

М. І. Стаднік¹
Д. П. Проценко²
С. М. Бабій²

ГІБРИДНЕ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

¹Вінницький національний аграрний університет;

²Вінницький національний технічний університет

Визначено можливість повного покриття потреби в електроенергії підприємств за умови спільного використання біогазової установки та сонячних панелей на прикладі тваринницької ферми. Встановлено, що використання відновлюваних джерел енергії має значний потенціал для зростання. Зокрема генерація електроенергії біогазовою енергетичною установкою, яка розрахована за мінімальними показниками для ферми великої рогатої худоби, забезпечує більше 50 % необхідної електроенергії, крім того наявна ще й теплова енергія, яка використовується для опалення ферми. Використання біогазу, отриманого з відходів ферми великої рогатої худоби, разом із сонячними панелями дозволяє покрити потребу в електроенергії зі значним запасом. Встановлено, що електрична потужність біогазової установки, яка працює в комплексі із сонячними панелями, повинна становити як мінімум середнє значення потужності споживання для забезпечення живлення споживачів тваринницької ферми, особливо в зимові місяці, коли інсоляція мінімальна. Використання гібридних відновлюваних джерел електроенергії на базі біогазових установок та сонячних панелей дає можливість значно підвищити ефективність використання енергії за умови впровадження засобів регулювання вихідної потужності біогазової установки. Розроблено підходи щодо відстеження графіка навантаження тваринницької ферми, які дозволяють здійснювати керування біогазовими енергоустановками в залежності від змін величини навантаження з накопичувачами енергії, які необхідні на час запуску та синхронізації генераторів біогазової установки. Використання запропонованого методу відстеження графіка навантаження особливо актуальне для автономних систем електропостачання, оскільки це дозволяє ефективніше використати енергетичні ресурси. Окрім цього, такий підхід значно скорочує ємність накопичувачів, та дозволяє забезпечити запас газу. Здійснено порівняльний аналіз енергетичного балансу для добового електропостачання за різних способів використання гібридних відновлюваних джерел енергії, який показав кращі енергетичні показники при регулюванні потужності біогазової установки на основі відстеження графіка навантаження.

Ключові слова: тваринницька ферма, графік навантаження, генератор, біогаз, сонячна енергетика, електропостачання.

Вступ

Технологічні процеси сучасних фермерських господарств потребують надійного електропостачання та високу якість електроенергії [1]. Побудова систем електропостачання з використанням альтернативних відновлюваних джерел енергії (ВДЕ): сонячної, вітрової, біологічної дозволить підвищити надійність та економічні показники електропостачання. В умовах тваринницької ферми особливу актуальність мають біоенергетичні установки, які працюють на біогазі [2], так як наявні виробничі відходи — це сировина для біогазової установки. Під час модернізації чи проектування сучасних тваринницьких ферм та комплексів потрібно враховувати можливості використання ВДЕ. Тому виникає необхідність оцінювання енергетичного потенціалу біогазових установок для забезпечення електропостачання тваринницьких ферм та можливих варіантів поєднань з іншими типами ВДЕ. Ефективне використання ВДЕ можливе з урахуванням графіків навантаження та викорис-

танням накопичувачів енергії [3]. Також важливо забезпечення врахування практично можливих рівнів генерації джерел ВДЕ для заданої місцевості [4].

В роботах [5]—[7] розглянуто технологічні та економічні характеристики використання біогазових установок для забезпечення живлення об'єктів сільського господарства, а також визначено енергетичний потенціал від запровадження біогазових та інших ВДЕ. В наведених роботах не висвітлено питання можливостей забезпечення електропостачання з використанням біогазу в комбінації з іншими ВДЕ для тваринницької ферми з типовим для регіону графіком навантаження.

Метою роботи є підвищення ефективності систем електропостачання за рахунок впровадження ВДЕ та визначення їхнього енергетичного потенціалу в умовах тваринницької ферми.

Результати дослідження

Для розрахунку необхідної кількості електроенергії здійснено експериментальне визначення графіка навантаження на основі аналізу споживання електроенергії на малій фермі великої рогатої худоби (ВРХ). Поголов'я ферми складається з 60 дійних корів, 11-ти сухостійних та 29 голів молодняка.

На рис. 1 зображено діаграми роботи обладнання вказаної тваринницької ферми та здійснено розрахунок графіка навантаження, взявши суму потужностей для відповідних часових діапазонів.

Операція	Потуж.	5:00	5:30	6:00	6:30	7:00	7:30	8:00	8:30	9:00	9:30	10:00	10:30	11:00	11:30	12:00	12:30	13:00	13:30	14:00	14:30	15:00	15:30	16:00	16:30	17:00	17:30	18:00	18:30	19:00	19:30	20:00	
Подавання конц-кормів	3,2																																
Подавання корене-бульбоплодів	3																																
Подрібнення коренебульбоплодів	14,3																																
Приготування сіяного борошна	22																																
Подавання борошна	6																																
Подрібнення силосу	2,7																																
Завантаження кормів	2,2																																
Приготування сумішей	2,2																																
Видавання кормів	2,2																																
Видання кормів	12,2																																
Дійня корів	7																																
Охолодження молока	5																																
Прибирання гною	2,5																																
Освітлення	1																																
Навантаження, кВт		9,5	31,5	39,4	58,4	55,7	48,6	35,9	21,5	8,5	8,5	8,5	8,5	14,5	14,5	3,5	3,5	3,5	25,5	38,4	57,4	48,7	41,6	17,9	3,5	16,5	16,5	15,5	15,5	15,5	15,5	15,5	

Рис. 1. Діаграми роботи технологічного обладнання тваринницької ферми та розрахунок графіка навантаження

Як видно з результатів розрахунків (рис. 1) графік навантаження має два пікових періоди — ранковий: з 6⁰⁰ до 8³⁰ та обідній: з 14⁰⁰ до 16⁰⁰. В ці періоди споживання електроенергії перевищує відмітку 30 кВт.

Тваринницькі господарства, як правило, мають графіки навантаження, які характеризуються високим ступенем регулярності, це пояснюється визначеною технологічним процесом послідовністю вмикання того чи іншого обладнання [8].

Знайдемо добове споживання електроенергії згідно з графіком навантаження тваринницької ферми

$$W_{\Sigma}^d = \frac{\sum_{i=1}^k (P_i \cdot t_i)}{T}, \quad (1)$$

де k — загальна кількість діапазонів зміни навантаження, що відповідає операціям вмикання або вимикання споживачів; P_i — встановлена потужність на i -му інтервалі діаграми навантаження; t_i — час ввімкнення групи споживачів на i -му інтервалі діаграми навантаження; T — тривалість добового циклу ввімкнення споживачів.

Підставивши відповідні числові значення в (1) отримаємо добове споживання електроенергії тваринницькою фермою на рівні 347 кВт·год.

Розглянемо можливість забезпечення електропостачання з використанням ВДЕ. Найперспективнішими на тваринницьких фермах є використання біогазових установок та сонячної енергії [3].

Енергетичний потенціал у разі поєднання саме цих джерел енергії і є предметом подальшого дослідження.

Вихід біогазу можна визначити, використовуючи результати середньостатистичного рівня утворення відходів та з урахуванням їх середньої вологості 79 %. Маючи питомий вихід метану на 1 голову ВРХ [9], приймаємо мінімально можливий вихід газу, враховуючи поголів'я ферми (71 корова та 29 голів молодняка старше 12 місяців) добовий вихід біогазу становитиме 105 м^3 .

Зазвичай генератор біогазової установки приводиться в обертання газовим двигуном внутрішнього згорання, швидкість обертання якого підтримується незмінною для забезпечення сталої частоти на виході генератора [5]. Генерація електроенергії з отриманого об'єму газу буде залежати від типу та потужності газогенераторної установки, для прикладу, установка COGSL35 (35 кВт) з газопоршневим двигуном MAN E0834 E312 має в номінальному режимі роботи споживання газу на рівні $0,53 \text{ м}^3/\text{кВт}\cdot\text{год.}$, для установок більшої потужності питоме споживання ще менше. З урахуванням споживання газу, добова генерація становитиме $197 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$ Отже, генерація електроенергії біогазовою енергетичною установкою, розрахована за мінімальними показниками для ферми ВРХ, забезпечує 57 % необхідної електроенергії. Крім того, наявна ще і теплова енергія, яка використовується для опалення ферми та додаткових приміщень.

Різницю між необхідною потребою в електроенергії та генерацією біогазової установки в $150 \text{ кВт}\cdot\text{год}$ запропоновано покрити за рахунок використання сонячної енергії. Для визначення енергетичного потенціалу використання сонячної енергії проаналізуємо середній місячний рівень сонячної радіації в м. Вінниця, який з великим ступенем наближення можна поширити на всю область.

Орієнтовну добову потужність генерації сонячних панелей для кожного місяця можна визначити зі співвідношення

$$W_{se}^d = \frac{P_p \cdot k_1 \cdot S_1 \cdot n}{S_p \cdot k_{se}^{ch}}, \quad (2)$$

де P_p — потужність сонячної панелі (для прикладу, панель LDK 250PA, 250 Вт); k_1 — середній місячний рівень сонячної радіації, який залежить від географічних координат ($\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2/\text{день}$); S_1 — площа ферми, що припадає на одну голову ВРХ; n — кількість голів ВРХ ($n = 100$ голів); S_p — площа панелі (для LDK 250PA — $1,6 \text{ м}^2$); k_{se}^{ch} — коефіцієнт зменшення генерації сонячними панелями.

Для розрахунку кількості сонячних панелей, які можна встановити на даху тваринницької ферми необхідно визначити площу, що припадає на одну тварину. Проаналізувавши нормативи і сучасні конструкції корівників та ферм ВРХ встановлено, що на 1 голову ВРХ припадає близько 8 м^2 [11].

На ефективність роботи сонячних панелей, встановлених на даху ферми, впливають багато чинників: просторова орієнтація відносно сторін світу, метеорологічні умови, ландшафт, форма даху, кут встановлення відносно горизонту, заповнення корисного простору панелями. Тому для врахування можливого зменшення генерації сонячних панелей введемо відповідний коефіцієнт

$$k_{se}^{ch} = \frac{W_{se}^{d,a}}{W_c - W_{\Sigma}^{be}}, \quad (3)$$

де $W_{se}^{d,a}$ — середньорічне добове значення генерації за оптимальних умов інсталяції; W_c — потреби в електроенергії за добу, які визначаються за графіком навантаження ферми; W_{Σ}^{be} — сумарна генерація електроенергії з використанням біогазової установки.

Як показують розрахунки, значення коефіцієнта зменшення генерації для наведених в статті умов становить 2,6. Тобто, зниження потужності генерації сонячних панелей навіть в 2,6 рази не спричинить недостачу електроенергії для тваринницької ферми

З використанням апаратно-програмного комплексу для моніторингу електричних параметрів генерації сонячної панелі можна визначати характеристики генерації безпосередньо на місці їх інсталяції в заданих географічних координатах [10].

Здійснивши розрахунки за формулою (2), отримано добову генерацію від сонячних панелей, сумарну генерацію для кожного місяця (рис. 2). Аналізуючи дані розрахунків, можна зробити висновки про те, що генерації від біогазової установки не достатньо для забезпечення потреби в електроенергії, але сумісне використання біогазової енергетичної установки та сонячної енергії дозволяє отримати середню генерацію більшу за потреби. Проте середня добова генерація від соняч-

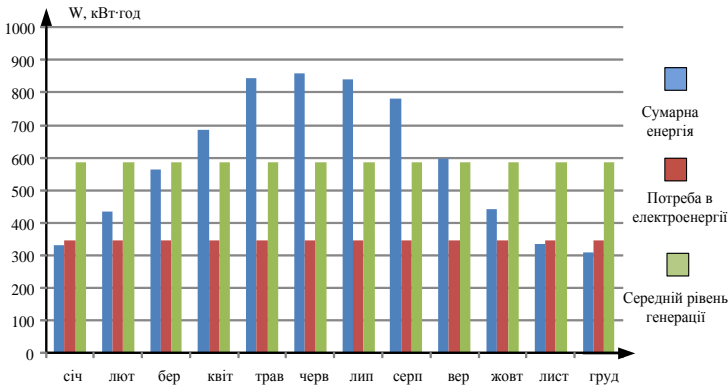


Рис. 2. Помісячний графік сумарної генерації ВДЕ, потреби в електроенергії та середнього рівня генерації ферми ВРХ

Використання біогазу, отриманого з відходів ферми ВРХ разом з сонячними панелями, дозволяє покрити потребу в електроенергії зі значним запасом. Для типової ферми на 100 голів ВРХ, цей запас становить близько 80 %.

Наведені розрахунки генерації мають інтегральний характер і не враховують нерівномірність добового споживання і виробництва електроенергії засобами ВДЕ. Позитивний висновок про можливість використання біогазової установки разом з сонячними панелями, як автономного джерела живлення, можна зробити за наявності накопичувачів електроенергії достатньої ємності [12], або за рахунок регулювання вихідної потужності біогазової установки в залежності від графіка навантаження. Тому доцільно розглянути добовий графік електроспоживання (рис. 1) та його покриття за різних способів використанням ВДЕ.

Розглянемо біогазову установку, що працює з середньозваженою потужністю

$$P_{be,a} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{ci} \cdot t_i}{\sum_{i=1}^n t_i}, \tag{4}$$

де P_{ci} — потужність споживання i -ї ділянки добового графіка навантаження.

На рис. 3 показано енергетичний баланс під час роботи біогазової установки з середньозваженою добовою потужністю споживання ферми ВРХ. Як видно, цей графік має три ділянки надлишкової потужності та дві ділянки (5^{30} — 8^{30} та 13^{00} — 16^{00}), коли потужність генерації недостатня.

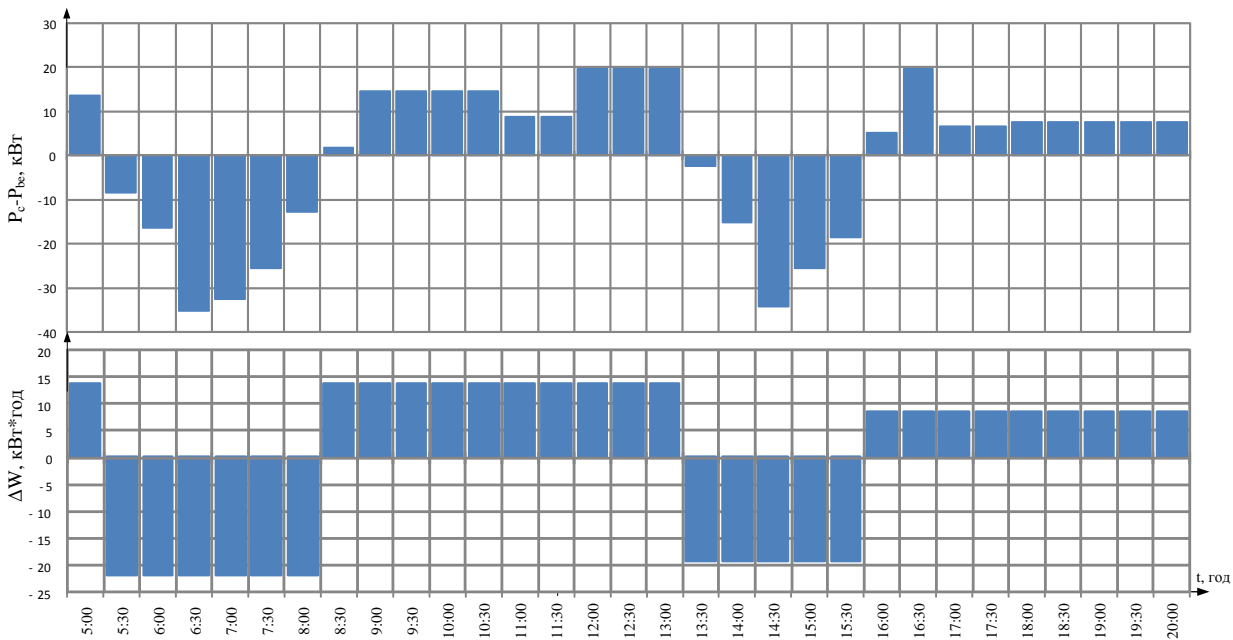


Рис. 3. Енергетичний баланс в процесі роботи біогазової установки за середньозваженої добової потужності споживання

З урахуванням тривалості цих ділянок можна визначити надлишок чи дефіцит електроенергії. Для п'яти ділянок на графіку рис. 3 це відповідно 6,8; -65,3; 68,2; -48; 38,3 кВт·год. Тому для за-

них панелей в умовах Вінницької області має значну нерівномірність (133 кВт·год у грудні та 663 кВт·год у червні), тому в листопаді, грудні та січні сумарна потужність менша за необхідну.

Для вирішення проблеми нестачі електроенергії від ВДЕ в листопаді, грудні та січні запропоновано використати запас біогазу, який накопичується в місяці, коли для покриття графіка навантаження буде достатньо сонячної енергії (з березня по вер-

безпечення графіка навантаження необхідно використовувати біогазову установку з середньозваженою потужністю та накопичувачами, здатними акумулювати енергію для ділянки максимального дефіциту електроенергії (для цього випадку 65,3 кВт·год). Крім того добова генерація біогазу, як зазначалось вище, не забезпечує потребу в електроенергії.

На рис. 4 показано енергетичний баланс в процесі роботи сонячних панелей з середньодобовою потужністю для квітня. В інтегральних показниках добова генерація панелей становить 490 кВт·год за потреби 347 кВт·год. Проте, проаналізувавши відхилення потужності, виявлено, що дефіцит потужності для заданого графіка споживання ферми ВРХ складає 137 кВт·год. Тому для покриття графіка навантаження з використанням сонячних панелей необхідні накопичувачі, які здатні акумулювати енергію відхилення від'ємного знаку, для цього випадку 112,75 кВт·год, що більше ніж у разі використання біогазової установки зі середньозваженою потужністю.

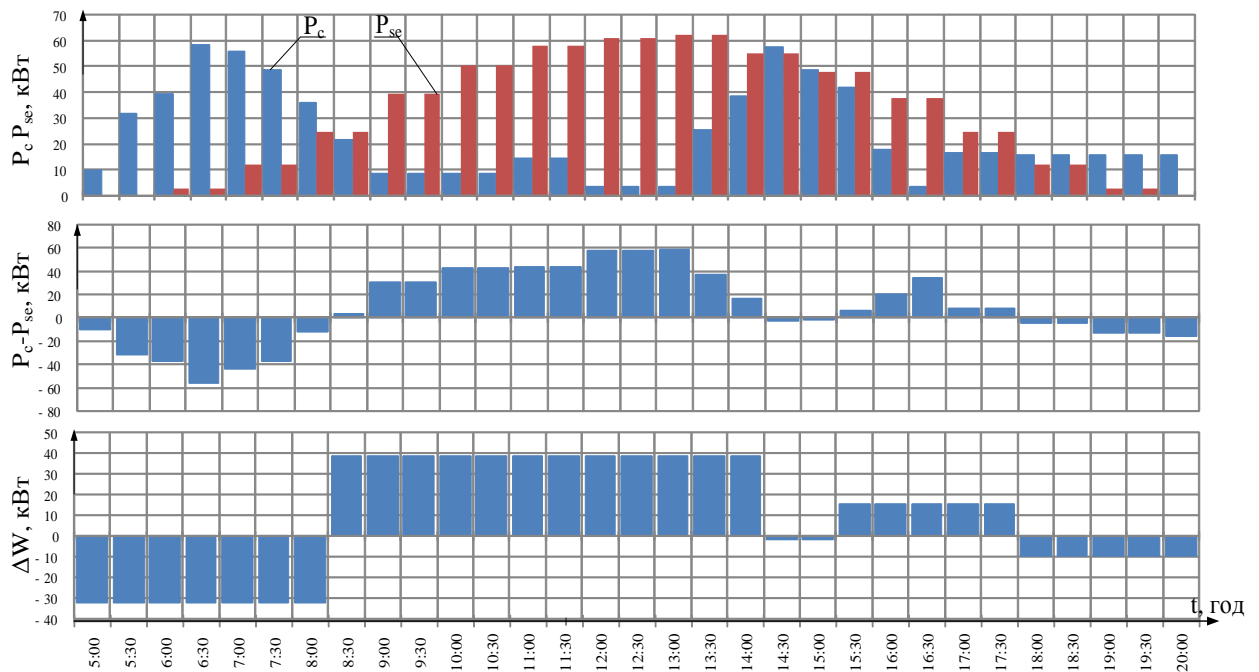


Рис. 4. Енергетичний баланс під час роботи сонячних панелей за середньою добовою потужністю для квітня

Розглянемо енергетичні показники у разі спільної роботи біогазової установки з середньозваженою добовою потужністю споживання ферми ВРХ та сонячних панелей з середньою добовою потужністю для квітня (рис. 5).

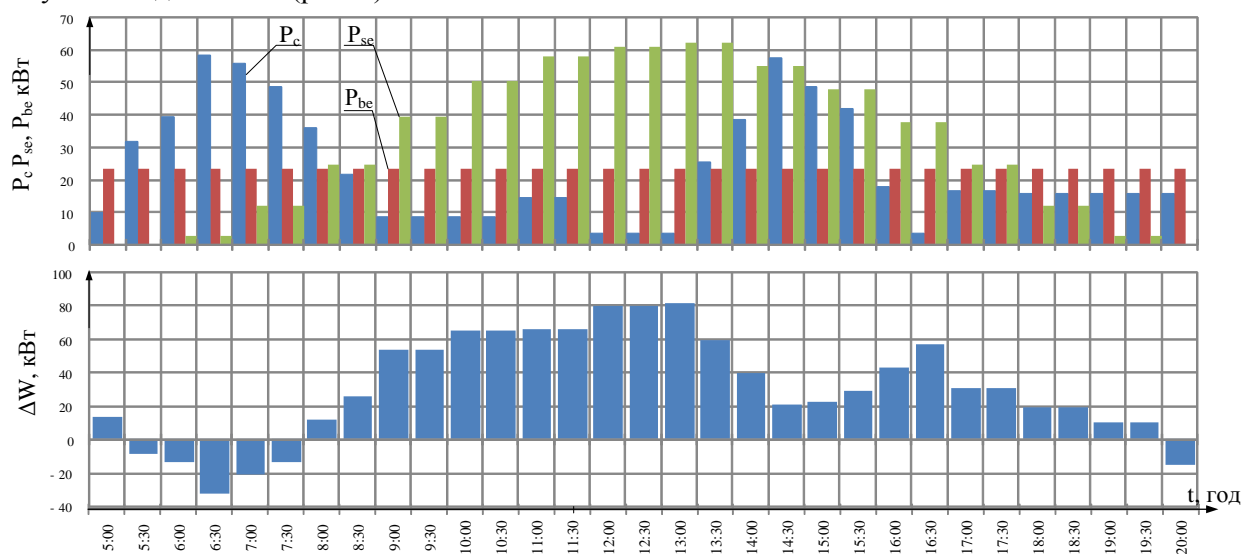


Рис. 5. Енергетичний баланс у разі спільної роботи біогазової установки з середньозваженою добовою потужністю споживання ферми ВРХ та сонячних панелей з середньою добовою потужністю для квітня

Через нерівномірність споживання навіть за спільної роботи має місце дефіцит електроенергії на деяких ділянках графіка навантаження, для нашого випадку 52,2 кВт·год., а, враховуючи період максимального дефіциту, з графіка енергетичного балансу можна визначити необхідне акумулювання накопичувачами на рівні 44,4 кВт·год.

Отже, аналіз добових графіків генерації та споживання показав необхідність використання трьох підходів до ефективного використання енергії виробленої ВДЕ:

1. Застосування накопичувачів для покриття дефіциту електроенергії для гібридної енергетичної установки;
2. Застосування біогазових установок з можливістю регулювання вихідної потужності та відстеження графіка навантаження;
3. Застосування комбінованого підходу згідно з п.1 та п.2.

Розглянемо комбінований підхід до використання енергії виробленої ВДЕ, коли здійснюється відстеження графіка навантаження з регулюванням потужності біогазової енергетичної установки та використовуються накопичувачі енергії.

В роботі [5] запропоновано метод оптимального вибору кількості працюючих генераторів для покриття графіка навантаження. Використання такого методу передбачає відстеження графіка навантаження в реальному часі [8].

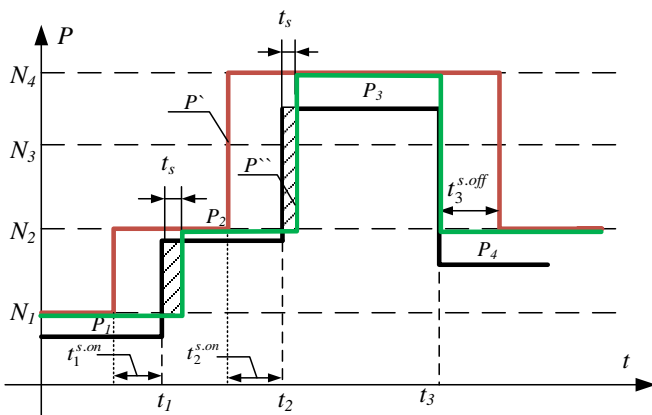


Рис. 6. Покриття графіка навантаження за рахунок дискретного регулювання потужності біогазової установки

Очевидно, що зміни діаграми навантаження відбуваються під дією комутацій технологічного обладнання, яке забезпечує виконання операцій подачі кормів, доїння, прибирання гною і т. д. Тому сумарний графік має ступінчасту форму, кожний інтервал якого характеризується виконанням однієї або декількох операцій. На рис. 6 зображено графік навантаження P_1, P_2, P_3, P_4 та графік покриття P' за умови наявності групи генераторів, що забезпечують рівні потужності N_1, N_2, N_3 , та N_4 . Графік покриття P'' отриманий за умови керування за фактичною потужністю споживання, причому заштриховані області які відпові-

дають часу запуску та синхронізації генераторів характеризують енергію, що віддають накопичувачі споживачам електричної енергії.

У разі дискретного керування потужністю біогазової установки за фактичною зміною графіка навантаження (графік P'') усуваються додаткові витрати електроенергії, зумовлені запасами часу ввімкнення та вимкнення для кожної операції (графік P'). Додаткові втрати можна знайти за формулою

$$\Delta w = \sum \Delta p \cdot t = \sum_{i=1}^k (P'_i - P'_{i-1}) \cdot t_i^{s.on} + \sum_{j=1}^r (P'_{j-1} - P'_j) \cdot t_j^{s.off}, \quad (5)$$

де k — загальна кількість операцій вмикання електричного навантаження (нарощення потужності); r — загальна кількість операцій вимкнення електричного навантаження (скид потужності); P' — потужність генераторної групи, яка відповідає будь-якому часовому діапазону; $t_i^{s.on}$ — час запасу вмикання характерний для певної операції, який визначається характеристиками та особливостями навантаження; $t_j^{s.off}$ — час запасу вимкнення, характерного для певної операції.

Якщо вважати, що тваринницька ферма обладнана генераторними біогазовими установками однакової номінальної потужності N_n кількістю m , тоді алгоритм вибору складу генераторної групи можна розписати у вигляді системи рівнянь [8]

$$\begin{cases} \text{якщо } P_{g\Sigma} > P_{cn}; n_g = \frac{P_{g\Sigma} - P_{cn}}{N_n}, n_g \in [0, 1, 2, 3 \dots m] \Rightarrow \text{вимк. } n_g \text{ генер.}; \\ \text{якщо } P_{g\Sigma} < P_{cn}; n_g = \frac{P_{cn} - P_{g\Sigma}}{N_n}, n_g \in [0, 1, 2, 3 \dots m] \Rightarrow \text{ввімк. } n_g \text{ генер.}, \end{cases} \quad (6)$$

де $P_{g\Sigma}$ — загальна поточна потужність генерування; P_{cn} — розрахункова потужність навантаження; n_g — кількість генераторів, які вмикаються, або вимикаються у разі зміни навантаження.

У разі регулювання потужності біогазової установки в системі гібридного електропостачання за умови покриття дефіциту енергії сонячних панелей (рис. 7) можна отримати значну економію біогазу для цього випадку добове споживання 138,5 кВт·год при генерації 197 кВт·год) та забезпечити повне покриття графіка навантаження.

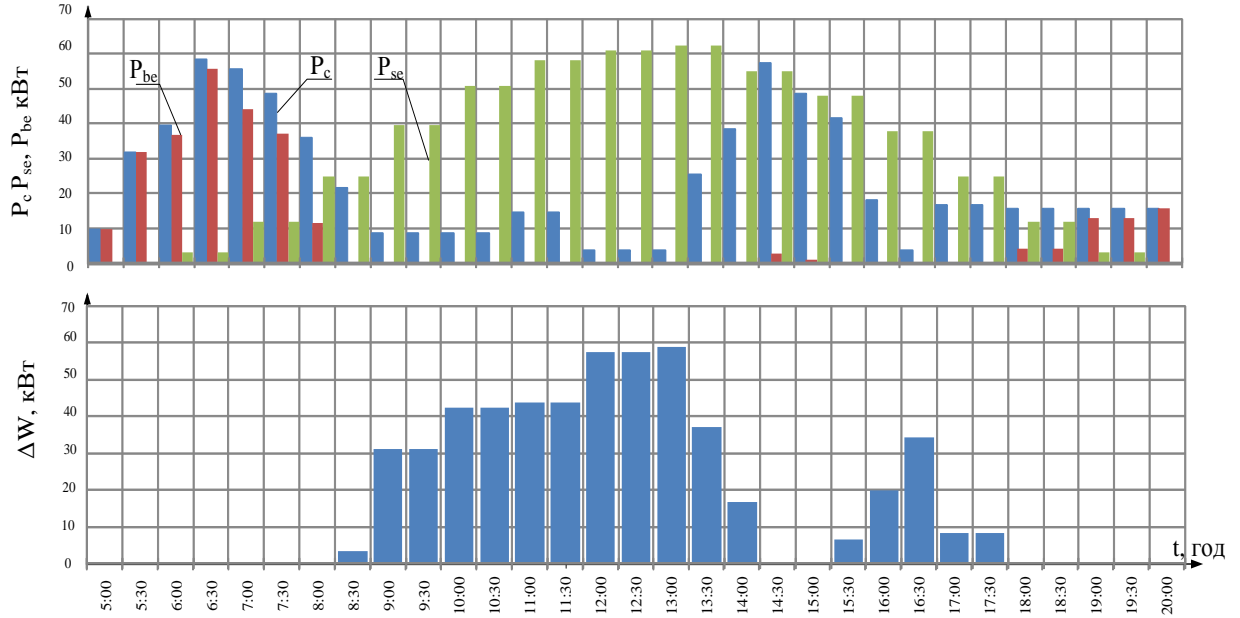


Рис. 7. Енергетичний баланс під час сумісної роботи біогазової установки з регулюванням вихідної потужності та сонячних панелей за середньою добовою потужністю для квітня

Енергія, що акумулюється в накопичувачах згідно з алгоритмом дискретного регулювання потужності біогазової установки (рис. 6) можна визначити за формулою

$$W_{es} = \sum_{i=1}^c (P_i - P_{i-1}^n) \cdot t_s, \quad (7)$$

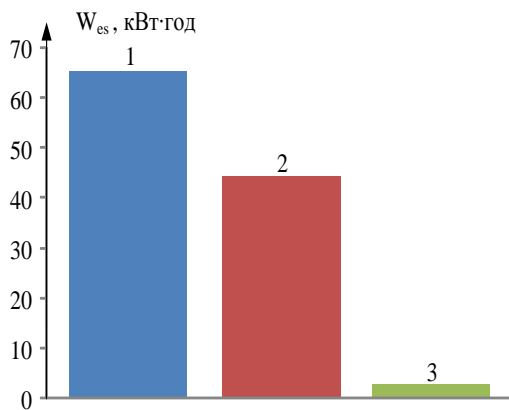


Рис. 8. Потужність накопичувачів за різних способів використання ВДЕ: 1 — біогазова установка з середньозваженою потужністю; 2 — гібридне ВДЕ з середньодобовою потужністю біогазової установки; 3 — гібридне ВДЕ з регулюванням потужності біогазової установки

де c — кількість перемикачів з нарощенням потужності споживання при дефіциті сумарної потужності гібридної енергетичної установки; t_s — час необхідний для запуску та синхронізації біогазової установки.

Для досліджуваного випадку енергія накопичувача для регулювання потужності біогазової установки складає 2,8 кВт·год.

На рис. 8 показано порівняльну діаграму потужності накопичувачів за різних способів використання гібридних ВДЕ, звідки можна зробити висновок про те, що використання регулювання вихідної потужності дозволяє значно скоротити ємність накопичувачів.

Отже впровадження розроблених підходів до використання ВДЕ на прикладі фермерського господарства дозволяє отримати можливість автономного електропостачання, але при цьому слід зауважити про необхідність підключення до системи

центрального електропостачання для компенсації можливих небалансів, зумовлених пусками приводів, аварійними та позаплановими вмиканнями обладнання, зниженням генерації ВДЕ відносно планових показників тощо.

Висновки

Використання ВДЕ для забезпечення електропостачання має значний потенціал для зростання, зокрема, для прикладу, здійснено оцінку генерації електроенергії біогазовою енергетичною установкою для типової ферми ВРХ, згідно з розрахунками біогазова установка забезпечує близько 60 % необхідної електроенергії, крім того, наявна ще і тепла енергія, яка використовується для опалення ферми. Спільна робота біогазової установки та сонячних панелей, розмішених на даху ферми, дозволяє покрити потребу в електроенергії зі значним запасом. Використання гібридних ВДЕ на базі біогазових установок та сонячних панелей дає можливість значно підвищити ефективність використання енергії за умови впровадження засобів регулювання вихідної потужності біогазової установки, та застосування запропонованих підходів до відстеження графіка навантаження, крім цього такий підхід дозволяє значно скоротити ємність накопичувачів та сформувати запас газу. Застосування такої ВДЕ разом з системою централізованого електропостачання підвищує надійність систем електропостачання за рахунок забезпечення електроенергією від двох незалежних взаєморезервуючих джерел живлення. Крім того, значно зменшуються обсяги електроенергії, отриманої від енергопостачальної компанії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Д. Г. Войтюк, О. Ю. Синявський, і В. В. Савченко, «Вплив якості електричної енергії на технологічні процеси в тваринництві», *Енергетика та автоматика*, № 3, с. 60-69, 2015.
- [2] Г. М. Калетнік, *Біопаливо. Продовольча, енергетична та економічна безпека України*. Київ, Україна: Хай-Тек Прес, 2010, 516 с.
- [3] Б. Є. Патон, М. І. Клюй, О. Є. Коротинський, А. В. Макаров, і Ю. О. Трубіцин, «Умови ефективного застосування сонячних електроенергетичних систем», *Вісник НАН України*, № 3, с. 48-58, 2012.
- [4] A. Rouholamini, H. Pourgharibshahi, R. Fadaeinedjad, and G. Moschopoulos, "Optimal tilt angle determination of photovoltaic panel sandcomparing of their mathematical model predictions to experimental data in Kerman," *Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*, 2013.
- [5] М. І. Стаднік, «Оптимізація складу генеруючого обладнання автономного енергопостачання тваринницької ферми при використанні біогазу», *Техніка, енергетика, транспорт АПК*, № 2(101)/2018, с. 81-88, 2018.
- [6] Ю. В. Кернасюк, «Науково-методологічні підходи до визначення собівартості виробництва та економічної ефективності продукції біоенергетичної утилізації гною», *Наукові праці КНТУ. Економічні науки*, вип. 17, с. 61-68, 2010.
- [7] Ю. М. Гальчинська, «Розвиток вітчизняного потенціалу виробництва біогазу», *Науковий вісник Полтавського університету економіки і торгівлі*, № 5(90), с. 19-27, 2018.
- [8] М. І. Стаднік, А. В. Грицун, і Д. П. Проценко, «Метод покриття графіку навантаження тваринницької ферми при автономному електропостачанні, на базі біогазових установок», *Техніка, енергетика, транспорт АПК*, вип. 4/2019, с. 79-87, 2019.
- [9] О. М. Осмонов, *Расчет биоэнергетической установки: Методические указания*. Москва: ФГБНУ «Росинформатех», 2017.
- [10] М. І. Стаднік, В. П. Рогач, і Д. П. Проценко, «Мобільний пристрій для дослідження експлуатаційних параметрів сонячних панелей», *Техніка, енергетика, транспорт АПК*, вип. 3/2019, с. 100-108, 2019.
- [11] В. І. Смоляр, «Обґрунтування технологічних параметрів молочної ферми родинного типу», *Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету*, № 3(32), с. 130-133, 2013.
- [12] В. Ю. Денисюк, і В. С. Оленіч, «Автономні гібридні системи енергопостачання з використанням відновлювальних джерел енергії», *Перспективні технології та прилади*, вип. 7, с. 29-33, 2015.

Рекомендована кафедрою електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 22.08.2020

Стаднік Микола Іванович — д-р техн. наук, професор кафедри електроенергетики, електротехніки та електромеханіки, e-mail: stadnik1948@gmail.com .

Вінницький національний аграрний університет, Вінниця;

Проценко Дмитро Петрович — канд. техн. наук, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті, e-mail: procenko.d.p@vntu.edu.ua ;

Бабій Сергій Миколайович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

M. I. Stadnik¹
D. P. Protsenko²
S. M. Babiy²

Hybrid Power Supply Using Renewable Energy Sources

¹Vinnitsia National Agrarian University;

²Vinnitsia National Technical University

The work has determined the possibility of full coverage of the needs for electricity of enterprises under the conditions of joint use of a biogas plant and solar panels on the example of a livestock farm. It has been established that the use of renewable energy sources has a significant potential for growth, in particular, the generation of electricity by a biogas power plant, calculated according to the minimum indicators for a cattle farm, provides more than 50% of the required electricity, in addition, there is also thermal energy that is used to heat the farm. The use of biogas obtained from the waste of a cattle farm and together with solar panels makes it possible to cover the need for electricity with a significant reserve. It has been established that the electrical power of a biogas plant, which works in conjunction with solar panels, should be at least the average value of the power consumption to provide power to the consumers of the livestock farm, especially in the winter months when insolation is minimal. The use of hybrid renewable energy sources based on biogas plants and solar panels makes it possible to significantly increase the efficiency of energy use, subject to the introduction of means for regulating the output of the biogas plant. The developed approaches to tracking the load schedule of a livestock farm that allow for the management of biogas power plants depending on changes in the load with energy storage units, which are needed at the time of starting and synchronizing the biogas plant generators. The use of the proposed method for tracking the load schedule is especially relevant for autonomous power supply systems, since it allows more efficient use of energy resources, in addition, this approach can significantly reduce the storage capacity and form a gas supply. A comparative analysis of the energy balance for daily power supply with various methods of using hybrid renewable energy sources showed the best energy performance when regulating the power of a biogas plant based on monitoring the load curve.

Keywords: livestock farm, load schedule, generator, biogas, solar energy, power supply.

Stadnik Mykola I. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Professor of the Chair of Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics, e-mail: stadnik1948@gmail.com ;

Protsenko Dmytro P. — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor of the Chair of Electromechanical Automation Systems in Industry and Transport, e-mail: procenko.d.p@vntu.edu.ua ;

Babiy Serhii M. — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Chair of Electromechanical Automation Systems in Industry and Transport

Н. И. Стадник¹
Д. П. Проценко²
С. Н. Бабий²

Гибридное электроснабжение с использованием возобновляемых источников энергии

¹Вінницький національний аграрний університет;

²Вінницький національний технічний університет;

Определена возможность полного покрытия потребности в электроэнергии предприятий при условии совместного использования биогазовой установки и солнечных панелей на примере животноводческой фермы. Установлено, что использование возобновляемых источников энергии имеет значительный потенциал для роста, в частности генерация электроэнергии биогазовой энергетической установкой, рассчитанная по минимальным показателям для фермы крупного рогатого скота, обеспечивает более 50 % необходимой электроэнергии. Кроме того, имеется еще и тепловая энергия, которая используется для отопления фермы. Использование биогаза, полученного из отходов фермы крупного рогатого скота, вместе с солнечными панелями позволяет покрыть потребность в электроэнергии со значительным запасом. Установлено, что электрическая мощность биогазовой установки, которая работает в комплексе с солнечными панелями, должна составлять

как минимум среднее значение мощности потребления для обеспечения питания потребителей животноводческой фермы, особенно в зимние месяцы, когда инсоляция минимальна. Использование гибридных возобновляемых источников электроэнергии на базе биогазовых установок и солнечных панелей дает возможность значительно повысить эффективность использования энергии при условии внедрения средств регулирования выходной мощности биогазовой установки. Разработаны подходы по отслеживанию графика нагрузки животноводческой фермы, позволяющие осуществлять управление биогазовыми энергоустановками в зависимости от изменений величины нагрузки с накопителями энергии, которые необходимы на время запуска и синхронизации генераторов биогазовой установки. Использование предложенного метода отслеживания графика нагрузки особенно актуален для автономных систем электроснабжения, так как это позволяет более эффективно использовать энергетические ресурсы. Кроме того, такой подход позволяет значительно сократить емкость накопителей, и сформировать запас газа. Проведенный сравнительный анализ энергетического баланса для суточного электроснабжения при различных способах использования гибридных возобновляемых источников энергии показал лучшие энергетические показатели при регулировании мощности биогазовой установки на основе отслеживания графика нагрузки.

Ключевые слова: животноводческая ферма, график нагрузки, генератор, биогаз, солнечная энергетика, электроснабжение.

Стадник Николай Иванович — д-р техн. наук, профессор кафедры электроэнергетики, электротехники и электромеханики, e-mail: stadnik1948@gmail.com ;

Проценко Дмитрий Петрович — канд. техн. наук, доцент кафедры электромеханических систем автоматизации в промышленности и на транспорте, e-mail: procenko.d.p@vntu.edu.ua ;

Бабий Сергей Николаевич — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры электромеханических систем автоматизации в промышленности и на транспорте