/п	Області	Чисельність поголів'я худоби та птиці, тис. голів			Кількість побутових відходів, млн тонн
		велика рогата худоба	свині	птиця	
1	2	3	4	5	6
1.	Вінницька	81	91	24107	0,23
2.	Волинська	45	82	4635	0,16
3.	Дніпропетровська	32	280	15325	1,24
4.	Донецька	28	423	3181	0,57
5.	Житомирська	55	40	583	0,21
6.	Закарпатська	2	20	– *	0,32
7.	Запорізька	19	145	2527	0,44
8.	Івано-Франківська	12	215	1773	0,25
9.	Київська	83	395	19913	2,43
10.	Кропивницька	26	134	157	0,22
11.	Луганська	17	26	– *	0,15
12.	Львівська	18	263	3616	0,40
13.	Миколаївська	17	41	739	0,36
14.	Одеська	22	64	136	0,95
15.	Полтавська	143	229	2692	0,33
16.	Рівненська	30	34	2213	0,19
17.	Сумська	75	51	1259	0,32

Закінчення таблиці 1

1	2	3	4	5	6
18.	Тернопільська	31	164	2043	0,17
19.	Харківська	89	99	3147	1,18
20.	Херсонська	15	63	3558	0,07
21.	Хмельницька	68	163	4519	0,22
22.	Черкаська	118	222	21200	0,24
23.	Чернівецька	8	52	1036	0,28
24.	Чернігівська	106	99	241	0,35
<b>Всього</b>		<b>1140</b>	<b>3395</b>	<b>118600</b>	<b>11,28</b>

Примітка: \*дані не оприлюднюються з метою забезпечення виконання вимог Закону України "Про державну статистику" щодо конфіденційності статистичної інформації.

Джерело: www.ukrstat.gov.ua

Як бачимо з таблиці, найбільша чисельність поголів'я великої рогатої худоби утримується в господарствах у Полтавській, Черкаській та Чернігівській областях, найменша – в Закарпатській області. Найбільшим поголів'я свиней в Україні є у Донецькій та Київській областях, найменшим – у Закарпатській та Луганській областях. Що стосується побутових

відходів, то найбільша їхня кількість утворилась у Харківській, Дніпропетровській та Київській областях, найменша – в Херсонській, Луганській та Волинській областях.

За залежностями (1), (2) було обчислено річний технічно-досяжний енергетичний потенціал біогазу для різних регіонів України. Результати розрахунків наведено в табл. 2.

Таблиця 2. Технічно-досяжний енергетичний потенціал біогазу України

Області	Технічно-досяжний енергетичний потенціал біогазу України					
	біогаз, що може бути отриманий з гнойових відходів та посліду птиці		біогаз, що може бути отриманий на полігонах твердих побутових відходів		сумарний технічно-досяжний енергетичний потенціал біогазу	
	тис. т у.п.	тис. т н.е.	тис. т у.п.	тис. т н.е.	тис. т у.п.	тис. т н.е.
Вінницька	141	98,7	12	8,4	153	107,1
Волинська	36	25,2	8	5,6	44	30,8
Дніпропетровська	103	72,1	65	45,5	168	117,6
Донецька	51	35,7	30	21	81	56,7
Житомирська	14	9,8	11	7,7	25	17,5
Закарпатська	2	1,4	17	11,9	19	13,3
Запорізька	26	18,2	23	16,1	49	34,3
Івано-Франківська	26	18,2	13	9,1	39	27,3
Київська	142	99,4	127	88,9	269	188,3
Кропивницька	14	9,8	11	7,7	25	17,5
Луганська	4	2,8	8	5,6	12	8,4
Львівська	40	28	21	14,7	61	42,7
Миколаївська	9	6,3	19	13,3	28	19,6
Одеська	8	5,6	50	35	58	40,6
Полтавська	51	35,7	17	11,9	68	47,6
Рівненська	18	12,6	10	7	28	19,6
Сумська	21	14,7	17	11,9	38	26,6
Тернопільська	27	18,9	9	6,3	36	25,2
Харківська	36	25,2	62	43,4	98	68,6
Херсонська	25	17,5	4	2,8	29	20,3
Хмельницька	45	31,5	12	8,4	57	39,9
Черкаська	141	98,7	12	8,4	153	107,1
Чернівецька	10	7	15	10,5	25	17,5
Чернігівська	24	16,8	18	12,6	42	29,4
<b>Разом</b>	<b>1014</b>	<b>709,8</b>	<b>591</b>	<b>413,7</b>	<b>1605</b>	<b>1123,5</b>

Джерело: розраховано авторами на основі (Dubrovin, 2013).

### Висновки

В Україні є значна сировинна база, що придатна для виробництва біогазу. Згідно з результатами дослідження технічно-досяжний енергетичний потенціал біогазу, що може бути отриманий з відходів тваринництва та з полігонів твердих побутових відходів, становить 1,6 млн т у.п., або 1,1 млн. т н.е. За рахунок використання цього потенціалу можливо у найбільшій мірі зменшити споживання органічного палива в Київській, Дніпропетровській, Черкаській, Вінницькій та Харківській областях.

### References

- Dubrovin, V. O., Holub, H. A., Dragnev, S. V., Heletukha, H. H., Zheliezna, T. A., Matveev, Yu. B. & Maslyukova, Z. V. (2013). *Metodyka uzahalnenoyi otsinky tekhnichno-dosyazhnoho enerhetychnoho potentsialu biomasy* [The methodology of the assessment of technically achievable energy potential of biomass]. Kyiv: Viol-Print Ltd. [in Ukrainian].
- Geletuha, G. G., Zheleznaya, T. A., Kucheruk, P. P., Olejnik E. N. & Triboj A. V. (2015). *Bioenergetika v Ukraine: sovremennoe sostojanie i perspektivy razvitija*. Ch. 2 [Bioenergy in Ukraine: state of the art and prospects for development. Part 2] *Promyslova teplotehnika*, 3 (37), 65–73. doi: org/10.31472/ihe.3.2015.08 [in Russian].
- Geletuha, G. G. & Martsenyuk, Z. A. (1998). *Energeticheskiy potentsial biomassyi v Ukraine* [An energy potential of biomass in Ukraine]. *Promyishlennaya teplotehnika*, 4 (20), 52–55 [in Russian].
- Heletukha, H. H. & Zheliezna, T. A. (2017). *Stan ta perspektyvy rozvytku bioenergetyky v Ukraini* [State of the art and prospects for bioenergy development in Ukraine]. *Promyslova teplotehnika*, 2 (39), 60–64. doi: org/10.31472/ihe.2.2017.09. [in Ukrainian].
- Heletukha, H. H., Kucheruk, P. P., Matvieiev, Yu. B. & Khodakivska, T. V. (2011). *Perspektyvy vyrobnytstva biogazu v Ukraini* [The prospects for the production of biogas in Ukraine]. *Vidnovliuvana enerhetyka*, 3 (26), 73–77 [in Ukrainian].
- Holub, H. A. & Kukharets, S. M. (2015). *Syrovynna baza ta efektyvnist vyrobnytstva biogazu* [The raw material base and biogas production efficiency]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Ser. Tekhnika ta enerhetyka APK*, 1 (212), 11–20 [in Ukrainian].
- Kucheruk, P. P. (2016). *Doslidzhennia kinetychnykh parametriv pry periodychnomu metanovomu brodinni sumishi hnoiovnykh vidkhodiv ta sylosu kukurudzy* [The researches of the kinetic parameters at the periodic methane fermentation of the animal manure and silage of corn mixture]. *Vidnovliuvana enerhetyka*, 1 (44), 73–78 [in Ukrainian].
- Matveyev, Yu. B. & Kutsyy, D. V. (2016). *Issledovaniye potentsiala obrazovaniya biogaza pri sbrazhivanii pishchevykh otkhodov* [The investigation of biogas generation potential during digestion of food waste]. *Vidnovliuvana enerhetyka*, 3 (46), 73–80 [in Russian].
- Trofimov, I. L., Yakovlieva, A. V., Ivanchenko, O. V., & Vieriahina, L. S. (2016). *Analiz potentsialu tverdykh pobutovykh vidkhodiv yak syrovyny dlia vyrobnytstva alternatyvnykh palyv v Ukraini* [Analysis of municipal solid waste potential for production of alternative fuels in Ukraine]. *Enerhetyka: ekonomika, tekhnolohii, ekolohiia*, 2, 105–111. doi: org/10.20535/1813-5420.2.2016.72630 [in Ukrainian].