

**В. Павліський, докт. техн. наук; В. Подобайло, канд. техн. наук;  
М. Потапенко**

*Відокремлений структурний підрозділ Національного аграрного  
університету «Бережанський агротехнічний інститут»*

## **УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЕЛЕКТРОТЕРМІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК**

*Обґрунтовано застосування електротермічного обладнання і водяних теплоакumuлюючих установок замість теплових систем, які працюють на біогазі.*

*Запропоновано методику зменшення експлуатаційних витрат електротермічного обладнання біогазових установок шляхом удосконалення планування робіт з їх технічного обслуговування і поточного ремонту.*

**V.Pavlisky, V.Podobaylo, M.Potapenko**

## **IMPROVING OF EXPLOITATION SYSTEMS OF ELECTRIC AND THERMAL EQUIPMENTS OF BIOGAS INSTALLATIONS**

*It is discussed the applying of electric and thermal equipments and water heat accumulating installations instead of thermal systems, which work on biogas.*

*It is suggested the methods of decreasing of exploitations expenses of electric and thermal equipments of biogas installations by improving of planned works on its technical equipment and maintenance.*

Робота виконана відповідно до державної науково-технічної програми “Ефективні та ресурсозберігаючі технології виробництва, перетворення та використання енергії в АПК”.

Загострення екологічних проблем, а також зростання цін на традиційні енергоресурси зумовили велику зацікавленість до біоконверсії органічних відходів методом анаеробної ферментації для захисту довкілля і отримання енергії. Застосування анаеробної ферментації органічних речовин дозволяє отримати не лише біогаз, який є зручним енергоносієм, але і використовувати цей процес для переробки забруднюючих навколишнє середовище відходів, а відферментовані матеріали використовувати як добрива для поліпшення фізико – хімічних властивостей ґрунтів [1].

Взаємодіючими елементами біогазових установок (БГУ) є окремі типи технологічного обладнання та різні види сировини і енергоносіїв, які використовуються в технологічному процесі ферментації, та різноманітні системи автоматичного керування. Органічні речовини розкладаються метановими бактеріями при сприятливих для їх життєдіяльності умовах, а саме: відсутності вільного кисню, відповідної температури, високій вологості, достатній кількості азоту та нейтральному середовищі.

Для підтримання оптимальної температури продуктів ферментації в біореакторі необхідні надійна теплоізоляція та додаткове підігрівання для компенсації втрат теплової енергії. Необхідна для життєдіяльності бактерій температура в кліматичних умовах України може підтримуватись лише при використанні додаткових енергетичних затрат, величина яких змінюється залежно від ступеня теплоізоляції. Метанові бактерії витримують температурні коливання в межах 3 – 4 °С на добу. З технічної точки зору, проблема підтримання температури в метантенках з градієнтом в 3 - 4°С легко вирішується сучасними засобами автоматизації, але цей процес занадто енергомісткий.

Так, в сучасних БГУ, для підтримання температурного режиму в метантенку в допустимих межах, особливо в зимовий період, затрачається майже 70% виробленого біогазу [2].

Будь – яка система постачання енергії складається із джерела первинної енергії, підсистеми перетворення енергії і споживачів перетвореної енергії [2]. Джерело первинної енергії – біогаз, в системі постачання теплової енергії БГУ пропонується замінити електричною енергією, з підсистемою термоелектричного обладнання і теплоакумулюючих установок. При цьому у системі будуть виникати невідповідності в часі між подачею і споживанням енергії. Подолання цієї невідповідності є основною метою акумулювання енергії. Теплоакумулюючі електронагрівні установки вмикаються в електромережу лише в години провалів добових графіків навантажень підстанцій. Вирівнювання графіка навантажень сприяє підвищенню використання встановленої потужності електрообладнання системи електропостачання.

При тритарифній оплаті за електроенергію її вартість в нічний час з 21 до 7 години ранку в 4 рази дешевша, ніж вартість денної енергії з 10 до 18 години, і в 7 разів дешевша за пікову енергію з 7 до 10 години ранку і з 18 до 21 години вечора. Ефективність акумулювання можна оцінювати в джоулях на гривню, джоулях на одиницю об'єму і в джоулях на кілограм маси. Перша оцінка завжди є вирішальною.

Водяні акумулятори тепла належать до найбільш простих і надійних установок, що пов'язано із суміщенням функцій теплоакумулюючого матеріалу і теплоносія. Питома ефективність водяних акумуляторів тепла становить від 2 до 10 МДж/грн [2].

Як перетворювачі електричної енергії в теплову доцільно застосовувати, залежно від потужності БГУ, елементні водонагрівачі типу САОС та електродні водонагрівачі типу ЭПЗ та КЭВ.

Результати обстеження роботи електротермічного обладнання на підприємствах АПК [3] виявили досить часті необґрунтовані його відмови. Середній час простою в результаті аварій становить 70 – 110 годин.

Відмови електротермічного обладнання приводять до збитків, які складаються із вартості аварійного ремонту самої установки і вартості зумовленої порушенням температурного режиму метаногенезу. Залежно від виду відмови електротермічної установки (ЕТУ) збитки для потужних біогазових установок можуть складати від 750 до 2250 гривні.

Річні затрати на експлуатацію електротермічного обладнання можна значно знизити, якщо скоротити число їх відмов та зменшити втрати від порушення технологічного процесу БГУ. Зменшити кількість відмов можна шляхом організації технічних обслуговувань (ТО) і поточних ремонтів (ПР) в оптимальні терміни і з високою якістю, а зменшити збитки від порушення температурного режиму БГУ можна за рахунок скорочення часу ремонту ЕТУ.

В даний час обслуговування електроустановок регламентується системою планово – запобіжних ремонтів (ПЗР) [4], де наведені нормативи з періодичності виконання робіт та затрат праці на кожний елемент електрообладнання. Періодичності проведення технічних обслуговувань для систем автоматики, апаратів керування і захисту і самих електротермічних установок різняться в часі, вони змінюються від 2 – 6 місяців для проведення ТО і від 6 – 12 місяців для проведення ПР, а тому необґрунтовано збільшується тривалість простоїв всієї електротермічної установки. Щоб зменшити експлуатаційні витрати та удосконалити планування робіт з ТО і ПР, доцільно мати інтегральні показники, які б визначили періодичність, трудомісткість і вартість профілактичних робіт для ЕТУ і систем керування.

Для обґрунтування інтегральних показників ТО і ПР електротермічних установок застосували функцію розподілу тривалості роботи до відмови, тривалості і вартості планових ТО і ПР та аварійних ремонтів [3]. Періодичність ТО і ПР

оптимізували по мінімуму експлуатаційних витрат, використовуючи наступне рівняння [5]:

$$\lambda(t) \cdot \int_0^t P(t) \cdot dt - F(t) = \frac{B_{\hat{a}}}{\hat{A}_{\delta} - \hat{A}_{\hat{a}}} \rightarrow m^3n, \quad (1)$$

де  $\lambda(t)$  - інтенсивність відмов ЕТУ;

$P(t)$  - ймовірність безвідмовної роботи даної установки;

$F(t)$  - функція розподілу тривалості роботи ЕТУ до відмови;

$B_{\hat{a}}$  - експлуатаційні витрати на одне обслуговування установки, грн.;

$B_{\delta}$  - затрати, які пов'язані з відновленням працездатності ЕТУ, грн.;

$t$  - час.

Результати обстеження роботи ЕТУ співробітниками Н.Н.Ц. УНДІМЕС.г. [3] дозволили встановити, що функція розподілу тривалості роботи електротермічних установок до відмови  $F(t)$  апроксимується розподілом Вейбулла:

$$F(t) = 1 - \exp(-\lambda_0 \cdot t^k), \quad (2)$$

де  $\lambda_0$  - параметр, який визначає масштаб розподілу;

$k$  - параметр асиметрії розподілу.

Параметри розподілу наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 - Дані статистичних досліджень

Тип електротермічної установки	$\lambda_0, \frac{1}{\text{міс.}}$	$k$	$\lambda(t), \frac{1}{\text{міс.}}$	$T, \text{міс.}$
Елементні водонагрівачі	0,02	1,62	$0,033 \cdot t^{0,62}$	9,86
Електродні водонагрівачі	0,02	1,76	$0,36 \cdot t^{0,76}$	8

Інтенсивність відмов електротермічних установок  $\lambda(t)$  визначилась через параметри розподілу Вейбулла за формулою:

$$\lambda(t) = \lambda_0 \cdot k \cdot t^{k-1}. \quad (3)$$

А її значення для кожного виду електротермічних установок наведені в таблиці 1.

Ймовірність безвідмовної роботи визначається за формулою [5]:

$$P(t) = 1 - F(t). \quad (4)$$

Система ПЗР [4] чітко регламентує затрати праці в людино – годинах на проведення ТО і ПР для кожного елемента електрообладнання електротехнічної установки. Знаючи середні погодинні ставки електротехнічного персоналу, визначили витрати, які необхідні для проведення ТО, ПР та відновлення працездатності ЕТУ, а результати розрахунків наведені в таблиці 2.

Таблиця 2 - Вартість виконання робіт на ЕТУ, в гривнях

Тип електротермічної установки	Технічне обслуговування	Поточний ремонт	Аварійний ремонт
Елементні водонагрівачі	9,64	99,1	269,67
Електродні водонагрівачі	34,7	228,76	498,3

Підставивши отримані дані в рівняння (1), розраховано значення оптимальної періодичності проведення ТО і ПР. Для елементних водонагрівачів вона становить: на ТО – 2,89 міс., на ПР – 12,4 міс.; для електродних водонагрівачів: на ТО – 3,3 міс., на ПР – 11,2 міс. На основі отриманих результатів, незалежно від типу установки, можна

прийняти оптимальну періодичність для ТО – 3 місяці, ПР – 12 місяців. Застосування сучасних діагностичних пристроїв дозволить прогнозувати технічний стан електротермічних установок та значно зменшити кількість аварійних ремонтів. Різниця між питомими експлуатаційними витратами  $B_e$  у випадку неналежного технічного догляду за ЕТУ і  $\hat{A}_{m'n}$  у випадку проведення профілактичних заходів в оптимальні терміни із застосуванням засобів діагностики дозволить дати кількісну оцінку ефективності проведення ТО і ПР електротермічного обладнання.

Середні питомі затрати при недотриманні оптимальної періодичності профілактичних робіт визначатимуться за формулою [6]:

$$B = \frac{B_p}{T}, \quad (5)$$

де  $T$  – середнє напрацювання на відмову, місяців;

$B_p$  – затрати, які пов'язані з відновленням працездатності ЕТУ, грн.

Значення  $T$  визначається з виразу [5]:

$$T = \gamma \left( \frac{1}{k} + 1 \right) \cdot \lambda_0^{\frac{1}{k}}, \quad (6)$$

де  $\gamma$  - гама – функція.

Розраховані за формулою (6) значення середнього напрацювання на відмову наведені в таблиці 1.

Питомі експлуатаційні витрати при проведенні ТО і ПР в оптимальні терміни із застосуванням діагностування визначимо з виразу:

$$B_{m'n} = (\hat{A}_\delta - \hat{A}_a) \cdot \lambda(\tau_0), \quad (7)$$

де  $\tau_0$  - оптимальна періодичність ТО і ПР.

Питомі експлуатаційні витрати, які розраховані згідно з формулами (5) і (7), наведені в таблиці 3.

Таблиця 3 - Питомі експлуатаційні витрати на ТО і ПР електротермічної установки

Тип електротермічної установки	$B, \frac{грн}{міс}$	$\hat{A}_{m'n}, \frac{\tilde{a}\delta i}{i^3 \tilde{n}}$
Елементні водонагрівачі	27,8	15,7
Електродні водонагрівачі	63,2	36,4

Таким чином, річний економічний ефект від проведення ТО і ПР в оптимальні терміни із застосуванням діагностики для елементних водонагрівачів становить 145,2 грн., а для електродних водонагрівачів – 321,6 грн.

За значеннями оптимальної періодичності ТО і ПР БГУ та за даними про необхідні затрати часу на їх проведення, які визначені в системі ПЗР електрообладнання [4], були розраховані інтегральні показники трудомісткості і вартості робіт, таблиця 4.

Таблиця 4 - Інтегральні показники експлуатації електротермічних установок

Марка установки	Затрати робочого часу, год.			Вартість, грн		
	на ТО	на ПР	Разом	ТО	ПР	Разом
Елементні водонагрівачі						
САОС 400/90	3,86	12,42	16,28	25,1	123,62	148,72
САОС 800/90	10,18	21,6	31,78	66,14	171,1	237,23
САОС 1600/90	12,04	30,8	42,84	78,36	244,27	322,63
Електродні водонагрівачі						

ЭПЗ – 100	12,43	23,27	35,7	80,9	164,23	245,13
ЭПЗ – 250	12,73	24,47	37,2	82,87	193,92	276,79
КЭВ – 100/0,4	17,08	32,6	49,68	111,2	258,46	369,66
КЭВ – 160/0,4	17,66	37,4	55,06	115,14	296,53	411,67
КЭВ – 250/0,4	19,11	48,25	67,36	124,48	382,79	507,27

### **Висновки**

1. В системі постачання теплової енергії БГУ джерело первинної енергії – біогаз економічно доцільно замінити електричною енергією з підсистемою термоелектричного обладнання і водяних теплоакумлюючих установок.
2. Як перетворювачі електричної енергії в теплову, залежно від потужності БГУ, необхідно застосовувати елементні водонагрівачі типу САОС та електродні водонагрівачі типу ЭПЗ і КЭВ з вмиканням у позапіковий період навантажень.
3. Для зменшення експлуатаційних витрат та удосконалення планування робіт з ТО і ПР запропоновано інтегральні показники, які визначають періодичність, трудомісткість і вартість профілактичних робіт для електротермічних установок і систем керування.

### **Література**

1. Ковалев А.А., Кожевникова А.Н. Технологические линии утилизации отходов животноводства в биогаз и удобрения. – М.: Агропромиздат, 1990. – 241 с.
2. Корчемний М., Федорейко В., Щербань В. Энергозбереження в агропромисловому комплексі. – Тернопіль: Підручники і посібники, 2001. – 974 с.
3. Корчемный Н.А., Машевский В.П. Повышение надежности электрооборудования в сельском хозяйстве. – К.: Урожай, 1988. – 176 с.
4. Система планово – предупредительного ремонта и технического обслуживания с.х. предприятий. – М.: Агропромиздат, 1987. – 190 с.
5. Козлов Б.А., Ушаков Н.А. Справочник по расчету надежности аппаратуры радиоэлектроники и автоматики. – М.: Сов. радио, 1975. – 471 с.
6. Падалко Л.П., Пуляев В.Ф. Экономическая эффективность биоэнергоустановки. // Из. вузов Энергетика, 1997.– №11, №12. – С. 22-25, С. 31-37.

*Одержано 18.03.2008 р.*