



УДК 631.22:620.925:59

DOI: 10.37128/2520-6168-2021-1-12

**РІВЕНЬ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТВАРИННИЦЬКИХ ФЕРМ ЗА РАХУНОК  
БІОГАЗУ**

**Стаднік Микола Іванович**, д.т.н., професор  
**Штуць Андрій Анатолійович**, асистент  
**Пилипенко Олександр Васильович**, магістрант  
Вінницький національний аграрний університет

**Mykola Stadnik**, Doctor of Technical Sciences, Full Professor  
**Andreii Shtuts**, Assistant  
**Oleksandr Pylypenko**, Undergraduate  
Vinnytsia National Agrarian University

*В Україні є незадіяний потенціал для виробництва власної енергії з відновлюваних джерел – переробка відходів тваринництва (гною тварин та посліду птахів) з утворенням біогазу, який потім можливо використовувати для виробництва електроенергії, тепла або палива – аналогів природного газу (метану) (зокрема, для власних потреб фермерських господарств).*

*Наразі в Україні утворення великої кількості відходів на промислових фермах – це екологічна проблема, яка потребує вирішення. Переробка відходів тваринництва з утворенням біогазу дасть змогу частково розв'язати екологічні проблеми, а також отримати переваги у вигляді децентралізованого виробництва відновлюваної енергії або виробництва палива.*

*Роль відновних джерел енергії у виробництві енергії невпинно зростає і наразі актуальним є питання збільшення частки відновних джерел в енергобалансі кожної окремої країни. У постачанні первинної енергії на частку відновлюваної енергетики припадає 13 % у світовому масштабі. З них на біомасу припадає 10 %, або 258 млн. тон на рік, тобто у світі біомаса забезпечує найбільшу частку постачання енергії з відновних джерел.*

*Вітчизняні аграрні підприємства, є значними споживачами паливно-енергетичних ресурсів тому перед ними постає об'єктивна необхідність використання альтернативних джерел енергії в т.ч., біологічних видів палива та впровадження інноваційних енергозберігаючих технологій. Виробництво біогазу є ефективною та інвестиційною привабливою технологією, що зумовлюється наявністю значного сировинного потенціалу, сприятливими природно-кліматичними та інше. Проте рівень запровадження цього виду енергії в АПК є недостатнім, що пов'язано з низкою питань, в тому числі з недостатнім рівнем практичних рекомендацій по вибору потужностей генераторів електричної енергії, їх кількості, режимів роботи з урахуванням добового графіку споживання енергії, завантаження та оптимальним ККД установок при забезпеченні автономного живлення підприємства.*

*У цій роботі визначено рівень енергозабезпечення тваринницьких ферм за рахунок використання біогазу установок джерелом енергії, яких використовуються відходи тваринництва.*

**Ключові слова:** Біогаз, рівень генерації, дослідження, фермерське господарство, рівень енергозабезпечення, когенерація, біомаса, газовий генератор.

**Ф. 16. Рис. 6. Табл. 9. Літ. 18.**

---

**1. Постановка проблеми**

---

У світовій практиці частка біомаси з агросектору у виробництві біогазу є найбільшою.

У Європейському Союзі часто використовується біогаз із полігонів твердих побутових відходів, але в окремих країнах частка біомаси з агросектору у виробництві біогазу може сягати понад 90 % (рис. 1).

Вважається, що відходи тваринництва належать до субстратів, які найбільш доцільно використовувати для виробництва біогазу (як окремих субстрат або в поєднанні з іншими субстратами). На відміну від інших видів біомаси, таких, як енергетичні культури, гній та послід утворюються як побічні відходи тваринництва, які потребують утилізації в екологічно безпечний

спосіб. Крім того, гній ідеально підходить як субстрат, бо легко зміщується з іншою доступною сировиною, такою, як силос окремих рослин, зокрема силос кукурудзи (стебел) та ін.

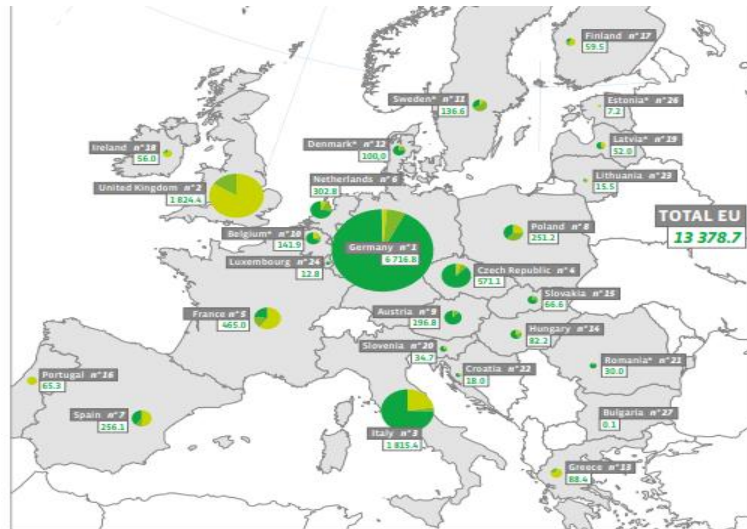


Рис. 1. Використання біогазу для виробництва первинної енергії у ЄС

## 2. Аналіз останніх досліджень та публікацій

Зелені цифри показують загальну кількість виробленої первинної енергії. Блідо-зеленим позначено частку біогазу з полігонів твердих побутових відходів. Салатовим позначено частку біогазу з муніципальних відходів. Темно-зеленим позначено частку біогазу з відходів.

Станом на 2018 рік у нас діє шість біогазових установок, що використовують гній або послід. Декілька проектів біогазових установок перебувають на стадії будівництва.

Проте потенціал отримувати біогаз шляхом анаеробного зброджування відходів тваринництва набагато більший. В Україні поголів'я тварин станом на 2018 рік складало 2,5 млн голів великої рогатої худоби (ВРХ), 7,9 млн свиней та 230,3 млн птиці. У перерахунку на відходи, це становитиме до 15 млн м<sup>3</sup> гною ВРХ, 166 млн м<sup>3</sup> гною свиней та 1725 млн м<sup>3</sup> посліду птахів.

З цих відходів можливо отримувати від 2831 Нм<sup>3</sup> до 4711 Нм<sup>3</sup> біогазу на рік, або від 1779 млн Нм<sup>3</sup> до 2862 млн Нм<sup>3</sup> біометану на рік.

Таблиця 1

Потенціал отримання біогазу з відходів тваринництва в Україні[1]

Поголів'я	Вихід гною або посліду,	Вихід біогазу, Нм <sup>3</sup> / т субстрату		Вміст метану, %	Вихід біогазу, Нм <sup>3</sup> / рік		Вихід біометану, Нм <sup>3</sup> / рік
		Діапазон вимірів	Середнє		min	max	
млн голів	м <sup>3</sup> /тварини-місце/рік	Діапазон вимірів	Середнє	метану, %	min	max	min
ВРХ	2,5	7,5–21,0	25	60	485	1360	279

Для розрахунку використовувалися лише дані щодо великої рогатої худоби оскільки ці напрями забезпечують найбільшу частку в тваринництві і є найбільшими за поголів'ям. Оцінки виходу відходів від них є наближеними до точних.

Оцінки виходу гною, посліду та біогазу дуже залежать від конкретних умов та технології. Зокрема, вихід гною (та меншою мірою посліду) залежать від віку тварин, а також від місцевих рамок умов та умов утримання.

Наприклад, залежно від умов утримання, гній може мати високий показник вмісту води, що є одним із вирішальних чинників при зброджуванні, адже великий вміст води знижує інтенсивність виходу біогазу з одиниці об'єму реактора. Часто вміст органічної сухої речовини є значно нижчим, ніж подані значення. Іншими причинами можуть бути різні якості кормів і залежний від цього склад субстрату.



Таблиця 2

**Енергетичний потенціал біомаси в Україні за теоретичними та економічними розрахунками[1]**

Вид біомаси	Теоретичний потенціал, млн т. у. п. (за розрахунками БАУ)	Економічний потенціал, млн т. у. п./рік (за розрахунками БАУ)	Економічний потенціал, млн т. у. п./рік (за розрахунками НЕЦУ)
Солома зернових культур	30,6	4,54	5,6
Відходи виробництва кукурудзи на зерно Відходи виробництва соняшника	40,2	4,39	2,4
	21,0	1,72	2,3
Біомаса з деревини	4,2	1,77	2,0
Рідкі палива (біодизель, біоетанол) Біогаз із гною (або посліду)	–	2,2	2,2
	1,6 млрд м <sup>3</sup> метану	0,97	1,6
Біогаз із полігонів ТПВ Біогаз із стічних вод	0,6 млрд м <sup>3</sup> метану	0,26	0,3
	1,0 млрд м <sup>3</sup> метану	0,27	0,2
Торф	–	0,4	0,6

Проте, на відміну від інших субстратів, переробка відходів тваринництва на додаток до енергетичного потенціалу має значні екологічні переваги. Анаеробне зброджування гною та посліду дає змогу запобігти суттєвим екологічним проблемам, які виникають, якщо великі кількості гною та посліду утилізуються традиційними методами. Особливо це актуально для великих промислових ферм.

Аналіз розмірів ферм показав, що ферми із кількістю голів від 100 до 2200 охоплюють близько 90% від загальної кількості, тому результати є представницькими[2]. Ферми із кількістю голів від 2200 до 6000 займають всього 10% від усіх тваринних комплексів, вони потребують окремо розгляду.

Таблиця 3

**Типи скотарських підприємств і їх потужність (кількість поголів'я, що одночасно утримується) [3]**

Великі підприємства (комплекс) промислового типу із загальним поголів'ям більше 5000 гол.	Більше 5000 голів
Ферми по вирощуванню відгодівельного та ремонтного молодняка	До 5000 До 3000 До 1000
Молочні ферми	Більше 600 До 600 До 400
Малі ферми селянських господарств із загальним	До 150 До 100 До 60

Вихід гною від різних видів тварин наведено в таблиці 4

Таблиця 4

**Нормативи виходу екскрементів за добу від тварин на скотарських підприємствах [3]**

Групи тварин	Склад екскрементів					
	Всього		В тому числі			
	Маса, кг/добу	Вологість, %	Кал		Сеча	
Маса, кг/добу			Вологість, %	Маса, кг/добу	Вологість, %	
Бугаї-плідники	40	86	30	83	10	95
Корови	55	88,4	35	85,2	20	94,1



Продовження таблиці 4

Телята:						
– до 3-місячного віку	4,5	91,8	1	80,0	3,5	95,1
– від 3 до 6 місяців та відгодівельні до 4-місячного віку	7,5	87,4	5	83,0	2,5	96,2
– на відгодівлі віком 4-6 місяців	14	87,2	10	83,5	4	96,5
Молодняк (телиці і нетелі):						
– 6-12 місяців	26	86,2	14	79,5	12	94,1
– 12-18 місяців та нетелі	27	86,7	20	83,5	7	96,0
Молодняк на відгодівлі:						
– 6-12 місяців	26	86,2	14	79,5	12	94,1
– Старше 12 місяців	35	84,9	23	80,1	12	94,0

Технологічні процеси і рівень механізації наведено в таблиці 5.

Таблиця 5

**Рівень механізації основних виробничих процесів і комплексної механізації скотарських підприємств[3]**

Основні виробничі процеси	Рівень механізації, %				
	Тваринницькі підприємства			Комплекси з вирощування нетелей	Комплекси з виробництва яловичини
	При доїнні в молокопр овід	При доїнні в доїльно-молочних блоках та утриманні			
Автоматизована прив'язь		Безприв'язне	и по вирощуванню нетелей		
Роздавання кормів	90	95	95	95	95
Напування	100	100	100	100	100
Доїння	85	90	90	-	-
Первинна обробка молока	90	90	90	-	-
Видалення гною	85	85	95	90	95
Комплексна механізація виробництва	85	90	90	90	95

За даними Української молочної компанії, що заснована у квітні 2006 року, встановлено одну із перших в Україні біогазову станцію потужністю 1 МВт, що переробляє гній корів у електричну та теплову енергію. Тваринницький комплекс підприємства розрахований на утримання 4000 дійних корів голштинської породи

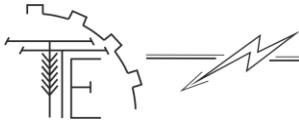
Споживання електричної енергії на фермі в літній період складає 7,5 – 8 тис. кВт, а в зимовий період 8,5 – 10,5 тис. кВт. Біогазовою станцією за останній рік було вироблено 2,655 млн. кВт, що складає 7273 кВт електричної енергії на добу, тобто 1,8 кВт/год на одну голову худоби. Теплову енергію, яку отримують із біогазу, за рахунок когенераатора, використовують на потреби біогазової станції для підтримання необхідної температури в резервуарі біомаси, особливо в зимовий період. Інша частина теплової енергії виходить у повітря.

Розгляд публікацій, інформації з інтернету, а також спілкування із підприємцями та енергетиками тваринницьких ферм показав, що рівень енергозабезпечення на комплексах не встановлено. Тому результати роботи є представницькими.

### 3. Мета дослідження

Незважаючи на досить розвинену систему державного електропостачання, завжди існує потреба в автономному енергозабезпеченні, незалежному від централізованого постачання енергії. Обумовлена ця тенденція розвитком високо ефективних фермерських господарств.

Метою є визначення рівня енергозабезпечення тваринницьких ферм в залежності від їх розміру за рахунок біогазу.



#### 4. Виклад основного матеріалу

Сучасна система державного електропостачання є досить розвиненою, але, не зважаючи на це, вітчизняні аграрні підприємства є значними споживачами паливно - енергетичних ресурсів, тому існує необхідність у використанні альтернативних джерел енергії, в тому числі біологічних видів палива та впровадження інноваційних енергозберігаючих технологій. Виробництво біогазу є ефективною та інвестиційно привабливою технологією, що зумовлюється наявністю значного сировинного потенціалу та сприятливими природно-кліматичними умовами[4].

Аналіз статистичних даних про склад тваринницьких ферм наведений в [5] показує, що в середньому близько 30% тварин – це молодняк ВРХ. У зв'язку з цим приймаємо для кожної ферми 70% дорослих тварин і 30% молодняка. Це необхідно враховувати при визначенні кількості виходу гною та біогазу.

Визначимо загальний вихід гною на фермі за добу. Вихід гною від однієї корови за добу, в середньому, складає 35 кг[6]. Вихід гною від однієї голови молодняка, в середньому, становить 12 кг. Тоді загальний вихід гною буде становити [6]:

$$Q_{г. доб} = 35 \cdot (n \cdot 0,7) + 12 \cdot (n \cdot 0,3) \quad (1)$$

де  $n$  – кількість тварин.

Визначаємо вихід біогазу із тони гною, в середньому, становить 50-65 м<sup>3</sup> біогазу із вмістом метану 60%. Прийmemo найменше значення виходу біогазу із тони гною – 50 м<sup>3</sup>[7].

Таким чином, розрахуємо вихід біогазу в день від різної кількості гною:

$$V_g = Q_{г. ВРХ} \cdot Q_{г. доб} \quad (2)$$

$Q_{г. ВРХ}$  – вихід біогазу ВРХ (із 1т гною ВРХ виділяється близько 50 м<sup>3</sup> газу).

Розрахуємо вихід метану (NG):

$$NG = V_g \cdot 0,6 \quad (3)$$

Вміст метану в біогазі становить 60%[7].

На сьогодні для виробництва електроенергії Для виробництва електричної енергії використаємо газові генератори. Для цього проаналізуємо різні фірми газових генераторів та потужностей за технічними характеристиками.

Проаналізувавши відомий бренд газових генераторів NPT GFT[8], ми визначили, що для вироблення 1 кВт він споживає 0,32м<sup>3</sup> газу.

Скориставшись таблицею ряду газових генераторів визначимо скільки він споживає газу для вироблення 1 кВт:

$$V = NG/P \quad (4)$$

де,  $P$  – це потужність генератора, кВт;  $NG$  – це максимальна витрата метану (за годину).

Провівши розрахунок, ми визначили, що для вироблення 1 кВт він споживає 0,32м<sup>3</sup> газу. Прийmemo це значення, для подальших розрахунків.

Проаналізуємо ряд генераторів Genegas, відомий американський виробник генераторів для резервного виробництва електроенергії. Скориставшись таблицею ряду газових генераторів[9], визначимо скільки він споживає газу для вироблення 1 кВт/год:

$$V = NG/P \quad (5)$$

Отже, даний ряд генераторів споживає 0,35-0,44 м<sup>3</sup> газу для вироблення 1 кВт.

Тепер розглянемо когенераційні установки, POWERLINK GSC20S-NG на 20кВт, POWERLINK VCG30S-NG на 30 кВт і POWERLINK GXC50-NG на 50 кВт[10,11,12].

Витрата метану у них при навантаженні в 100%, становить відповідно 6.3м<sup>3</sup>, 10.8м<sup>3</sup> і 14.3м<sup>3</sup>. Тобто для вироблення 1 кВт/год необхідно спалити газу: 0.31м<sup>3</sup>, 0.36 м<sup>3</sup> і 0.29 м<sup>3</sup>.

Ми розглянули три типи генераторів, визначивши, що найбільш ефективними будуть генератори «NPT GFT» із витратою газу на 1 кВт/год – 0,32м<sup>3</sup> та когенераційні установки POWERLINK із витратою 0,29 м<sup>3</sup>-0,36м<sup>3</sup>. Для подальших розрахунків прийmemo витрату газу 0,36м<sup>3</sup> для вироблення 1 кВт електроенергії.

Для функціонування біогазоенергетичної установки (підтримання мезофільного режиму та роботи електрообладнання) когенератор споживає до 25 % виробленого біогазу [13].

Проаналізувавши газові генератори різних типів і виробників, визначимо скільки електроенергії можна виробити за рахунок газу в залежності від кількості газу:

$$E_0 = (V/P) \quad (6)$$

Визначимо скільки електроенергії використовується для власних потреб метантенка:

$$E_M = E_0 \cdot 0,25 \quad (7)$$



Отже, визначимо кількість електроенергії, яка залишається на власні потреби ферми:

$$E = E_0 - E_M \quad (8)$$

Когенераційні установки POWERLINK мають загальний ККД 92,7%, у яких електричний ККД і 63,5% – тепловий ККД [8,9]. Знайдемо відношення цих ККД:

$$k = \eta_{мен} / \eta_{ел} = 63,5 / 29,2 = 2,17 \quad (9)$$

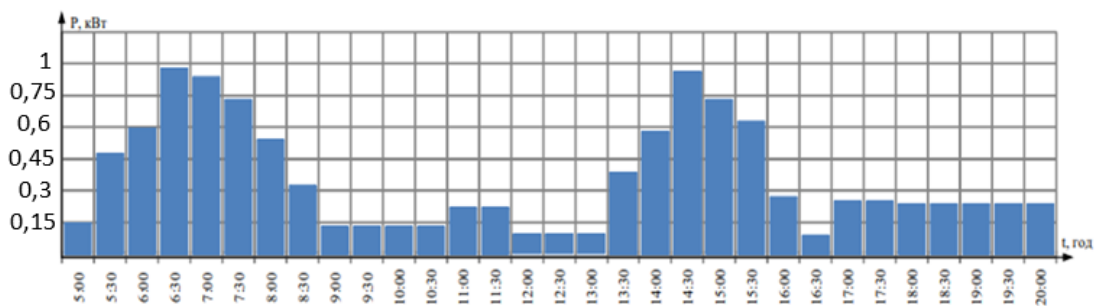
де,  $\eta_{мен}$  – тепловий ККД,  $\eta_{ел}$  – електричний ККД.

Визначимо скільки можна виробити теплової енергії за допомогою цих когенераційних установок:

$$Q_{вир} = E \cdot k \quad (10)$$

де  $k$  – відношення теплового і електричного ККД,  $E$  – кількість електроенергії, яку можна виробити когенераційною установкою POWERLINK.

На основі даних із конкретної ферми, розглянемо типовий графік навантаження тваринницької ферми у відносних одиницях.



**Рис. 2. Графік навантаження тваринницької ферми:**  
вісь ординат – потужність у відносних одиницях %, вісь абсцис – діапазон часу. 05:00 – 20:00

У нічний період доби від 00:00 до 05:00 рівень споживання електроенергії на фермі становить до 0,15, в період із 20:00 до 24:00 споживання складає також 0,15%.

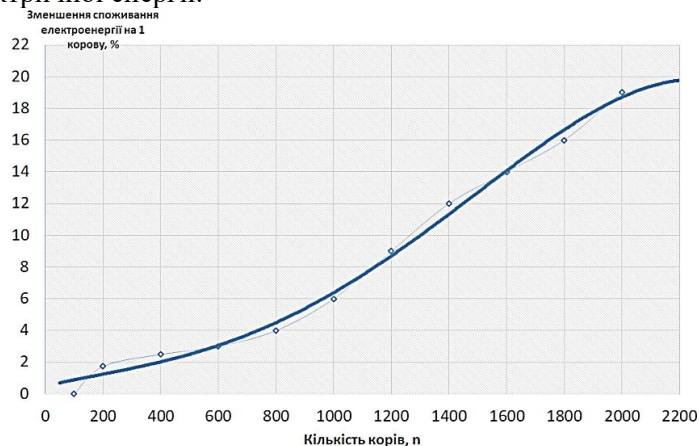
Типовий графік навантаження приймаємо за базовий при подальшому аналізі. При подальших розрахунках будемо виходити з припущення, що генераторна група сформована таким чином, що вона працює з максимальним К.К.Д при виробництві електричної енергії [14].

Рівень споживання на підприємстві УМК, та наведений у джерелах [15] досить неоднозначний, а наведений у довідникові надає досить застарілі дані [16]. В зв'язку із цим на основі типового графіку визначимо рівень споживання електроенергії фермами різних розмірів.

Добове споживання електроенергії тваринницькою фермою становить 347 кВт/год на 100 голів ВРХ. Отже, на одну корову в день витрачається електроенергії [16]:

$$E_1 = W_{сум}^{доб} / 100 \approx 3,5 \text{ кВт/год} \quad (11)$$

Визначимо кількість поживання електроенергії на одну корову в залежності від їх кількості. Для цього складемо рівняння регресії на підставі статистичних даних [16], який покаже рівень зниження споживання електричної енергії.



**Рис. 3. Зменшення споживання електроенергії на 1 корову в залежності від їх кількості**



Степеневе рівняння:

$$\Delta_E = -2E-12n^4 + 7E-09n^3 - 3E-06n^2 + 0,0041n + 0,5 \quad (12)$$

$\Delta_E$  – зменш кількості споживання електроенергії,  $n$  – кількість корів

Степеневе рівняння в залежності від статистичних даних зменшення питомих витрат електроенергії.

На основі даних із рис. 3, побудуємо таблицю 6.

Таблиця 6.

**Динаміка зменшення споживання електроенергії в залежності від кількості тварин**

Кількість корів, $n$	200	400	600	800	1000	1200	1300	1400	1500	1600	1800	2000	2200
Зменшення споживання електроенергії, $\Delta_E$ , %	1	2	3	4.5	6.2	8.8	10	11.2	12.5	14	16.5	18.6	19.7

Порівнявши відсоток зміни споживання електричної енергії рівняння регресії із статистичними даними відрізняється на 0.4% в сторону зменшення. Вважаємо таке відхилення допустимим.

Визначимо необхідну кількість електроенергії для різної кількості корів:

$$E_{\text{потр}} = (E_1 \cdot n) - \Delta_E \quad (13)$$

де  $n$  – кількість корів,  $\Delta_E$  – відсоток зменшення споживання електроенергії на 1 корову в залежності від їх кількості.

Розрахуємо рівень електроенергії, що можна покрити за рахунок біогазу:  $E_{\text{потр}} - 100\%$ ;  $E_{\text{вир}} - x$

$$x = (E_{\text{вир}} \cdot 100 / E_{\text{потр}}) \quad (14)$$

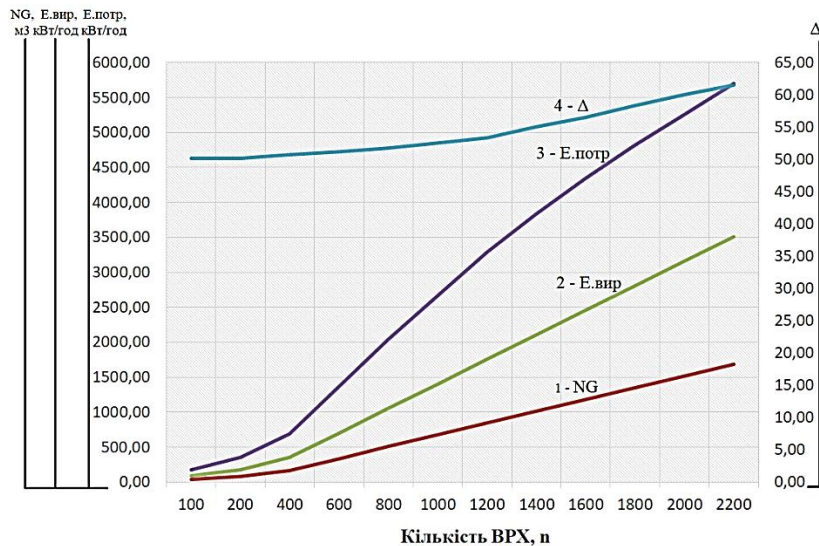
де  $E_{\text{вир}}$  – кількість електроенергії, що можна виробити за рахунок біогазу,  $E_{\text{потр}}$

Таблиця 7

**Результати розрахунків**

Кількість тварин, $n$	Кількість гною в день, $m, t$	Вихід біогазу в день, $Q_{e.добр}, m^3$	Кількість метану $NG, m^3$	Кількість виробленої електроенергії $E_0$ кВт	Кількість електроенергії на потреби метантенка, $E_m$	Кількість електроенергії, яка залишається на потреби ферми, $E_{\text{вир}}$ кВт/год	Потрібна кількість електроенергії $E_{\text{потр}}$ кВт/год	Відсоток покриття електроенергії, $\Delta_{\text{покр}}, \%$	Вироблено теплової енергії, кВт
100	2,81	140,5	84,30	234,17	58,54	175,63	350,00	50,18	190,55
200	5,62	281	168,60	468,33	117,08	351,25	693,00	50,69	381,11
400	11,24	562	337,20	936,67	234,17	702,50	1372,00	51,20	762,21
600	16,86	843	505,80	1405,00	351,25	1053,75	2037,00	51,73	1524,43
800	22,48	1124	674,40	1873,33	468,33	1405,00	2674,00	52,54	2286,64
1000	28,10	1405	843,00	2341,67	585,42	1756,25	3290,00	53,38	3048,85
1200	33,72	1686	1011,60	2810,00	702,50	2107,50	3830,40	55,02	3811,06
1400	39,34	1967	1180,20	3278,33	819,58	2458,75	4351,20	56,51	4573,28
1600	44,96	2248	1348,80	3746,67	936,67	2810,00	4816,00	58,35	5335,49
1800	50,58	2529	1517,40	4215,00	1053,75	3161,25	5260,50	60,09	6097,70
2000	56,20	2810	1686,00	4683,33	1170,83	3512,50	5705,00	61,57	6859,91
2200	61,82	3091	1854,60	5151,67	1287,92	3863,75	6183,00	62,49	7622,13

На основі даних з таблиці 6, побудуємо графік (рис. 4).



**Рис 4. Вихід метану, кількість виробленої електроенергії та потрібної, покриття споживання електроенергії за рах. біогазу в залежності від кількості корів.**

Пояснення до Рис. 4.:

крива 1 (NG) – вихід метану із гною корів в залежності від їх кількості;

крива 2 ( $E_{вир}$ ) – Кількість електроенергії, яка залишається на потреби ферми (потреби метантенка враховано, до 25% від загального споживання [13]);

крива 3 ( $E_{потр}$ ) – потрібна кількість електроенергії для функціонування ферми;

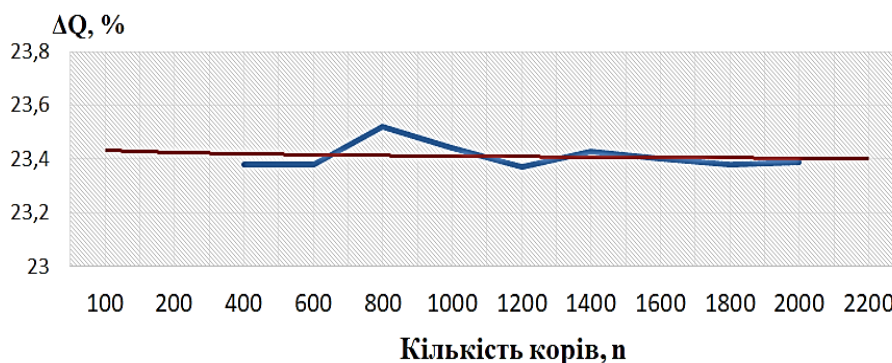
крива 4 ( $\Delta$ ) – відсоток покриття електроенергії на фермі за рахунок біогазу.

На графіку показано, що в залежності від кількості корів, кількість метану складає (крива 1); кількість виробленої електричної енергії, яка залишається на потреби ферми (крива 2), потрібна кількість електроенергії для функціонування ферми (крива 3), покриття споживання електричної енергії за рахунок біогазу (крива 4).

Із графіку видно, що від кількості тварин рівень покриття змінюється від 50 до 62%. Таким чином в діапазоні 100 – 2200 корів, покриття буде складати 50 – 62%.

На ряду використання ел енергії сучас ферми використовують теплову енергію. Розглянемо можливість використання теплової енергії за рахунок когенерації.

Сучасні ферми для нагріву води та опалення використовують електричну енергію (бойлери, конвектори). Виробивши теплову енергію за допомогою когенерації ми можемо знизити використання електроенергії на тваринницькій фермі. На основі статистичних даних «Технологічний процес молочних ферм і комплексів» побудуємо графік – «Доля використання електроенергії на «тепло»[16].



**Рис. 5. Доля витрат електроенергії на «тепло» в діапазоні 100 - 2200 корів**

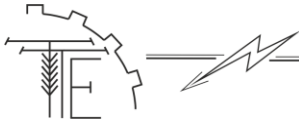
Рівняння зміни теплової енергії  $\Delta Q$  від кількості тварин ( $n$ )

$$\Delta Q = -0,017 \ln(n) + 23,444 \quad (15)$$

де  $\Delta Q$  – рівень використання теплової енергії на фермі, %, ( $n$ ) – це кількість тварин.

Логарифмічна залежність від статистичних даних споживання теплової енергії на фермах.





Таблиця 8

**Споживання теплової енергії на фермах**

Кількість корів, n	100	200	400	600	800	1000	1200	1400	1600	1800	2000	2200
Доля витрат електроенергії на «тепло», ΔQ, %	23.43	23.42	23.38	23.38	23.52	23.44	23.37	23.43	23.4	23.38	23.39	23.4

Отже, визначимо обсяги споживання теплової енергії на фермах за пропорцією:

$$Q_{сп} = (\Delta Q + 100\%) / E_{потр} \quad (15)$$

де  $E_{потр}$  – необхідна кількість електроенергії для функціонування ферми

Віднімемо долю витрат на теплову енергію, визначивши кінцеву необхідну кількість споживання електроенергії для функціонування ферми:

$$E_{сп} = E_{потр} - Q_{сп} \quad (16)$$

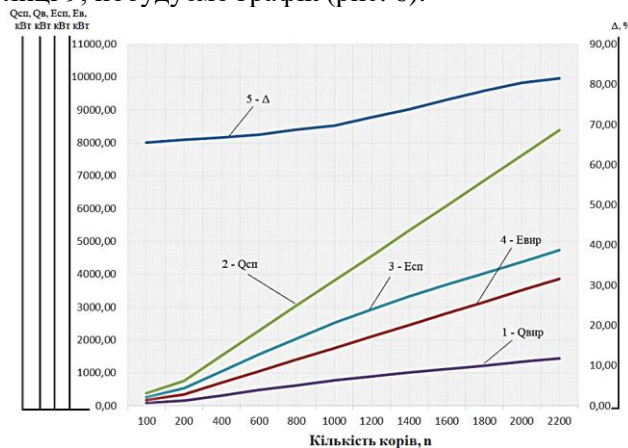
де  $Q_{сп}$  – обсяги споживання теплової енергії на фермі

Таблиця 9

**Виробництво та споживання електроенергії, відсоток покриття електроенергії, і виробництво та споживання теплової енергії на тваринницьких фермах за рахунок біогазу в діапазоні 100 – 2200 корів**

Кількість ВРХ, n	Кількість електроенергії, яка залишається на потреби ферми, $E_{вир}$ кВт/год	Споживання електроенергії $E_{сп}$ кВт/год	Відсоток покриття електроенергії, $\Delta_{покр}$ , %	Вироблено теплової енергії, $Q_{вир}$ кВт	Споживання теплової енергії, $Q_{сп}$ кВт
100	175,63	267,99	65,53	381,11	82,01
200	351,25	530,69	66,19	762,21	162,30
400	702,50	1051,22	66,83	1524,43	320,77
600	1053,75	1560,75	67,52	2286,64	476,25
800	1405,00	2045,07	68,70	3048,85	628,92
1000	1756,25	2518,82	69,73	3811,06	771,18
1200	2107,50	2935,23	71,80	4573,28	895,16
1400	2458,75	3331,71	73,80	5335,49	1019,49
1600	2810,00	3689,05	76,17	6097,70	1126,94
1800	3161,25	4030,21	78,44	6859,91	1229,90
2000	3512,50	4370,6	80,37	7622,13	1334,40
2200	3863,75	4736,18	81,58	8384,34	1446,82

На основі даних із таблиці 9, побудуємо графік (рис. 6).



**Рис. 6. Виробництво та споживання електроенергії, і виробництво та споживання теплової енергії на тваринницьких фермах за рахунок біогазу в діапазоні 100 – 2200 корів**



Пояснення до (Рис. 6.):

крива 1 ( $Q_{\text{вир}}$ ) – Кількість споживання теплової енергії на тваринницьких фермах;

крива 2 ( $Q_{\text{сп}}$ ) – кількість виробленої теплової енергії за рахунок біогазу;

крива 3 ( $E_{\text{сп}}$ ) – потрібна кількість споживання електроенергії для ферми;

крива 4 ( $E_{\text{вир}}$ ) – виробництво електроенергії за рахунок біогазу;

крива 5 ( $\Delta_{\text{покр}}$ ) – відсоток покриття споживання електроенергії на фермах в залежності від кількості корів.

На графіку показано, що в залежності від кількості корів, кількість споживання теплової енергії на тваринницьких фермах (крива 1); кількість виробленої теплової енергії за рахунок біогазу (крива 2), потрібна кількість споживання електроенергії для ферми (крива 3), виробництво електроенергії за рахунок біогазу (крива 4).

Із графіку видно, що від кількості тварин рівень покриття електроенергії змінюється від 65 до 81%. Таким чином в діапазоні 100 – 2200 корів, покриття буде складати 65 – 81%.

Отже, було визначено, що на фермах ВРХ споживання теплової енергії знаходиться в межах 23,38 – 23,52%. Із використанням когенерації можна знизити споживання електроенергії, використовуючи теплову енергію когенерації. В результаті покриття споживання електроенергії на тваринницьких фермах в діапазоні 100 – 2200 корів складе 65 – 81%.

## 5. Висновки та пропозиції

В даній роботі встановлено необхідну кількість електроенергії для функціонування тваринницьких ферм ВРХ та визначено відсоток покриття електроенергії за рахунок біогазу, який виробляється із гною ВРХ, на підставі порівняння різних типів генераторів завдяки яким можна виробляти електроенергію використовуючи газ. Визначено, що в залежності від розміру тваринницьких ферм (100 – 2200 корів) відсоток покриття електроенергії за рахунок біогазу складає від 50% до 62%.

Використовуючи когенерацію, для отримання електричної та теплової енергії на фермах можна досягти показника рівня енергозабезпечення за рахунок біогазу в діапазоні 100 – 2200 корів у 65 – 81%.

## Список використаних джерел

1. Марцинкевич В., Коломієць Н. Поводження з відходами тваринництва: переваги технології анаеробного зброджування. Київ, 2015. 20 с.
2. Ферми України. *Milkua.info*: веб-сайт. URL: <http://milkua.info/uk/post/section/ukrainian-farms> (дата звернення: 12.10.2020).
3. Відомчі норми технологічного проектування. Скотарські підприємства (комплекси, ферми, малі ферми). Київ Міністерство аграрної політики України, 2005. 111 с. (Стандарт Мінагрополітики України)
4. Калетнік Г. М. Біопаливо. Продовольча, енергетична та екологічна безпека України : монографія. Київ : Хай-Тек Прес, 2010. 516 с.
5. Технологія виробництва продукції тваринництва / за ред. О.Т. Бусенко. Київ: «Агроосвіта», 2013. 492 с.
6. Середньодобовий вихід екскрементів від однієї голови. Studfile веб-сайт. URL: <https://studfile.net/preview/4395294/page:19/>
7. Отримання біогазу та органічних добрив при анаеробній ферментації. Отримання біогазу веб-сайт. URL: <https://sites.google.com/site/otrimannabiogazu/otrimanna-biogazu>
8. Газовий електрогенератор NPT 50 GFT. Укравтономгаз: веб-сайт. URL: <https://ukravtonomgaz.com.ua/catalog/gazoviy-elektrogenerator-npt-50-gft-50-kvt-625-kva-na-palivi-lpg-ng>
9. Газові генератори Generac. Generac веб-сайт. URL: <http://generac.ua/uk/92-gazovi>
10. Когенераційна газова установка (міні-теп) POWERLINK GSC20S-NG. Дизельні генератори: веб-сайт. URL: <https://dizelnye-generatory.com/gazoporshnevye-elektrostantsii/powerlink-gsc20s-ng/>
11. Когенераційна газова установка (міні-теп) POWERLINK VCG30S-NG. Дизельні генератори: веб-сайт. URL: <https://dizelnye-generatory.com/gazoporshnevye-elektrostantsii/powerlink-vcg30s-ng/>
12. Когенераційна газова установка (міні-теп) POWERLINK GXC50-NG. Дизельні генератори: веб-сайт. URL: <https://dizelnye-generatory.com/gazoporshnevye-elektrostantsii/powerlink-gxc50-ng/>
13. Чернявський С. Є. Енергозабезпечення тваринницьких ферм за рахунок біогазу. *Проблеми та шляхи інтенсифікації виробництва продукції тваринництва*: матеріали міжнародної науково-практичної конф. Дніпро: Бюлетень Інституту сільського господарства степової зони НААН України, 2015. С. 128–133.



14. Стаднік М. І. Оптимізація складу генеруючого обладнання автономного енергопостачання тваринницької ферми при використанні біогазу. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*, 2018. №2(101). С. 81–88.
15. Тристан Р. В. Розрахунки щодо автономного енергозабезпечення фермерського господарства. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали І Міжнародної науково-практичної Інтернет-конференції 01-24 квітня 2020 р. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. 465–467 с.*
16. Павленко В. А., Сидоренко Я. Г., Фененко А. І. Технологічний процес молочних ферм і комплексів: довідник. Київ, 1977. 132 с.
17. Стаднік М. І., Гунько І. В., Проценко Д. П. Автономне електропостачання тваринницької ферми на базі відновлюваних джерел енергії. *Техніка, енергетика, транспорт АПК. Вінниця: ВНАУ. 2020. № 1 (108). С. 134–141.*
18. Носов Ю. М. Проектування технологічних процесів у тваринництві та птахівництві: навч. посіб. Львів: «Новий Світ – 2000», 2014. 500 с.

### References

- [1] Martsynkevych, V., & Kolomiyets, N. (2015). *Povodzhennya z vidkhodamy tvarynnytstva: perevaly tekhnolohiyi anaerobnoho zbrodzhuvannya*. [Livestock waste management: advantages of anaerobic fermentation technology]. Kyiv: National Ecological Center of Ukraine (NECU) [in Ukrainian].
- [2] Sait Fermy Ukrayiny [Site of the Farm of Ukraine] [milkua.info/uk/post/section/uk\\_rainian-farms](http://milkua.info/uk/post/section/uk_rainian-farms) Retrieved from [http://milkua.info/uk/post/section/uk\\_rainian-farms](http://milkua.info/uk/post/section/uk_rainian-farms) [in Ukrainian].
- [3] *Vidomchi normy tekhnolohichnoho proektuvannya. Skotars'ki pidpryyemstva (kompleksy, fermy, mali fermy)* (2005). [Departmental standards of technological design. Livestock enterprises (complexes, farms, small farms)]. Kyiv: Ministry of Agrarian Policy of Ukraine. [in Ukrainian].
- [4] Kaletnik, H. M. *Biopalyvo. Prodovol'cha, enerhetychna ta ekonomichna bezpeka Ukrayiny*: (2010), [Food, energy and economic security of Ukraine]. Monohrafiya. Kyiv: Khay-Tek Pres [in Ukrainian].
- [5] Busenko, O.T., Skotsyk, V.S., Matsepko, M.I. et al. (2013). *Tekhnolohiya vyrobnytstva produktsiyi tvarynnytstva: pidruch* Kyiv: «Ahrosvita». [Animal Husbandry Products Production and Processing]. [in Ukrainian].
- [6] Seredn'odobovij vikhi'd ekskrementi'v vi'd odni'yeyi golovi. Studfile veb-sajt. URL: <https://studfile.net/preview/4395294/page:19/> [in Ukrainian].
- [7] Sait Otrymannya biohazu [Site of biogas production]. [studfile.net/preview/4395294/page:19/](https://studfile.net/preview/4395294/page:19/). Retrieved from <https://studfile.net/preview/4395294/page:19/> [in Ukrainian].
- [8] Sait Hazovyy elektrohenerators NPT 50 GFT [Site Gas NPT 50 GFT electric generator]. [ukravtonomgaz.com.ua/catalog/gazoviy-elektrohenerators-npt-50-gft-50-kvt-625-kva-na-palivi-lpg-ng](https://ukravtonomgaz.com.ua/catalog/gazoviy-elektrohenerators-npt-50-gft-50-kvt-625-kva-na-palivi-lpg-ng). Retrieved from <https://ukravtonomgaz.com.ua/catalog/gazoviy-elektrohenerators-npt-50-gft-50-kvt-625-kva-na-palivi-lpg-ng> [in Ukrainian].
- [9] Sait Hazovi heneratory Generac [Site Generac gas generators]. [generac.su/files/documentation/catalogs/catalog-gaz-generac.pdf](http://generac.su/files/documentation/catalogs/catalog-gaz-generac.pdf). Retrieved from <http://generac.su/files/documentation/catalogs/catalog-gaz-generac.pdf> [in Russian].
- [10] Koheneratsiyna hazova ustanovka (mini-tets) Powerlink GSC20S-NG [Cogeneration gas installation (mini CHP) Powerlink GSC20S-NG]. [dizelnye-generatory.com/gazoporshnevye-elektrostantsii/powerlink-gsc20s-ng/](https://dizelnye-generatory.com/gazoporshnevye-elektrostantsii/powerlink-gsc20s-ng/). Retrieved from <https://dizelnye-generatory.com/gazoporshnevye-elektrostantsii/powerlink-gsc20s-ng/> [in Ukrainian].
- [11] Koheneratsiyna hazova ustanovka (mini-tets) Powerlink VCG30S-NG [Cogeneration gas installation (mini CHP) Powerlink VCG30S-NG]. [dizelnye-generatory.com/gazoporshnevye-elektrostantsii/powerlink-vcg30s-ng/](https://dizelnye-generatory.com/gazoporshnevye-elektrostantsii/powerlink-vcg30s-ng/). Retrieved from <https://dizelnye-generatory.com/gazoporshnevye-elektrostantsii/powerlink-vcg30s-ng/> [in Ukrainian].
- [12] Koheneratsiyna hazova ustanovka (mini-tets) Powerlink GXC50-NG [Cogeneration gas installation (mini CHP) Powerlink GXC50-NG]. [dizelnye-generatory.com/gazoporshnevye-elektrostantsii/powerlink-gxc50-ng/](https://dizelnye-generatory.com/gazoporshnevye-elektrostantsii/powerlink-gxc50-ng/) Retrieved from <https://dizelnye-generatory.com/gazoporshnevye-elektrostantsii/powerlink-gxc50-ng/> [in Ukrainian].
- [13] Chernyavs'kyi, S. YE., Sokrut, O. V. (2015). Enerhozabezpechennya tvarynnyts'kykh ferm za rakhunok biohazu [Energy supply of livestock farms at the expense of biogas]. Bulletin of the Institute of Agriculture of the steppe zone of NAAS of Ukraine. [in Ukrainian].
- [14] Stadnik, M. I. (2018). Optyimizatsiya skladu heneruyuchoho obladnannya avtonomnoho enerhopostachannya tvarynnyts'koyi fermy pry vykorystanni biohazu. [Optimization of the composition of generating equipment for autonomous energy supply of a livestock farm using biogas].



- Engineering, energy, transport of agro-industrial complex [in Ukrainian].
- [15] Trystan, R.V., Boltyans'kyi, B.V. (2020). Rozrakhunky shchodo avtonomnoho enerhozabezpechennya fermers'koho hospodarstva: [Calculations for autonomous energy supply of the farm]: materials I Melitopol International. scientific-practical Internet conferences [in Ukrainian].
- [16] Pavlenko, V.A., Sydorenko, YA.H., Fenenko, A.I. et al. (1977) Tekhnolohichnyy protses molochnykh ferm i kompleksiv [Technological process of dairy farms and complexes] Kyiv Urozhay [in Ukrainian].
- [17] Stadnik, M.I., Hun'ko, I.V., Protsenko, D.P. (2020). Avtonomne elektropostachannya tvarynnyts'koyi fermi na bazi vidnovlyuvanykh dzherel enerhiyi [Autonomous power supply of a livestock farm on the basis of renewable energy sources] Machinery, energy, transport of agro-industrial complex. Vinnytsia: VNAU., [in Ukrainian].
- [18] Nosov, YU.M. (2019). Proektuvannya tekhnolohichnykh protsesiv u tvarynnyts'tvi ta ptakhivnyts'tvi [Nosov Yu.M. Design of technological processes in animal husbandry and poultry] Lviv: "New World - 2000" [in Ukrainian].

### УРОВЕНЬ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ФЕРМ ЗА СЧЕТ БИОГАЗА

*В Украине есть незадействованный потенциал для производства собственной энергии из возобновляемых источников - переработка отходов животноводства (навоза животных и помета птиц) с образованием биогаза, который затем можно использовать для производства электроэнергии, тепла или топлива - аналогов природного газа (метана) (в частности, для собственных потребностей фермерских хозяйств).*

*Сейчас в Украине образованию большого количества отходов на промышленных фермах - это экологическая проблема, которая требует решения. Переработка отходов животноводства с образованием биогаза позволит частично решить экологические проблемы, а также получить преимущества в виде децентрализованного производства возобновляемой энергии или производства топлива.*

*Роль возобновляемых источников энергии в производстве энергии постоянно растет и сейчас актуален вопрос увеличения доли возобновляемых источников в энергобалансе каждой отдельной страны. В поставке первичной энергии на долю возобновляемой энергетики приходится 13% в мировом масштабе. Из них на биомассу приходится 10%, или 258 млн. Тонн в год, то есть в мире биомасса обеспечивает наибольшую долю поставок энергии из возобновляемых источников.*

*Отечественные аграрные предприятия, являются значительными потребителями топливно-энергетических ресурсов поэтому перед ними встает объективная необходимость использования альтернативных источников энергии в т.ч. биологических видов топлива и внедрения инновационных энергосберегающих технологий. Производство биогаза является эффективной и инвестиционно привлекательной технологией, что обусловлено наличием значительного сырьевого потенциала, благоприятными природно-климатическими и прочее. Однако уровень внедрения этого вида энергии в АПК недостаточно, что связано с рядом вопросов, в том числе с недостаточным уровнем практических рекомендаций по выбору мощностей генераторов электрической энергии, их количества, режимов работы с учетом суточного графика потребления энергии, загрузки и оптимальным КПД установок при обеспечении автономного питания предприятия.*

*В этой работе определен уровень энергообеспечения животноводческих ферм за счет использования биогаза установок источником энергии, которых используются отходы животноводства.*

**Ключевые слова:** биогаз, уровень генерации, исследования, фермерское хозяйство, уровень энергообеспечения, когенерация, биомасса, газовый генератор.

**Ф. 16. Рис. 6. Табл. 9. Лит. 18.**

### LEVEL OF ENERGY SUPPLY OF ANIMAL FARMS FROM USING BIOGAS

*Ukraine has untapped potential for the production of own energy from renewable sources - processing of livestock waste (animal manure and bird droppings) with the formation of biogas, which can then be used to produce electricity, heat or fuel - analogues of natural gas (methane) (in particular, for own needs of farms).*

*Currently in Ukraine, the generation of large amounts of waste on industrial farms is an environmental problem that needs to be addressed. Recycling livestock waste to generate biogas will partially solve environmental problems, as well as benefit from decentralized renewable energy production or fuel production.*



*The role of renewable energy sources in energy production is constantly growing and now the issue of increasing the share of renewable sources in the energy balance of each country is relevant. In the supply of primary energy, the share of renewable energy accounts for 13% worldwide. Of these, biomass accounts for 10%, or 258 million tons per year, ie in the world biomass provides the largest share of energy supply from renewable sources.*

*Domestic agricultural enterprises are significant consumers of fuel and energy resources, so they face the objective need to use alternative energy sources, including biofuels and the introduction of innovative energy-saving technologies. Biogas production is an efficient and attractive investment technology, due to the presence of significant raw material potential, favorable climatic and other. However, the level of introduction of this type of energy in the agro-industrial complex is insufficient, which is due to a number of issues, including insufficient level of practical recommendations for choosing power generators, their number, modes of operation taking into account daily energy consumption schedule, load and optimal efficiency. installations while providing autonomous power supply of the enterprise.*

*This paper determines the level of energy supply of livestock farms through the use of biogas plants as a source of energy used for livestock waste.*

**Key words:** *Biogas, generation level, research, farm, energy supply level, cogeneration, biomass, gas generator*

**F. 16. Pic. 6. Table. 9. Ref. 18.**

#### **ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ**

**Стаднік Микола Іванович** д.т.н. професор кафедри «Електроенергетики, електротехніки та електромеханіки» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, [stadnik1948@gmail.com](mailto:stadnik1948@gmail.com)).

**Штуць Андрій Анатолійович** – асистент кафедри «Електроенергетики, електротехніки та електромеханіки» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, email: [shtuts1989@gmail.com](mailto:shtuts1989@gmail.com)).

**Пилипенко Олександр Васильович** – магістрант Вінницького національного аграрного університету, за спеціальністю «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» ( вул. Сонячна 3, 21008 Україна, email: [scream80218@gmail.com](mailto:scream80218@gmail.com))

**Стадник Николай Иванович** – д.т.н. профессор кафедры «Электроэнергетики, электротехники и электромеханики» Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, 21008, Украина, [stadnik1948@gmail.com](mailto:stadnik1948@gmail.com)).

**Штуць Андрей Анатольевич** – ассистент кафедры «Электроэнергетики, электротехники и электромеханики» Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, 21008, Украина, email: [shtuts1989@gmail.com](mailto:shtuts1989@gmail.com)).

**Пилипенко Александр Васильевич** – магистрант Винницкого национального аграрного университета, по специальности «Электроэнергетика, электротехника и электромеханика» (ул. Солнечная, 3, г. Винница, 21008, Украина, email: [scream80218@gmail.com](mailto:scream80218@gmail.com))

**Stadnik Mykola** – Doctor of Technical Sciences, Full Professor of the Department of Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics, Vinnytsia National Agrarian University (3 Sunny Street, Vinnytsia, 21008, Ukraine, email: [stadnik1948@gmail.com](mailto:stadnik1948@gmail.com)).

**Andrii Shtuts** – Assistant Professor, Department of Electric Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics, Vinnitsa National Agrarian University (3, Solnechna str., Vinnitsa, 21008, Ukraine, email: [shtuts1989@gmail.com](mailto:shtuts1989@gmail.com)).

**Pylypenko Oleksandr** – undergraduate of Vinnytsia National Agrarian University, specialty Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics, (3 Sunny Street, Vinnytsia, 21008, Ukraine, email: [scream80218@gmail.com](mailto:scream80218@gmail.com)).