

**МЕТОД ПОКРИТТЯ ГРАФІКУ НАВАНТАЖЕННЯ ТВАРИННИЦЬКОЇ ФЕРМИ ПРИ
АВТОНОМНОМУ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННІ, НА БАЗІ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК**

Стаднік Микола Іванович, д.т.н., професор
Грицун Анатолій Васильович, к.с.г.н., доцент
Вінницький національний аграрний університет
Проценко Дмитро Петрович, к.т.н., доцент
Вінницький національний технічний університет

N. Stadnik, Doctor of Technical Sciences, Professor
A. Hrytsun, PhD, Associate Professor
Vinnytsia National Agrarian University
D. Protsenko, PhD, Associate Professor
Vinnytsia National Technical University

В роботі запропоновано метод відстеження графіка навантаження тваринницької ферми, заснований на визначенні необхідної потужності генерування в залежності від фактичного графіка навантаження. Використання даного методу дозволяє здійснювати керування біогазовими енергоустановками на базі двигунів внутрішнього згорання в залежності від змін величини навантаження без резервування потужності на час можливого зміщення технологічних операцій. На відміну від методу резервування потужності не виникають додаткові втрати потужності на час резервування, виключені можливі некоректні комутації електротехнічного обладнання які не відповідають нормованому графіку, передбачена робота при зміні черговості операцій та порядку ввімкнення обладнання. Використання методу підвищує енергоефективність біогазової установки а також підвищує надійність системи автономного електропостачання тваринницької ферми. Проведені розрахунки використання даного методу для ферми великої рогатої худоби засвідчують його енергетичну ефективність в умовах автономного електропостачання.

Розроблені підходи щодо відстеження графіка навантаження тваринницької ферми дозволяють здійснювати керування біогазовими енергоустановками в залежності від змін величини навантаження без резервування потужності на час можливого зміщення технологічних операцій. Використання запропонованого методу особливо актуальне для автономних систем електропостачання. Проведені розрахунки використання даного методу для ферми ВРХ засвідчують його ефективність, зокрема для малої ферми ВРХ з поголів'ям 60 дійних корів, 11 сухостійних та 29 голів молодняка, що утримуються в зимово-стійловому періоді, сумарна економія складає 82,8 кВт·год на добу.

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

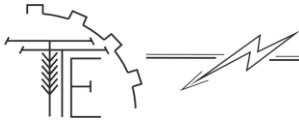
Ф.4. Рис. 6. Літ. 8.

1. Постановка проблеми

Тваринницькі ферми є значними споживачами електроенергії, вартість якої напряму впливає на собівартість продукції та її конкурентоздатність на ринку [1]. Крім того технологічні процеси сучасних фермерських господарств потребують надійного електропостачання та високу якість електроенергії [2], яка часто не відповідає встановленим стандартам, особливо в сільській місцевості, через зношеність обладнання розподільчих мереж. Як вирішення вказаних проблем може виступати побудова систем електропостачання з використанням альтернативних джерел енергії: сонячної, вітрової, біологічної. В умовах тваринницької ферми особливо актуальність мають біоенергетичні установки, які працюють на біогазі [3]. Для ефективного використання біоенергетичної установки потрібно узгодити рівень генерування із графіком навантаження, який визначається технологічним процесом та наявним обладнанням ферми. Тому виникає необхідність відстеження графіка навантаження та вибору відповідної потужності генерації.

2. Аналіз останніх досліджень і публікацій

В роботах [4-5] запропоновано покриття навантаження при автономному електропостачанні, заснований на визначенні середньозважених показників електропостачання, за умови наявності маневрової потужності, із застосуванням накопичувачів. Також використовуються методи



прогнозування електроспоживання на основі застосування нейронних мереж [6]. В роботі [7] запропоновано використовувати інверторні генераторні установки, які дозволяють здійснювати керування швидкістю обертання двигуна внутрішнього згорання для зниження витрат пального та підвищення його ресурсу. Однак дані методи не передбачають здійснення керування генерацією з врахуванням фактичного електроспоживання в кожен момент часу. Крім того багато існуючих методів потребують додаткового обладнання.

3. Мета дослідження

Отже метою роботи є підвищення енергоефективності системи автономного електропостачання на базі біогазової установки за рахунок керування величиною потужності генерування з врахуванням фактичного графіка навантаження тваринницької ферми.

4. Основні результати дослідження

Як правило генератор біогазової установки приводиться в обертання, газовим двигуном внутрішнього згорання швидкість обертання, якого підтримується незмінною, для забезпечення сталої частоти на виході генератора [3]. Для регулювання потужності генерування з метою підвищення ефективності використання генераторних установок використовують групу генераторів, які паралельно працюють на спільне навантаження. В ідеальному випадку сумарна потужність працюючих в номінальному, або близькому до номінального режимі генераторів повинна співпадати із потужністю, яка споживається електричним обладнанням фермерського господарства.

Тваринницькі господарства, як правило, мають графіки навантаження, які характеризуються високою ступінню регулярності, це пояснюється визначеною технологічним процесом послідовністю вмикання того чи іншого обладнання, причому часові зсуви між операціями мінімальні. В роботі [8] розглянуто метод оптимального вибору складу генераторної групи для покриття графіку навантаження. Для застосування даного методу необхідно відслідковувати графік навантаження в реальному часі та обирати необхідну кількість генераторів. Для вирішення такого завдання в найпростішому випадку, необхідно забезпечити потужність генераторної групи, яка із запасом на можливі зміщення вмикання та вимикання технологічного обладнання буде покривати навантаження господарства. Крім того необхідно враховувати час потрібний для запуску додаткового генератора.

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 кожен інтервал якої характеризується виконання однієї або декількох операцій. Для покриття графіка навантаження для кожного такого інтервалу повинні бути відомі встановлена сумарна потужність, тривалість, час запасу вмикання та вимикання. На рисунку 1 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 .

Такий підхід, коли резервується час необхідний на вмикання та вимикання навантаження, має ряд недоліків: виникають додаткові втрати потужності Δp (рис.1); можливі моменти одночасного ввімкнення обладнання на суміжних операціях, тоді потужності недостатньо, некоректна робота при зміні черговості операцій та порядку ввімкнення обладнання. Втрати потужності Δp , зумовлюються запасом часу на покриття графіка навантаження, та є пропорційними різниці потужностей генерації, що відповідає комутації технологічного обладнання.

Сумарні додаткові втрати електроенергії, які зумовлені запасами часу ввімкнення та вимкнення для кожної операції можна знайти із виразу

$$\Delta W = \sum \Delta p \cdot t = \sum_{i=1}^k (P'_{i+1} - P'_i) \cdot t_{i+1}^{3.B.} + \sum_{j=1}^s (P'_j - P'_{j-1}) \cdot t_j^{3.BИМ.}, \quad (1)$$

де k – загальна кількість операцій вмикання електричного навантаження (нарошення потужності);

s - загальна кількість операцій вимикання електричного навантаження (скид потужності);

P' - потужність генераторної групи, яка відповідає тому чи іншому часовому діапазону;

$t^{3.B.}$ - час запасу вмикання характерний для певної операції, який визначається характеристиками та особливостями навантаження;



$t^{3.вим.}$ - час запасу вимикання характерного для певної операції.

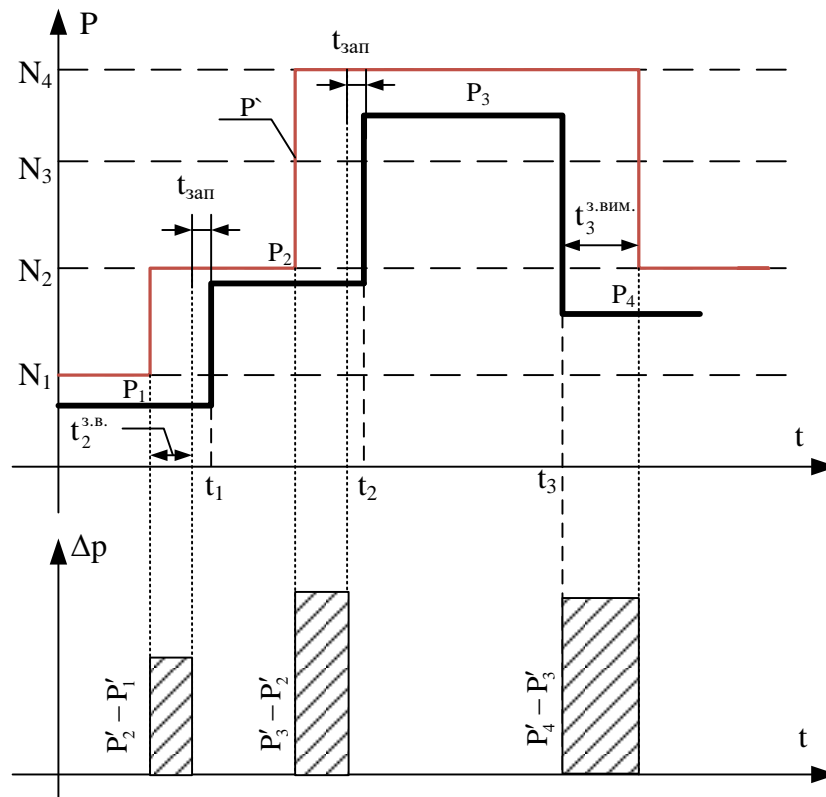


Рис. 1 – Додаткові втрати при резервування часу

Як видно з формули (1) час запасу вмикання та вимикання кожної технологічної операції визначає додаткові втрати енергії, дані запаси часу необхідні для компенсації можливих часових зміщень, затягувань або скорочення тривалості відповідних технологічних операцій. Кожна технологічна операція характеризується часом запасу вмикання та вимикання. Якщо зміна потужності генераторів буде відбуватись разом із зміною навантаження без даних затримок, тоді втрати потужності в даних режимах можна звести до мінімуму.

Недоліки резервування потужності генераторів на час вмикання або вимикання усунуті в методі, який описаний алгоритмом, блок-схема якого зображена на рис.2. Даний алгоритм передбачає поділ операцій на тваринницькій фермі на ті не допускають затримок в часі, це наприклад операції доїння, і ті які можуть бути зміщені в часі на час завершення попередніх операцій з врахуванням часу запуску додаткового генератора.

Алгоритм передбачає введення початкових умов в блок 2 - це параметри добового споживання, у вигляді графіка навантаження, кількість генераторів та їх потужність. В блоці 3 відбувається визначення необхідної потужності згідно діаграми навантаження в даний момент часу, блок 4 відповідає за вибір числа та потужності генераторів для покриття заданого навантаження, за оптимальним алгоритмом, далі відбувається запуск чи зупинка генераторів відповідних генераторів (блок 5). Технологічні операції перевіряються на необхідність виконання без затримок (блок 6), у випадку наявності такої операції відбувається її ідентифікація згідно графіка навантаження та корегується навантаження для блоку оптимального вибору генераторної групи відповідно до планового споживання на даній операції (блоки 7, 8). Якщо в даний момент часу відсутні операції які виконуються без затримок часу то зміна розрахункової потужності відбувається за командою запуску чи зупинки технологічного обладнання, причому запуск обладнання можливий тільки після завершення попередніх операцій та вимкнення відповідного обладнання (блоки 9-13). Запуск технологічного обладнання відбувається тільки після запуску генераторів для покриття розрахункової потужності, за рахунок формування дозвільного сигналу вмикання.

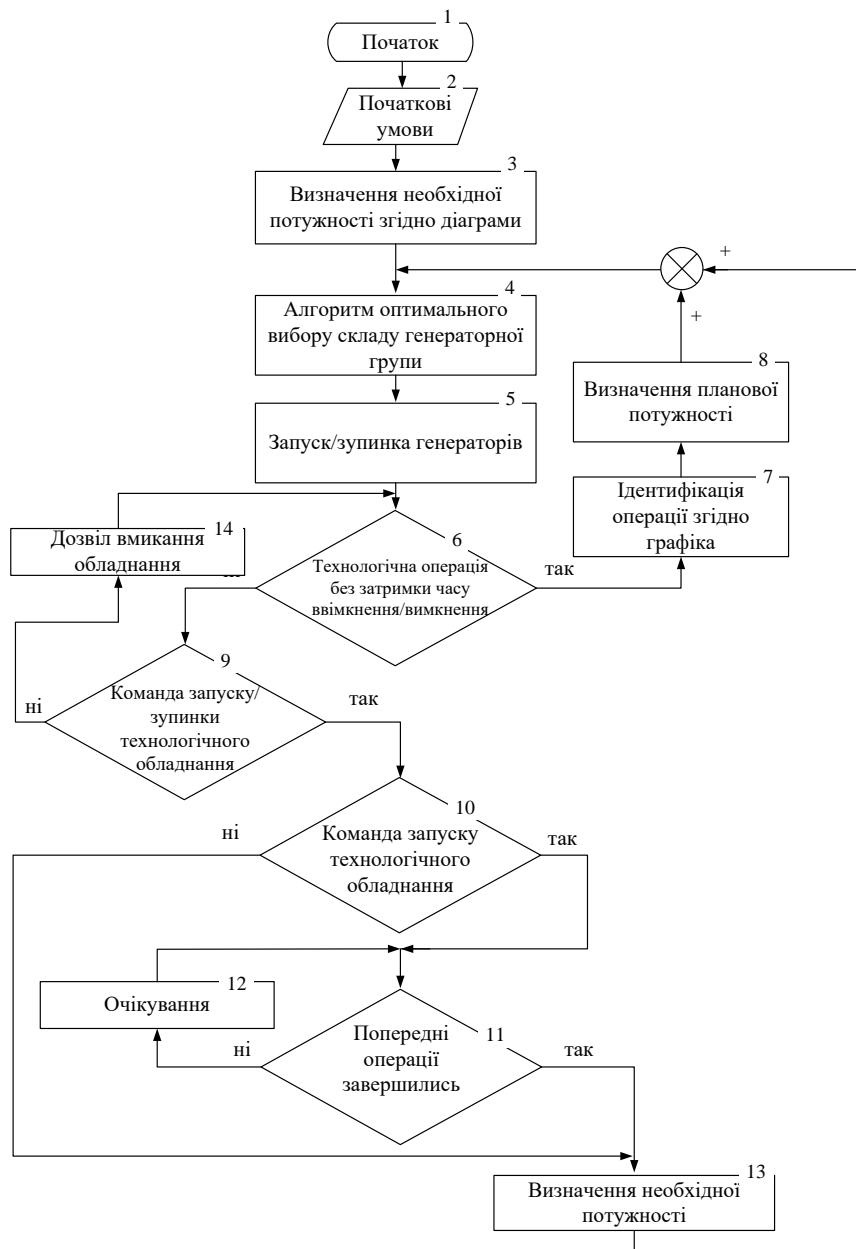


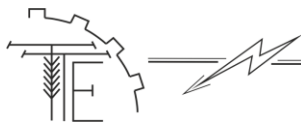
Рис. 2 – Алгоритм відслідкування навантаження тваринницької ферми

Якщо вважати, що тваринницька ферма обладнана генераторними біогазовими установками однакової номінальної потужності N_n кількістю m , тоді алгоритм вибору складу генераторної групи, що реалізується блоком 4 (рис. 2), можна розписати у вигляді системи рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{якщо } P_{г\Sigma} > P_{розр}; n_g = \frac{P_{г\Sigma} - P_{розр}}{N_n}, n_g \in [1, 2, 3 \dots m-1] \Rightarrow \text{вимк. } n_g \text{ генер.}; \\ \text{якщо } P_{г\Sigma} < P_{розр}; n_g = \frac{P_{розр} - P_{г\Sigma}}{N_n}, n_g \in [1, 2, 3 \dots m-1] \Rightarrow \text{ввімк. } n_g \text{ генер.}, \end{array} \right. \quad (2)$$

де $P_{г\Sigma}$ – загальна поточна потужність генерування;

$P_{розр}$ – розрахункова потужність навантаження;



n_T – кількість генераторів, які вмикаються, або вимикаються при зміні навантаження.

Для оцінки ефективності запропонованого методу здійснено експериментальне визначення графіка навантаження та протягом тривалого спостереження зафіксовані можливі часові зміщення технологічних операцій на вмикання та вимикання.

Розглянемо споживання електроенергії на малій фермі великої рогатої худоби (ВРХ). Поголів'я ферми складається з 60 дійних корів, 11 - ти сухостійних та 29 голів молодняка, тобто нетелей і телят. Утримання в зимово-стійловий період.

На рис. 3 зображено діаграми роботи обладнання вказаної тваринницької ферми з програми Excel та здійснено розрахунок графіка навантаження, просумувавши потужності для відповідних часових діапазонів.

Операція (марка обладнання)	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 (ПК-6)	3,2		1																1														
Подавання корене-бульбоплодів (ТК-5Б)	3				1	1	1													1	1	1											
Побрібнення коренебульбоплодів (ІКМ-10)	14				1	1	1													1	1	1											
Приготування сінного борошна (КДУ-2, БР-15)	22		1	1															1	1													
	6	1	1					1	1					1	1					1	1					1	1						
Подавання борошна (ПСМ-10)	2,7				1		1													1			1										
Побрібнення силосу (ІКВ-5А)	22				1	1														1	1												
Завантаження кормів (КВ-Ф-40)	1,5			1	1	1	1													1	1	1	1										
	2,2			1	1	1	1													1	1	1	1										
Приготування сумішей	2,2				1	1	1	1													1	1	1	1									
Видання кормів (ШВС-40М)	12						1	1																									
Дійння корів (АДМ-8)	7			1	1	1	1	1	1																		1	1	1	1	1	1	1
Охолодження молока (ТОМ-2А)	5								1	1	1	1	1	1	1	1													1	1	1	1	1
Прибирання гною (УС-15)	2,5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Освітлення	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
Навантаження, кВт	9,5	32	39	58	56	49	36	22	8,5	8,5	8,5	8,5	15	15	3,5	3,5	3,5	26	38	57	49	42	18	3,5	17	17	16	16	16	16	16	16	

Рис. 3 – Діаграми роботи технологічного обладнання тваринницької ферми та розрахунок графіка навантаження

Графік навантаження тваринницької ферми згідно розрахунків наведено на рис. 4 з якого видно, що є два періоди пікового навантаження – ранковий: з 6-00 до 8-30 та обідній: з 14-00 до 16-00. В ці періоди споживання перевищує відмітку 30кВт.

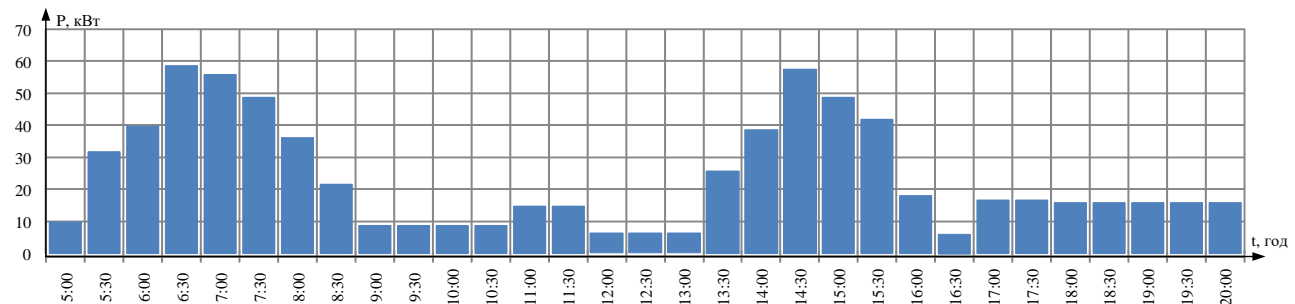


Рис. 4 – Графік навантаження тваринницької ферми

На рис. 5 наведено діаграму запасів часу вмикання або вимикання електрообладнання, для кожної з технологічної операції тваринницької ферми, та розраховано можливу економію потужності внаслідок застосування запропонованого методу.

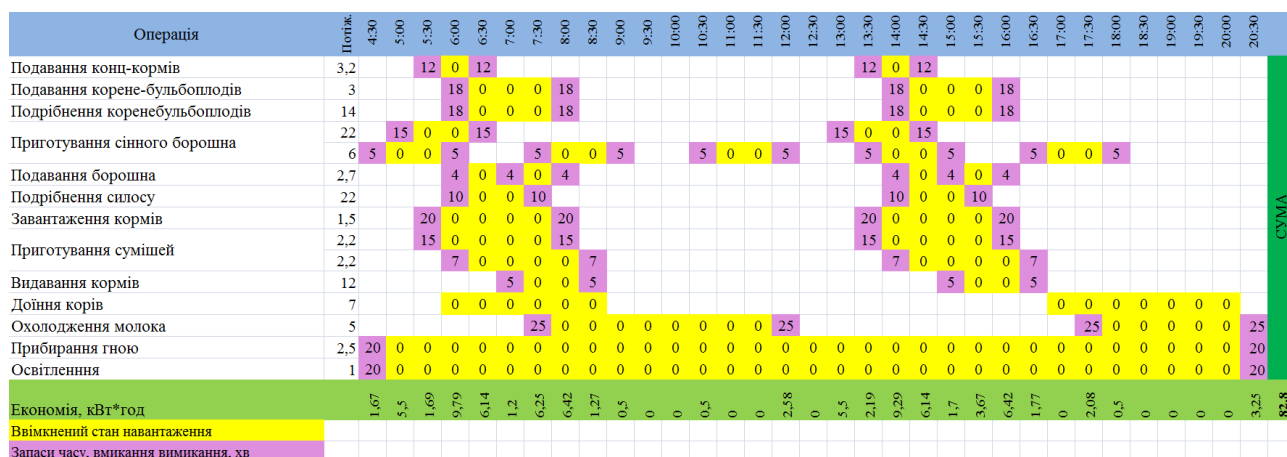
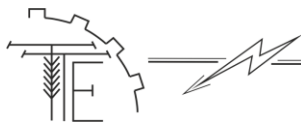


Рис. 5 – Діаграма запасів часу вмикання або вимкнення електрообладнання для технологічних операцій тваринницької ферми

Графік економії енергії внаслідок застосування запропонованого алгоритму наведено на рис. 6, як видно потенціал економії досить значний він в повній мірі може реалізуватись, якщо система має накопичувачі енергії для поглинання надлишку потужності генераторів, що зумовлений дискретністю його регулювання.

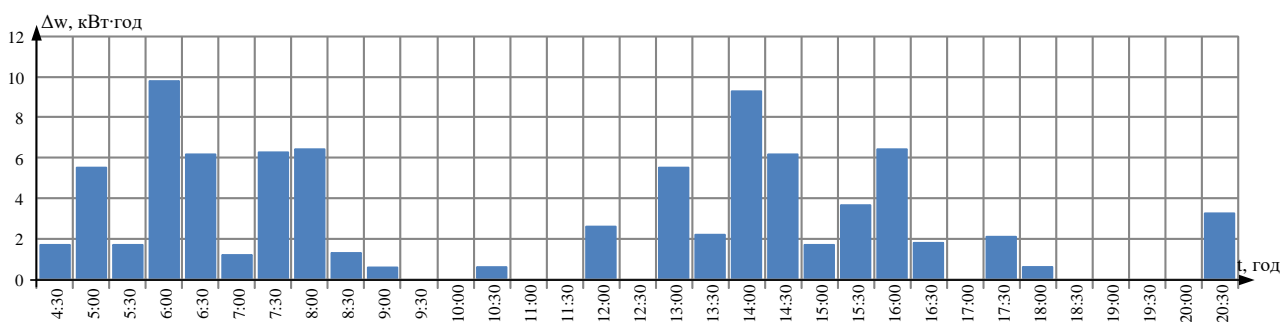


Рис. 6 – Економія енергії за рахунок застосування запропонованого алгоритму

5. Висновки та пропозиції

Розроблені підходи щодо відстеження графіка навантаження тваринницької ферми дозволяють здійснювати керування біогазовими енергоустановками в залежності від змін величини навантаження без резервування потужності на час можливого зміщення технологічних операцій. Використання запропонованого методу особливо актуальне для автономних систем електропостачання. Проведені розрахунки використання даного методу для ферми ВРХ засвідчують його ефективність, зокрема для малої ферми ВРХ з поголів'ям 60 дійних корів, 11 сухостійних та 29 голів молодняка, що утримуються в зимово-стійловому періоді, сумарна економія складає 82,8 кВт·год на добу.

Список використаних джерел

1. Грабак Н. Х. Проблеми енергозбереження в АПК України та шляхи її розв'язання. *Екологія. – Наукові праці*. 2010. Вип. 138. Том 150. С. 83–89.
2. Войтюк Д. Г., Синявський О. Ю., Савченко В. В. Вплив якості електричної енергії на технологічні процеси в тваринництві. *Енергетика та автоматика*. 2015. №3. С. 60–69.
3. Калетнік Г. М. Біопаливо. Продовольча, енергетична та економічна безпека України : монографія. К. : Хай-Тек Прес, 2010. 516 с.
4. Плешков С. П. Застосування математичних моделей електроспоживання сільськогосподарського виробництва в системах автоматичного контролю та управління. *Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України*. Харків:ХДТУСГ. 2001.Вип.6. С.269–273.



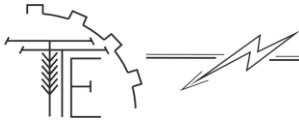
5. Розен В. П., Іншеков Є. М., Калінчик І. В. Оптимізація процесів вироблення електроенергії комбінованою електроенергетичною системою. *Енергетика*. 2013. №. 1. С. 20–26.
6. Манусов В. З., Бирюков Е. В. Краткосрочное прогнозирование электрической нагрузки на основе нечеткой нейронной сети и ее сравнение с другими методами. *Известия Томского политехнического университета*, Томск, 2006. № 2. С. 153–158.
7. Обухов С. Г., Плотников И. А. Экспериментальные исследования дизель-генераторной установки на переменной частоте вращения. *Известия Томского политехнического университета*. Инжиниринг георесурсов, 2015. Т. 326. № 6. С. 95–102.
8. Стаднік М.І. Оптимізація складу генеруючого обладнання автономного енергопостачання тваринницької ферми при використанні біогазу. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*, 2018. №2(101). С. 81–88.

References

- [1] Hrabak, N. H. (2010). Problemy enerhozberezhennya v APK Ukrayiny ta shlyakhy yiyi rozv'yazannya [Problems of energy saving in the agro-industrial complex of Ukraine and ways to solve it]. *Ekolohiya. – Naukovi pratsi*, 150, 83–89. [in Ukrainian]
- [2] Voytyuk, D. H., Synyavs'kyi, O. Y., Savchenko, V. V. (2015). Vplyv yakosti elektrychnoyi enerhiyi na tekhnolohichni protsesy v tvarynnystvi [Influence of electric power quality on technological processes in animal husbandry]. *Enerhetyka ta avtomatyka*, 3, 60–69. [in Ukrainian]
- [3] Kaletnik, H. M. (2010). *Biopalyvo. Prodovolcha, enerhetychna ta ekonomichna bezpeka Ukrainy: Monohrafiia [Biofuels. Food, Energy and Economic Security of Ukraine: Monograph]*. Kyiv: Khai-Tek Pres. [in Ukrainian].
- [4] Pleshkov, S. P. (2001). Zastosuvannya matematychnykh modeley elektrozpozhyvannya sil's'kohospodars'koho vyrobnytstva v systemakh avtomatychnoho kontrolyu ta upravlinnya [Application of mathematical models of agricultural electricity consumption in automatic control and control systems], *Visnyk Kharkivs'koho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu sil's'koho hospodarstva*, (6), 269–273, [in Ukrainian].
- [5] Rosen, V. P., Insekov, E. M., Kalinchik, I. V. (2013). Optymizatsiya protsesiv vyroblennya elektroenerhiyi kombinova-noyu elektroenerhetychnoyu systemoyu [Optimization of electricity generation processes by combined electric power system]. *Enerhetyka*, 1, 20–26, [in Ukrainian].
- [6] Manusov, V. Z., Byryukov, E. V. (2006). Kratkosrochnoe prohozyrovanye élektrycheskoy nahruczky na osnove nechetkoy neyronnoy sety y ee sravnenye s druhymy metodamy [Short-term prediction of electrical load based on fuzzy neural network and its comparison with other methods], *Yzvestyya Tomskoho polytekhnicheskoho unyversyteta*, 2, 153–158. [in Russian].
- [7] Obukhov, S. G., Plotnikov, I. A. (2015). Èksperymental'nye yssledovanyya dyzel'dheneratornoy ustanovky na peremennoy chastote vrashcheniya [Experimental studies of a diesel generator set at a variable speed], *Yzvestyya Tomskoho polytekhnicheskoho unyversyteta. Ynzhynyrnyy heoresursov*, 6, 95–102, [in Russian].
- [8] Stadnik, M. I. (2018). Optymizatsiya vyroblenoho heneruyuchoho obladnannya avtonomnoho enerhopostachannya tvarynnys't'koyi fermy pry postynomu biohazu [Optimization of the composition of the livestock farm's autonomous energy supply generating equipment using biogas], *Tekhnika, enerhetyka, transport APK*, 2(101), 81–88. [in Ukrainian].

МЕТОД ПОКРЫТИЯ ГРАФИКА НАГРУЗКИ ЖИВОТНОВОДЧЕСКОЙ ФЕРМЫ ПРИ АВТОНОМНОМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИИ, НА БАЗЕ БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК

В работе предложен метод отслеживания графика нагрузки животноводческой фермы, основанный на определении необходимой мощности генерации в зависимости от фактического графика нагрузки. Использование данного метода позволяет осуществлять управление биогазовых энергоустановками на базе двигателей внутреннего сгорания в зависимости от изменений величины нагрузки без резервирования мощности на время возможного смещения технологических операций. В отличие от метода резервирования мощности не возникают дополнительные потери мощности на время резервирования, исключены возможные некорректные коммутации электротехнического оборудования не соответствующих нормированном графике, предусмотрена работа при изменении очередности операций и порядка включения оборудования. Использование метода повышает энергоэффективность биогазовой



установки а также повышает надежность системы автономного электроснабжения животноводческой фермы. Проведенные расчеты использования данного метода для фермы крупного рогатого скота свидетельствуют его энергетическую эффективность в условиях автономного электроснабжения.

Разработанные подходы по отслеживанию графика нагрузки животноводческой фермы позволяют осуществлять управление биогазовых энергоустановками в зависимости от изменений величины нагрузки без резервирования мощности на время возможного смещения технологических операций. Использование предложенного метода особенно актуально для автономных систем электроснабжения. Проведенные расчеты использования данного метода для фермы КРС свидетельствуют его эффективность, в частности для малой фермы КРС с поголовьем 60 дойных коров, 11 сухостойных и 29 голов молодняка, содержащихся в зимне-стойловом периоде, суммарная экономия составляет 82,8 кВт · ч в сутки.

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

Ф.4. Рис. 6. Лит. 8.

METHOD OF COVERING THE SCHEDULE OF LOADING OF A LIVESTOCK FARM IN THE CASE OF AUTONOMOUS ELECTRICITY SUPPLY, BASED ON BIOGAS PLANTS

The paper proposes a method of tracking the livestock farm load schedule based on the determination of the required generation capacity depending on the actual load schedule. The use of this method allows the management of biogas power plants based on internal combustion engines, depending on changes in the load without power reserve for the time of possible displacement of technological operations. Unlike the power backup method, there is no additional power loss at the time of the reservation, the possible incorrect switches of electrical equipment that do not correspond to the normalized schedule are excluded, there is work in changing the order of operations and the order of switching on the equipment. The use of the method improves the energy efficiency of the biogas plant and also increases the reliability of the livestock farm's autonomous electricity supply system. The calculations of the use of this method for the cattle farm prove its energy efficiency in the conditions of autonomous electricity supply.

Developed approaches to tracking the load schedule of the livestock farm allow for the management of biogas power plants depending on changes in the magnitude of the load without power reserve for the time of possible displacement of technological operations. The use of the proposed method is especially relevant for autonomous power systems. The calculations of using this method for a cattle farm testify to its effectiveness, in particular for a small cattle farm with a herd of 60 valid cows, 11 dry and 29 heads of young animals kept in the winter-stall period, the total saving is 82.8 kW · h day.

Keywords: livestock farm, load schedule, generator, biogas, autonomous electricity supply.

F.4. Fig. 6. Lit. 8.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Стаднік Микола Іванович – доктор технічних наук, професор кафедри «Електроенергетики, електротехніки та електромеханіки» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, email: stadnik1948@gmail.com).

Грицун Анатолій Васильович - к.с-г.н., доцент кафедри «Агроінженерії і технічного сервісу» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, email: avg287@ukr.net).

Проценко Дмитро Петрович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті» Вінницького національного технічного університету (Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021, Україна, e-mail: procenko.d.p@vntu.edu.ua).

Стадник Николай Иванович – доктор технических наук, профессор кафедры «Электроэнергетики, электротехники и электромеханики» Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, 21008, Украина, email: stadnik1948@gmail.com).



Грицун Анатолий Васильевич - к.с.-х.н., доцент кафедры «Агроинженерии и технического сервиса» Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, 21008, Украина, email: avg287@ukr.net).

Проценко Дмитрий Петрович - кандидат технических наук, доцент кафедры «Электромеханических систем автоматизации в промышленности и на транспорте» Винницкого национального технического университета (Хмельницкое шоссе, 95, г. Винница, 21021, Украина, e-mail: procenko.dp@vntu.edu.ua).

Stadnik Mykola – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department " Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics " of the Vinnytsia National Agrarian University (3, Solnychna str., Vinnytsia, 21008, Ukraine, email: stadnik1948@gmail.com).

Hrytsun Aatolii - PhD, Associate Professor, of the Department «Agroengineering and technical service» of the Vinnytsia National Agrarian University (3, Solnychna str., Vinnytsia, 21008, Ukraine, email: avg287@ukr.net).

Protsenko Dmytro - PhD, Associate Professor, Department of Electromechanical Automation Systems in Industry and Transportation, Vinnitsa National Technical University (Khmelnyske shose, Vinnytsia, 21021, Ukraine, e-mail: procenko.dp@vntu.edu.ua).