



DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-1-12

УДК 621.311.1(477)

С. М. Дудніков<sup>1</sup>, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0002-6949-4990

K. Markowska<sup>2</sup>, PhD

ORCID: 0000-0003-2184-1995

Т. Г. Щур<sup>3</sup>, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0003-0205-032X

О. А. Савченко<sup>1</sup>, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0002-6401-0852

І. М. Трунова<sup>1</sup>, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0001-7510-4291

А. І. Середа<sup>1</sup>, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0002-7670-6822

С. В. Галько<sup>4</sup>, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0001-7991-0311

В. Г. Пазій<sup>1</sup>, ст. викладач

ORCID: 0000-0002-7336-0854

С. А. Попадченко<sup>1</sup>, ст. викладач

ORCID: 0000-0003-2537-9769

<sup>1</sup> Державний біотехнологічний університет<sup>2</sup> Silesian University of Technology<sup>3</sup> Cyclone Manufacturing Inc.<sup>4</sup> Таврійський державний агротехнологічний університет імені

Дмитра Моторного

e-mail: dydnikov@btu.kharkov.ua, тел.: +380966068631

## АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВ ФУНКЦІОНУВАННЯ БІОЕНЕРГЕТИЧНОГО ПОТЕНЦІАЛУ В СИСТЕМАХ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ УКРАЇНИ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ЕНЕРГЕТИЧНОГО БАЛАНСУ

*Анотація.* В роботі запропоновано в якості високоманеврових акумуляторів об'єднаної енергетичної системи України використовувати біогазові установки. Показники енергетичної ефективності запропонованих заходів виконано на основі аналізу енергетичних балансів, які побудовані шляхом обробки середньостатистичних обсягів енергетичних втрат та витрат у біогазових установках. Баланси в даному випадку є основою для визначення технічних та економічних рішень, обґрунтування конкурентоспроможності запропонованої системи енергопостачання. Відповідний підхід пропонується використовувати на етапах формалізації технічного завдання, що дозволяє обґрунтувати рішення щодо побудови чи вдосконалення запропонованої системи енергопостачання.

*Ключові слова:* енергетичний баланс, комбінована система енергопостачання, відновлені джерела, енергетична ефективність, локальна система електропостачання, енергія.

*Постановка проблеми.* На фоні високих темпів зростання генерації відновлюваної енергії, насамперед вітрових (ВЕУ) та сонячних (СЕС) електростанцій, зростає потреба в балансуванні їх змінної потужності в складі об'єднаної енергетичної системи України,



що забезпечує стабільність її роботи [1-4]. У разі інтеграції в енергосистему потужних відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) постає проблема забезпечення як статичної, так і динамічної стійкості режимів роботи енергосистеми [5-7]. Так, у разі збільшення частки ВДЕ в загальному енергетичному балансі вже понад 2%, сучасні мережі вже технічно не в змозі справлятися з піками генерації та перетоків, викликають потребу в інфраструктурних змінах, модернізації та реконструкції самих мереж [8]. ВДЕ опосередковано впливають на амортизаційні властивості системи, спричиняючи, зокрема, втрату стійкості та зниження запасів стійкості (зменшення критичного часу відключення при коротких замиканнях (КЗ); збільшення якості перехідних процесів (збільшення кутів відхилення роторів генераторів і зменшення демпфування) [6, 7, 9, 10].

Сьогодні, наприклад, розвиток вітроелектростанцій передбачає інтеграцію великої кількості вітрових турбінних електростанцій багатьох країн світу [10, 11]. Для цієї централізованої системи енергопостачання має стати «гнучкою», що зумовлює прийняття рішення ряду важливих науково-технічних питань. Одним із варіантів вирішення відповідної проблеми є використання біогазових установок (БГУ) як маневреної сили для ВЕС і СЕС. Отриманий біогаз, придатний до тривалого зберігання, може бути використаний для забезпечення стійкості роботи об'єднаної енергетичної системи України або на власні потреби споживача. Таким чином, на першому етапі формалізації необхідно провести дослідження перспектив використання БГУ в системі централізованого енергопостачання та обґрунтувати його конкурентоспроможність.

*Аналіз останніх досліджень.* Сучасна політика Європейського Союзу (ЄС) спрямована на утвердження сталого економічного розвитку, який включає соціальну, економічну та екологічну складову. Збільшення кількості відновлюваних джерел енергії, які підтверджують безпеку енергосистеми, мінімізація використання вугілля у виробництві електроенергії та скорочення шкідливих викидів є одними з основних заходів у процесі сталого розвитку енергетики. Цей принцип має велике значення для економіки та соціального добробуту держав-членів ЄС.

Поєднання цих принципів відображено в Європейській зеленій угоді. У грудні 2019 року Єврокомісія представила дорожню карту заходів, спрямованих на перехід до кліматично нейтральної економіки. Однією з головних цілей цієї стратегії є досягнення нульового рівня викидів вуглекислого газу до 2050 року. Необхідно оптимізувати роботу паливно-енергетичного комплексу, а також зменшити залежність від імпортованих корисних копалин. Окрім енергетичного сектора, зміни мають охопити такі сектори: транспорт,

сільське господарство, будівництво, харчова та хімічна промисловість [12]. Основні моменти цієї стратегії зображено на рисунку 1.



Рис. 1. Основні цілі Європейської зеленої угоди

Досягнення цих цілей є проблемою навіть для країни з високорозвиненою економікою. Але відповідно до Договору про функціонування ЄС, розробка та реалізація енергетичних стратегій є компетенцією кожної держави окремо.

У країнах ЄС за останні роки спостерігається зростання обсягів переробки органічних відходів. Станом на кінець 2021 року в Європі було 1067 біометанових заводів (рис. 2).



Рис. 2. Кількість біометанових заводів в Європі

Це на 184 одиниці більше, ніж у 2020 році. Відповідно, це робить 2021 рік найбільшим зростанням кількості біометанових установок. За



даними «ЕВА», до вересня 2022 року вже було запущено 155 нових біометанових установ.

Загальний обсяг виробництва біогазу та метану в Європі на рівні 2021 року склав 196 ТВт·год , або 18,4 млрд. м<sup>3</sup>. Це 4,5% споживання газу Євросоюзом на рівні 2021 року (рис. 3).

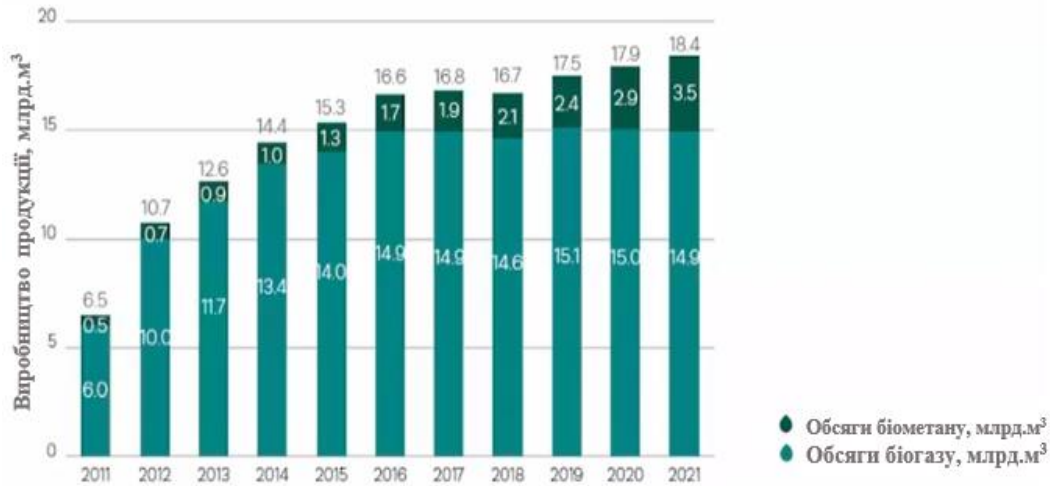


Рис. 3. Сукупне виробництво біогазу та біометану

Як бачимо з даних, які наведені на рисунку 3, виробництво біометану зростає, на відміну від виробництва біогазу. У 2021 році відбувся найбільший річний приріст на 6,1 ТВт -год або 0,6 млрд. м<sup>3</sup>. Загальний обсяг виробництва біометану в 2021 році склав 37 ТВт , або 3,5 млрд. м<sup>3</sup>.

Відомо, що 58% біометанових установ, які зараз працюють в Європі, підключені до розподільної газової мережі, 19% - до транспортної газової мережі, 9% європейських біометанових заводів працюють в автономному режимі, а про решту 14% у базі «ЕВА» інформації немає (рис. 4).

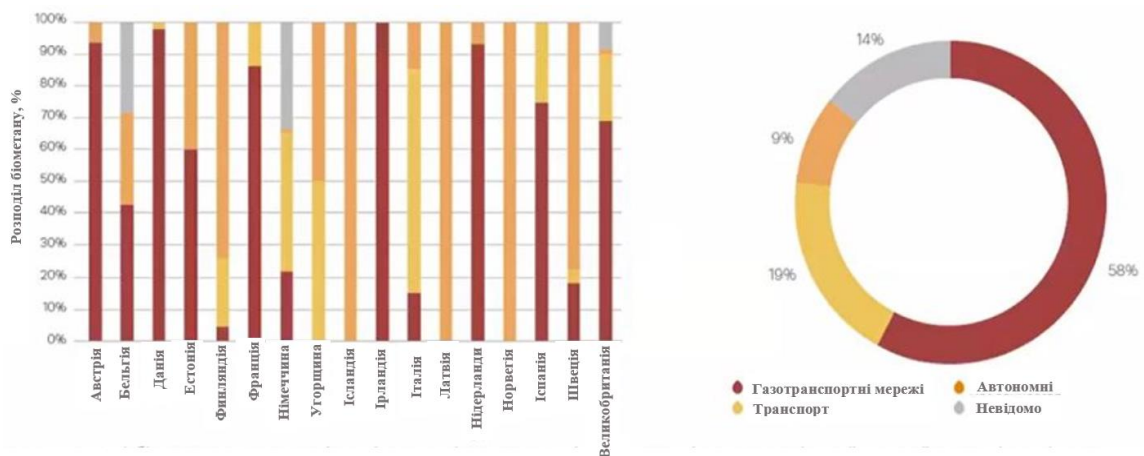


Рис. 4. Підключення до мережі природного газу

За даними консорціума «Gas for Climate» відмічаються майбутні перспективи вироблення біометану з покривних культур, що передбачає для цього збільшення площі рілля на 20% для кожного регіону. Так в середньому 10% від запланованого може бути реалізовано до 2030 року (65% для Італії, 20% для Франції та Німеччини) і 100% до 2050 року (рис. 5).



Рис. 5. Структура потенціалу виробництва біометану в Європі

В Україні за даними UABIO потенціал виробництва біогазу (біометану) становить близько 10 млрд м<sup>3</sup>/рік (таблиця 1). Планується збільшення обсягу біогазу за рахунок покривних культур до рівня 2050 року понад 20 млрд м<sup>3</sup>/рік.

Таблиця 1

Біогаз/біометан виробничий потенціал в Україні в 2021\* та 2050 роках

БІОГАЗ/БІОМЕТАН, млрд м <sup>3</sup> /рік	2021 р.	2050 р.
Біогаз від тварини (відходи)	0,83	0,9
Біогаз з поживних залишків сільськогосподарських культур	4,36	5,2
Біогаз із побічних продуктів харчової промисловості	0,66	0,7
Біогаз з твердих побутових відходів	0,53	0,5
Біогаз з осадних вод (міські очисні споруди)	0,07	0,1
Енергетичні рослини: біогаз з кукурудзяного силосу (з 1 млн га)	3,00	3,8
Біогаз з покривних культур (20% ріллі)	0,00	9,8
Біогаз з БМ, отриманий шляхом термічної газифікації (10%)	0,00	1,0
<b>БІОГАЗ/БІОМЕТАН, заг</b>	<b>9,45</b>	<b>21,8</b>

\* оцінка зроблена на основі технічно доступної сировини

Відповідні обсяги видобутого біометану значно підвищують рівень енергетичної незалежності України, що є переконливою базою розвитку вважатися перспективним у відповідній галузі. Але використання біогазових та біометанових споруд викликає протирічні судження щодо їх конкурентоспроможності існуючим централізованим системам енергопостачання, що потребує додаткових досліджень та рекомендацій.



*Постановка завдання.* Обґрунтування перспектив функціонування біоенергетичних комплексів в складі об'єднаної енергетичної системи України на основі аналізу енергетичного балансу.

*Основна частина.* Розглянемо технологічний процес біоенергетичного комплексу (БЕК) у складі об'єднаної енергетичної системи України. Основним пристроєм БЕК для переробки органічних відходів є біогазова установка (БГУ). Технологічний процес роботи БГУ буде поділено на сферу діяльності:  $V$  - сфера підготовки органічних відходів до використання (подрібнення, зволоження, завантаження тощо);  $F$  - виробництво біогазу та органічних добрив з органічних відходів у біореакторі та розподіл біогазу для подальшого перетворення в електричну або теплову енергію;  $F'$  - перетворення енергії біогазу в механічну, а потім в електричну (дизельні електростанції, що працюють на біогазі);  $L$  - розподіл електричної енергії споживачам;  $S$  - перетворення електричної або теплової енергії в інші види [13-15].

Блокова система рівня енергетичного балансу ВЕС для виробництва біогазу, електроенергії, теплової енергії та добрив має такий вигляд:

$$\begin{array}{l}
 \text{Сф. } V \quad A_{\text{бм}} = \alpha B_{\text{орг.}} + \gamma V_{\text{в}} + \mu \sum Q_{\text{мен}} + \alpha W_{\text{ен}}; \\
 \text{Сф. } S \quad \quad \quad G_{\text{д}} = \sum_1^n q_p + \Delta Q_{\text{мд}} + \Delta V_{\text{мп}}; \\
 \quad \quad \quad \downarrow \quad \quad \quad \uparrow \\
 \text{Сф. } F \quad B_{\text{орг.}} = \sigma N_{\text{бг}} + \xi G_{\text{д}}; \\
 \text{Сф. } S \quad \quad \quad \Delta Q_{\text{м}} = \sum_1^n Q_y + \Delta Q_{\text{мп}}; \quad (16) \\
 \quad \quad \quad \downarrow \quad \quad \quad \uparrow \quad \quad \quad (1) \\
 \text{Сф. } F' \quad N_{\text{бг}} = W + \Delta \mu Q_{\text{м}}; \\
 \quad \quad \quad \downarrow \\
 \text{Сф. } L \quad \quad \quad W = \sum_1^{n+m} W_y + \Delta W; \\
 \quad \quad \quad \downarrow \\
 \text{Сф. } S \quad \quad \quad \sum_1^{n+m} W_y = \sum_1^n B_{\text{уз}} + \sum_1^m C_{\text{к.у.}} + \sum_1^{n+m} \Delta W_S;
 \end{array}$$

де  $A_{\text{бм}}$  – енергія, що міститься в об'ємі метантенку і підготовлена до зброджування органічної маси;

$B_{\text{орг.}}$  – енергія з органічних відходів;



$V_e$  – енергія води, яка витрачається на подачу для створення умов для масового бродіння;

$\sum Q_{мен}$  – теплова енергія для власних потреб, необхідна для створення та підтримувального температурного режиму розведення (у режимі запуску БЕК теплова енергія споживається від зовнішнього джерела; у режимі роботи – від власного);

$W_{ен}$  – електроенергія для власних потреб роботи БЕК, яка необхідна для енергопостачання системи керування механізмами БГУ (перемішування, подрібнення, завантаження та вивантаження органічної маси, доведення вологості органічних відходів до (92... 96)%, заповнення водяних теплоакумуляторів тощо);

$N_{бг}$  – енергія біогазу, отримана в результаті дії метаноутворюючих бактерій і яка може бути використана в технологічному процесі перетворення в електричну або теплову енергію;

$G_d$  – енергія, що міститься в добриві;

$\sum_1^n q_p$  – енергія добрива, яка після внесення концентрується в рослинах і підставі, що отримана гноєм в результаті дії кислото- та метаноутворюючих бактерій:

$$\sum_1^n q_p = B_{орг} + B_{мб}, \quad (2)$$

$\Delta U_{тр}$  – енергія, витрачена на транспортування добрив і внесення їх у обґрунтування;

$W$  – електрична енергія, отримана після перетворення енергії біогазу в теплову та механічну в двигуні внутрішнього згоряння місцевої електростанції;

$\Delta Q_{мп}$  – втрати теплової енергії при виробництві електричної енергії двигунами внутрішнього згоряння, яка може бути спрямована через систему регенерації на споживачів тепла та власні потреби;

$\sum_1^n Q_y$  – прилади споживання теплової енергії;

$\Delta Q_{md}$  – втрати теплової енергії при вивантаженні добрив;

$\Delta Q_m$  – обсяги теплової енергії, виробленої двигунами внутрішнього згоряння місцевої електростанції;

$\Delta W$  – втрати електроенергії в генераторах та системах передачі;

$\xi, \gamma, \beta, \alpha, \mu, \sigma$  – коефіцієнти переведення в розрахункову одиницю енергії, кВт·год.

Блочна система рівнянь (1), яка розкриває побудову структури БЕК, подібна до структурної схеми централізованої системи енергопостачання. Вона включає всі сфери діяльності ( $V, F, F', L, S$ ), але потужність, дальність передачі та кількість перетвореної енергії тут значно менші.

За результатами практичного досвіду використання БГУ [16, 17], на рис. 6 наведено її узагальнений енергетичний баланс.

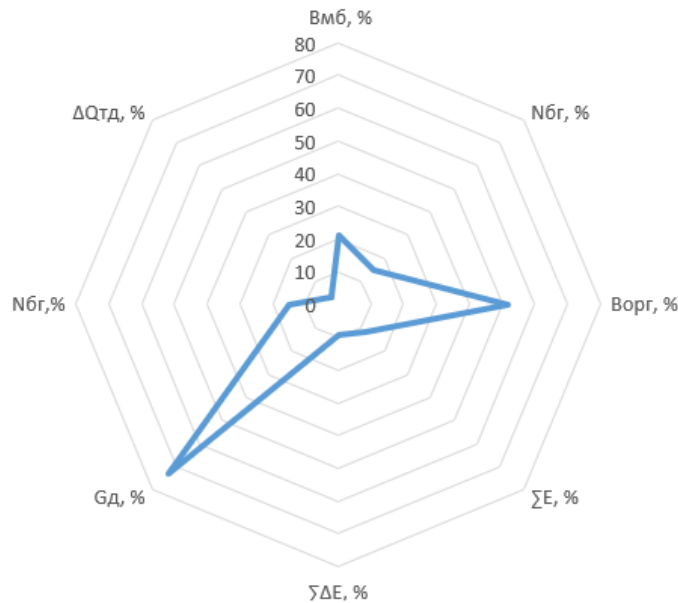


Рис. 6. Узагальнений енергетичний баланс БГУ, де:

$\sum E$  – загальні витрати теплової та електричної енергії на забезпечення технологічного процесу БГУ;

$\sum \Delta E$  – загальні втрати та витрати електричної та теплової енергії при використанні БГУ.

З урахуванням загального енергетичного балансу БГУ (рис. 6), системи рівнянь (1) та аналізу літературних джерел [16], обґрунтовуємо значення коефіцієнта використання енергії (КВЕ):

– для сфери діяльності  $V$ , за умови створення самопливної системи утилізації гною, буде близьким до одиниці;

– для сфери діяльності  $F$  БГУ - 0,91;

– загальний для сфери діяльності  $F'$  (біогазова дизельна електростанція) – 0,16;

– за умов невеликої відстані до споживачів сфера діяльності  $L$  наближається до 1;

– для сфери діяльності  $S$ , перетворення виробленої енергії в інший вид, візьмемо середнє значення - 0,8.





Кількісна оцінка КВЕ (без урахування енергетичних добрив) за усередненими статистичними показниками процесу виробництва електроенергії на БГУ буде в межах значення:

$$\begin{aligned} K_{БГУe} &= K_V \cdot K_F \cdot K_{F'} \cdot K_L \cdot K_S = \\ &= 0,99 \cdot 0,91 \cdot 0,16 \cdot 1 \cdot 0,8 = 0,115 \quad , \end{aligned} \quad (3)$$

при виробництві теплової енергії

$$\begin{aligned} K_{БГУm} &= K_V \cdot K_F \cdot K_{F'} \cdot K_L \cdot K_S = \\ &= 0,99 \cdot 0,91 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 0,8 \approx 0,58 \end{aligned} \quad (4)$$

Таким чином, виробництво теплової та електричної енергії локальними системами можна порівнювати з централізованими ТЕС і котельнями. Але для віддалених споживачів і підприємств агропромислового комплексу застосування БЕК підвищить надійність і незалежність енергопостачання, що особливо актуально під час військової агресії, покращить стан навколишнього середовища.

Відомо, що впровадження пристроїв перетворення енергії від ВДЕ в інший вид значно ускладнюється через високу вартість акумуляторних батарей [18-20]. Використання реактора БГУ як акумуляторної батареї для інших ВДЕ може значно знизити вартість такої системи електропостачання. Біогаз, на відміну від інших ВДЕ, може дешево та довго зберігатися та бути використаним споживачем у будь-який час.

Тому споживач шукає способи в отриманні якомога більших обсягів товарного біогазу.

Відповідно до рис. 6 встановлено, що близько 73% енергетичних ресурсів БГУ міститься в біомасі. Узагальнений КВЕ БГУ знаходиться на рівні 90% за умови корисного використання теплової енергії  $\Delta Q_{md}$ .

Ефективний вихід товарного біогазу становить:

$$N_{\text{бгт}} = N_{\text{бг}} - \sum E = 15\% - 12\% = 3\% \quad (5)$$

Використання інших ВДЕ для підтримання технологічного процесу БГУ повинен відповідати обсягам  $\sum E$ , що дає можливість використовувати весь вироблений біогаз ( $N_{\text{бг}}$ ) як товарний біогаз ( $N_{\text{бгт}}$ ). Такий підхід дозволить збільшити обсяги товарного біогазу з 3% до 15%, тобто до 5 разів.

Обсяги біогазу для забезпечення технологічного процесу, враховуючи [21], залежить від кліматичних умов, середньорічні показники, які для різних територій України знаходяться в межах 60...85% від загальних обсягів. За певних кліматичних умов кількість енергії,  $\sum E$  що витрачається на підтримку технологічного процесу середнього БГУ, складається з кількох енергетичних потоків:  $Q_{\text{мвн1}}$ ,  $Q_{\text{мвн2}}$ ,  $W_{\text{вн}}$ . Обсяги витрат енергетичних потоків залежать від стану теплоізоляції реактора та конструктивних рішень реактора БГУ, які, згідно з загальними експериментально-аналітичними даними [21, 22],

пояснюються на рисунку 7 та відповідають енергетичному балансу витрат на забезпечення технологічного процесу.

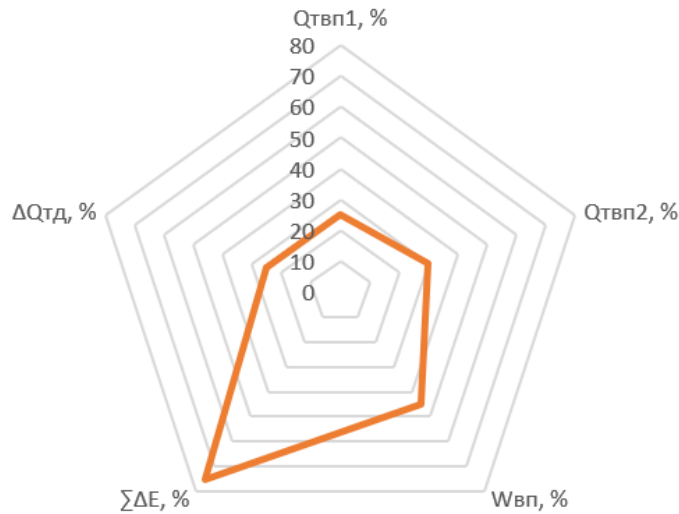


Рис. 7. Середньорічний розподіл енергоресурсів на підтримання технологічного процесу БГУ, де:

$Q_{m\text{en}1}$  – обсяги теплової енергії для попереднього підігріву органічних відходів;

$Q_{m\text{en}2}$  – обсяги теплової енергії для підтримки температурного режиму в метантенку.

На першому етапі підходу до аналізу створеного енергетичного балансу необхідний пошук нових технічних рішень, спрямованих на підвищення ефективності використання енергії біогазу. Наприклад, у виробництві електричної енергії використання системного підходу для когенерації та тригенерації дозволить збільшити коефіцієнт  $K_{F'}$  (3) до значення 0,7-0,8 [22], а за даними літературних джерел [23] до 0,9. Крім того, можна зменшити обсяги енергозатрат на власні потреби БГУ (рис. 7) за рахунок зниження витрат до рівня 5...20% за рахунок підвищення стану теплоізоляції та зменшення габаритів реактора за рахунок впровадження новітніх технологій, пристроїв для електрифікації технологічного процесу та зміни конструктивних особливостей метантенка. Обсяги теплової енергії добрив  $\Delta Q_{m\text{d}}$  після вивантаження з реактора БГУ можна рекомендувати до використання в системах попереднього підігріву гною, що додатково зменшить обсяги  $Q_{m\text{en}1}$  до 15% [7, 24].

Застосування вищевказаних заходів підвищить рівень ефективності використання БЕК, що стимулюватиме споживачів до їх впровадження та зменшить:

– у загальній енергетичній системі витрати енергії на виробництво та переробку органічного палива та добрив;



– для конкретного виробничого підприємства витрати на отримання енергії: електричної, теплової, хімічної у вигляді добрив.

*Висновки.*

1. Електропостачання від місцевих БЕК з використанням ВДЕ можна розглядати як мікроструктуру по відношенню до централізованих систем електропостачання. Технологічні структури подібні, але мають меншу кількість зв'язків, сфер діяльності та розосередженість у довкіллі, що підвищує надійність енергопостачання.

2. Запропонована форма запису блочних систем рівня енергетичного балансу дозволяє прийняти рішення щодо вибору або створенню найбільш раціональних систем енергозабезпечення споживачів АПК.

3. За результатами аналізу встановлено, що 73% енергетичних ресурсів БГУ зосереджено в біомасі.

4. Використання БГУ в якості акумуляторів для інших ВДЕ в складі ОЕС України підвищить її стійкість, особливо під час військової агресії російської федерації, та дозволить збільшити вихід товарного біогазу до 5 разів.

*Список використаних джерел*

1. Qawaqzeh M. Development of Algorithm for the Operation of a Combined Power Supply System with Renewable Sources. *2022 IEEE 3rd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*. 2022. P. 1–4. <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek57572.2022.9916372>.

2. Syromyatnikov D., Druzyanova V., Beloglazov A., Bakshtanin A., Matveeva T. Evaluation of the economic profitability of the use of renewable energy sources in agro-industrial companies. *International Journal of Renewable Energy Development*. 2021. Vol. 10(4). P. 827–837. <https://doi.org/10.14710/ijred.2021.37908>.

3. Hussienat L. H., Syvenko M., Dudnikov S., Sereda A., Bezruchko V., Halko S. Phased Modeling Of An Autonomous Solar Power Plant And Its Operation In The Power System. *2023 IEEE 4th KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*. 2023. P. 1–5. <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek61412.2023.10312834>.

4. Oksenysh R., Moroz O., Qawaqzeh M., Trunova I., Buinyi R., Dudnikov S. Methodology for Designing the Capacity of Solar Power Plants for an Offline Home Network. *2023 IEEE 5th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES)*. 2023. P. 1–5. <https://doi.org/10.1109/MEES61502.2023.10402501>.

5. Redko I., Borychenko K., Chernyavskiy O., Sayenko A., Dudnikov S. Comparative Analysis of Innovative Development of Fuel and Energy Strategies Complex from Ukraine and EU countries: International Experience.



*International Journal of Energy Economics and Politics*. 2023. Vol. 13(2). P. 301–308. <https://doi.org/10.32479/ijeep.14035>.

6. Suganti L., Iniyani S., Anand Samuel A. Fuzzy logic applications in renewable energy systems. *A review*. 2015. Vol. 48. P. 585-607. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.037>.

7. Mohamed Q., Lazurenko A., Miroshnyk A., Dudnikov S., Savchenko A., Trunova I. Analysis of the energy balance of the local energy supply system based on the bioenergy complex. *2020 IEEE 7th International Conference on Energy Smart Systems (ESS)*. 2020. P. 134–138. <https://doi.org/10.1109/ESS50319.2020.9160050>.

8. Дудніков С. М., Шовкалюк М. М. До питань побудови систем енергопостачання споживачів АПК з використанням альтернативних джерел. *Енергосбереження. Енергетика. Енергоаудит*. 2012. № 5(99). С. 36–42.

9. Дудніков С. М. Обґрунтування методики технологічних зв'язків виробництво та перетворення енергії з відновлюваними джерелами. *Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка*. 2016. Вип. 176. С. 21–23.

10. Olatomiva L., Mehilef S., Huda A., Ohunakin Olayinka S. Economic evaluation of hybrid energy systems for rural electrification in six geopolitical zones of Nigeria. *Renewable energy*. 2015. Vol. 83. P. 435–446. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.04.057>.

11. Szafraniec A., Halko S., Miroshnik O., Figura R., Zharkov A., Vershkov O. Magnetic field parameters mathematical modelling of wind-electric heater. *Przegląd Elektrotechniczny*. 2021. Vol. 97(8). P. 36–41. <https://doi.org/10.15199/48.2021.08.07>.

12. Bazaluk O., Postnikova M., Halko S., Mikhailov E., Kovalov O., Suprun O., Miroshnyk O., Nitsenko V. Improving energy efficiency of grain cleaning technology. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2022. Vol. 12(10). P. 5190. <https://doi.org/10.3390/app12105190>.

13. Aslani A., Helo P., Naaranoja M. The Role of Renewable Energy Policy in Energy Dependence in Finland: A System Dynamics Approach. *Applied energy*. 2014. Vol. 113. P. 758–765. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.08.015>.

14. Dudnikov S., Miroshnyk O., Kovalishyn S., Ptashnyk V., Mudryk K. Methodological aspects of evaluating the efficiency of local energy systems with renewable sources. *Renewable energy sources: 6th International Conference*, Krynysia, 12-14. June 2019. 2020. Vol. 154. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015407013>.

15. Гончар М. І., Дудніков С. М. Оцінка ефективності використання енергії на основі енергетичних балансів. *Енергетика и электрификация*. 2003. № 7. С. 2–7.

16.



17. Savchenko O., Miroshnyk O., Moroz O., Trunova I., Sereda A., Dudnikov S., Kozlovskiy O., Buinyi R., Halko S. Improving the efficiency of solar power plants based on forecasting the intensity of solar radiation using artificial neural networks. *2021 IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology (KhPI Week)*. 2021. P. 137–140. <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek53812.2021.9570009>.

18. Trunova I., Miroshnyk O., Moroz O., Pazyi V., Sereda A., Dudnikov S. The analysis of use of typical load schedules when the design or analysis of power supply systems. *2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*. 2020. P. 61–64, <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek51551.2020.9250120>.

19. Halko S., Halko K. Research of electrical and physical characteristics of the solar panel on the basis of cogeneration photoelectric modules. *Integración de las ciencias fundamentales y aplicadas en el paradigma de la sociedad post-industrial: Colección de documentos científicos «ΛΟΓΟΣ» con actas de la Conferencia Internacional Científica y Práctica*. 2020. Vol. 2. P. 39–44. <https://doi.org/10.36074/24.04.2020.v2.10>.

20. Halko S., Halko K., Suprun O., Qawaqzeh M., Miroshnyk O. Mathematical modelling of cogeneration photoelectric module parameters for hybrid solar charging power stations of electric vehicles. *IEEE 3rd KhPI Week on Advanced Technology (KhPI Week)*. 2022. P. 1–6. <https://doi.org/10.1109/KhPIWeek57572.2022.9916397>.

21. Нестерчук Д. М., Квітка С. О., Галько С. В. Методи і засоби вимірювань електричних та неелектричних величин: навч. посібник. Мелітополь: Люкс, 2017. 206 с.

22. Плачкова С. Г. [та ін.]. Енергетика: історія, сучасність і майбутнє. Кн. 5. Електроенергетика та охорона навколишнього середовища. Функціонування енергетики в сучасному світі. <http://energetika.in.ua/ua/books/book-5> (дата звернення 02.02.2024).

23. Гелетуха Г., Железна Т., Баштовий А. Енергетика і екологія аналіз технології для потужності виробництва від біомаси. Частина 1. Теплофізика і теплові потужності. *Інженерія*. 2017. Т. 39. № 1.

24. Корчевой Ю. П. Стан та перспективи розвитку твердопаливної енергетики України. *Теплова енергетика – нові виклики часу*. Львів, 2009. С. 29–35.

25. Гончар М. І., Дудніков С. М. Визначення витрат первинного палива мініелектростанцією від виду та потужності електричного навантаження. *Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України*. 2010. Вип. 102. С. 41–44.

*Стаття надійшла до редакції 29.02.2024 р.*



S. Dudnikov<sup>1</sup>, K. Markowska<sup>2</sup>, T. Shchur<sup>3</sup>, O. Savchenko<sup>1</sup>, I. Trunova<sup>1</sup>, A. Sereda<sup>1</sup>,  
S. Halko<sup>4</sup>, V. Pazi<sup>1</sup>, S. Popadchenko<sup>1</sup>,

<sup>1</sup>National Biotechnological University

<sup>2</sup>Silesian University of Technology

<sup>3</sup>Cyclone Manufacturing Inc

<sup>4</sup>Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

## ANALYSIS OF PROSPECTS FOR THE FUNCTIONALITY OF BIOENERGY POTENTIAL IN ENERGY SUPPLY SYSTEMS OF UKRAINE BASED ON ENERGY BALANCE ANALYSIS

### *Summary*

The intensive growth of the share of energy from renewable sources in the unified energy system of Ukraine necessitates the introduction of highly maneuverable batteries to balance their variable power. But storage batteries significantly increase the total cost of the power system, which makes it difficult for consumers to make decisions about their construction. Factors encouraging the use of renewable energy sources: energy independence, reliability, ownership of the source, high cost of energy from a centralized system and its constant increase in price. In the paper, it is proposed to use biogas plants as highly maneuverable accumulators. The decisive factor before making a decision can be the forecasted information regarding the justification and research of energy-efficient indicators of the proposed energy supply system using biogas plants in comparison with the existing centralized one. The study of energy efficiency indicators was performed on the basis of the analysis of energy balances, which are built on the basis of the processing of average statistical indicators of energy losses and costs in biogas plants. Since biogas plants are capable of producing several types of energy (electrical, thermal, mechanical and other types), it is advisable to take into account both the share and the total amount of different types of energy when creating the system. Balances in this case are the basis for determining technical and economic solutions, substantiating the competitiveness of the proposed energy supply system. It is proposed to use the proposed approach at the stages of formalization of the technical task, which will allow to justify the decision regarding the construction or improvement of the existing energy supply system.

The proposed form of recording block systems of the energy balance level allows making a decision on the selection or creation of the most rational systems of energy supply to consumers of the agro-industrial complex. According to the results of the analysis, it was found that 73% of the energy resources of the biogas plant are concentrated in biomass. The use of a biogas plant as batteries for other renewable energy sources as part of the unified energy system of Ukraine will increase its stability, especially during the military aggression of the Russian Federation, and will increase the yield of commercial biogas by up to 5 times.

**Keywords:** energy balance, combined energy supply system, renewable sources, energy efficiency, local power supply system, energy.