

## ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГО-ЕКОНОМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК

**В. Г. ПОДОБАЙЛО**, кандидат технічних наук, доцент

**М. В. ПОТАПЕНКО**, старший викладач

**Н. П. СЕМЕНОВА**, старший викладач

**В. Л. ШАРШОНЬ**, асистент

**ВП НУБіП України «Бережанський агротехнічний інститут»**

*E-mail:* [m.potapenko@i.ua](mailto:m.potapenko@i.ua)

**Анотація.** Для підвищення енерго-економічних показників роботи біогазових установок пропонується для теплопостачання метантенків біогаз замінити електротермічними акумулюючими установками. Найвищий к.к.д. електродних водонагрівачів забезпечується за номінальних режимів роботи та відповідного питомого опору води. Запропоновано методика визначення питомого опору води електродних водонагрівачів біогазових установок на основі показів електровимірjuвальних приладів, які входять в комплект електротермічних установок. Це дозволить підтримувати номінальні параметри роботи електродних водонагрівачів протягом всього періоду експлуатації.

**Ключові слова:** *біогазові установки, електротермічне обладнання, електродні водонагрівачі*

**Актуальність.** В біогазових установках органічні речовини розкладаються метановими бактеріями за сприятливих для їх життєдіяльності умов: відсутності вільного кисню, відповідної температури, високої вологості, достатньої кількості азоту та нейтрального середовища. Необхідна для життєдіяльності бактерій температура продуктів ферментації в метантенку в кліматичних умовах України може підтримуватись лише за використання додаткових енергетичних затрат. Так, в сучасних біогазових установках, для підтримання температурного режиму в метантенках, особливо в зимовий період, затрачається майже 70 % виробленого біогазу [1]. Тому питання підвищення енергоефективності роботи біогазових установок є досить актуальним.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В системі постачання теплової енергії біогазових установок біогаз доцільно замінити електричною енергією із застосуванням термоелектричного обладнання і теплоакумулюючих установок. Це дозволить підвищити енергоефективність біогазових установок на 15% [2]. Теплоакумулюючі електронагрівні установки вмикають в електромережу в години провалів добових графіків електронавантажень підстанцій. При цьому вартість електроенергії в 4 рази дешевша, ніж вартість денної електроенергії і в 7

разів дешевша за вартість пікової енергії із 7 по 10 годину ранку та з 18 до 21 години вечора.

У якості перетворювачів електричної енергії в теплову в біогазових установках доцільно застосовувати прості за будовою і надійні в експлуатації електродні водонагрівачі типу ЕПЗ і КЭВ.

**Мета дослідження** – розробка методики і способів підтримання номінальних режимів роботи електроводонагрівачів протягом всього періоду експлуатації.

**Матеріали і методи дослідження.** В електродних водонагрівачах теплова енергія утворюється в результаті проходження струму через воду, тому їх потужність  $P$  і температуру нагрівання води  $\theta$  визначають в залежності від питомого електроопору води  $\rho$ . Номінальному значенню потужності водонагрівача  $P_n$  буде відповідати певне значення питомого опору  $\rho$ , яке за проектування водонагрівачів для визначеного району вибирають на основі даних про природні води. Але навіть у близько розташованих джерелах водопостачання значення  $\rho$  можуть значно відрізнятись, а у поверхневих вод значення змінюються за сезонами.

Крім того, в початковий період роботи електродних водонагрівачів дуже змінюються фізико-хімічні показники води. Величина  $\rho$  збільшується, тому що зменшується вміст солі у воді внаслідок термічного розкладу та випадання в осад солей жорсткості. В замкнутому робочому контурі водонагрівача, в якому втрати теплоносія і додавання сирової води незначні, жорсткість і питомий опір води стабілізуються і в подальшому залишаються постійними [3]. Так, для сирової води з жорсткістю  $\gamma = 2,6$  мг.екв./кг через 250 годин роботи нагрівача жорсткість встановлювалась на рівні 0,22 мг.екв./кг. Приблизно в середині початкового періоду через 125 годин питомий опір води збільшився з 2000 до 4300 Ом·см., тоді як водонагрівачі розраховуються на  $\rho_n = 3000$  Ом·см.

Тому, для забезпечення номінальних параметрів роботи електродних водонагрівачів під час експлуатації необхідно приводити питомий опір води до номінального значення.

**Результати дослідження та їх обговорення.** Точне значення питомого опору води можна визначити в спеціальних лабораторіях. У виробничих умовах виникає потреба спрощеного методу визначення  $\rho$  на основі показів контрольно – вимірювальних приладів, які входять в комплект поставки електродних водонагрівачів.

Під час роботи водонагрівачів контролюються такі параметри: фазні напруга  $U_\phi$  і струм  $I_\phi$  та температура на вході  $\theta_{ex}$  і на виході  $\theta_{вих}$ .

Фазний струм є функцією двох незалежних змінних: питомого опору води  $\rho_{20}$  за температури 20°C та середньої температури  $\theta_{сеп}$ .

При цьому зміну фазного струму можна записати у вигляді:

$$I_\phi = I_n \cdot k_1 \cdot k_2, \quad (1)$$

де  $I_n$  - номінальний струм водонагрівача, А;

$k_1, k_2$  - поправочні коефіцієнти, які враховують вплив на  $I_\phi$  величин  $\theta_{сеп}$  і  $\rho$ .

Добуток коефіцієнтів  $k_1 \cdot k_2$  у формулі (1) є відношення  $\frac{I_\phi}{I_n}$  відповідно за номінальних значень  $\rho_{н20}$ , коли  $k_2 = 1$  та  $\theta_{сеп}$ , коли  $k_1 = 1$ .

Значення питомого опору за середньої температури  $\rho_{\theta_{сеп}}$  визначають за формулою [4]:

$$\rho_{\theta_{сеп}} = \frac{40\rho_{н20}}{20 + \theta_{сеп}}. \quad (2)$$

Тоді

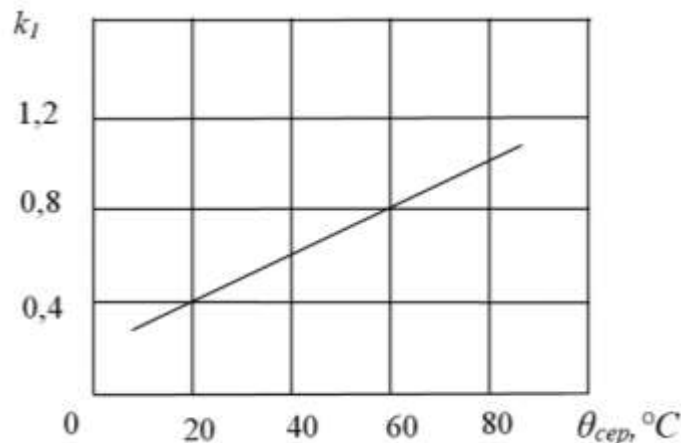
$$k_1 = \frac{I_\phi}{I_n} = \frac{\rho_{\theta_{сеп}}}{\rho_{\theta_{сеп}}} = \frac{\rho_{\theta_{сеп}} \cdot (20 + \theta_{сеп})}{40\rho_{н20}}. \quad (3)$$

Для водонагрівачів ЕПЗ і КЭВ  $\rho_{\theta_{сеп}}$  і  $\rho_{н20}$  є постійними, тому можна визначити значення коефіцієнту  $k_1$  як функцію  $\theta_{сеп}$ .

$$k_1 = 0,00975 \cdot (20 + \theta_{сеп}), \quad (4)$$

де 0,00975 – постійний коефіцієнт для водонагрівачів ЕПЗ та КЭВ.

Таким чином коефіцієнт  $k_1$  є лінійною функцією середньої температури води у водонагрівачі (рис. 1.).



**Рис. 1. Залежність поправочного коефіцієнта  $k_1$  від середньої температури води у водонагрівачі**

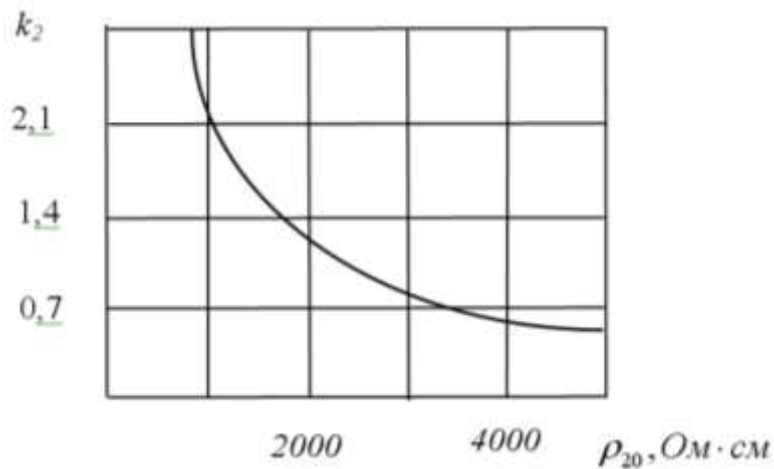
Аналогічно можемо записати рівняння для коефіцієнта  $k_2$ .

$$k_2 = \frac{I_\phi}{I_n} = \frac{\rho_{н20}}{\rho_{20}} = \frac{3000}{\rho_{20}}. \quad (5)$$

Розрахункова залежність  $k_2 = f(\rho_{20})$  показана на рис. 2.

Практичний метод визначення питомого опору води  $\rho$  для електродних водонагрівачів є наступним. За фактичним  $\theta_{сеп}$  та графіком (рис. 1) визначаємо значення коефіцієнта  $k_1$ . Потім за показами амперметра  $I_\phi$  та відомим  $I_n$  водонагрівача за формулою (1) визначаємо

значення  $k_2$ . Тоді за допомогою графіка (рис. 2) можна визначити величину питомого опору води  $\rho$ .



**Рис. 2. Залежність поправочного коефіцієнта  $k_2$  від питомого опору води  $\rho_{20}$  за  $20^\circ\text{C}$**

Експериментальна перевірка наведеного методу (кондуктометр ММЗЧ – 04) показала, що похибка вимірювань не перевищувала  $\pm 15\%$ .

Слід відмітити, що із збільшенням забруднення електродів водонагрівачів, похибка вимірювання  $\rho$  збільшується.

В процесі експлуатації водонагрівачів необхідно знати усталене в кінці початкового періоду роботи після часткового осадження накипоутворювачів значення питомого опору води  $\rho_{\text{учм.20}}$  за  $\theta = 20^\circ\text{C}$ . За ним можна встановити відповідність води джерела водопостачання водонагрівачу.

Так, якщо його величина вища за номінальне значення, то необхідно у воду додати хімічні реагенти, а коли нижча – дистильованої води або конденсат.

Для цього доцільно використовувати залежність між питомим опором води і концентрацією розчинених в ній електролітів [5]:

$$\rho_{20} = \frac{11,2 \cdot 10^3}{E/2} = \frac{11,2 \cdot 10^3}{\sum K} = \frac{11,2 \cdot 10^3}{\sum A}, \quad (6)$$

де  $E$ ,  $\sum K$ ,  $\sum A$  – відповідно сумарні концентрації в природній воді основних іонів  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ; катіонів  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ; аніонів  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ , мг.екв./кг.

Сумарна концентрація катіонів  $\text{Ca}^{2+}$  і  $\text{Mg}^{2+}$  являє собою загальну жорсткість води  $\gamma_3$  [5]:

$$\rho_{20} = \frac{11,2 \cdot 10^3}{\Delta\gamma_3 + \sum K - \Delta\gamma_{3,-}}, \quad (7)$$

де  $\Delta\gamma_3 = \gamma_3 - \gamma_{3,\text{учм.}}$  – зміна жорсткості води в кінці початкового періоду роботи.

Після перетворення отримаємо:

$$\frac{1}{\rho_{20}} = \frac{\Delta\gamma_3}{11,2 \cdot 10^3} + \frac{\sum K - \Delta\gamma_3}{11,2 \cdot 10^3}. \quad (8)$$

Друга складова виразу (8) являє собою значення  $\frac{1}{\rho_{\text{усм.20}}}$ .

Тоді з виразу (8) з поправочним коефіцієнтом 0,9 отримаємо:

$$\rho_{\text{усм.20}} = \frac{0,9}{\frac{1}{\rho_{20}} - \frac{\Delta\gamma_3}{11,2 \cdot 10^3}}. \quad (9)$$

Значення  $\rho_{20}$  і  $\gamma_3$  визначають проведенням аналізу проби сирової води, а  $\gamma_{3,\text{усм.}}$  беруть на основі досвіду роботи водонагрівачів.

За  $\gamma_3 = 1,5 \div 7$  мг.екв./кг похибка розрахунків  $\rho_{\text{усм.20}}$  за формулою (9) не більше  $\pm 5\%$ .

Щоб отримати  $\rho_{\text{н20}}$  працюючого водонагрівача, за відомого  $\rho_{\text{усм.20}}$ , потрібно визначити кількість хімічних реагентів або води з високим  $\rho$ .

Величину питомого опору води  $\rho$  можна зменшити, якщо у воду додати солі (г):

$$\chi = S_{\text{н}} - S_{\text{усм}} \cdot Q, \quad (10)$$

де  $\chi$  – кількість грам солі, що додається у воду;

$S_{\text{н}}$ ,  $S_{\text{усм}}$  – вміст солі у воді, що відповідає номінальному та усталеному в кінці початкового періоду роботи значенням  $\rho$ ,  $\frac{\rho}{\text{м}^3}$ ;

$Q$  – об'єм води замкнутої системи, в якій працює водонагрівач,  $\text{м}^3$ .

Оскільки величини:

$$S_{\text{н}} = \frac{K}{\rho_{\text{н20}}}, \quad S_{\text{усм}} = \frac{K}{\rho_{\text{усм.20}}}, \quad (11)$$

де  $k$  – постійний коефіцієнт,  $\frac{\text{Ом} \cdot \text{см} \cdot \text{г}}{\text{м}^3}$ ,

то

$$\chi = \frac{K}{\rho_{\text{н20}}} \left( 1 - \frac{\rho_{\text{н20}}}{\rho_{\text{усм.20}}} \right). \quad (12)$$

Щоб на електродах зменшити корозію і накипоутворення для підсолювання води у водонагрівачах доцільно застосовувати кальциновану соду  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , в якій  $K = 5,39 \cdot 10^5 \frac{\text{Ом} \cdot \text{см} \cdot \text{г}}{\text{м}^3}$  [6].

Тоді для електродних водонагрівачів ЕПЗ і КЭВ:

$$\chi = 180 \cdot \left( 1 - \frac{3000}{\rho_{\text{усм.20}}} \right) \cdot Q. \quad (13)$$

Коли необхідно збільшити  $\rho$ , потрібно додати в систему воду з високим питомим опором, об'єм, якої в літрах визначимо:

$$Y = \frac{1000 \chi_1}{S_{yem}}, \quad (14)$$

де  $\chi_1$  - надлишок солей у воді, г.

Після заміни  $\chi_1$  його виразом (10) із від'ємним знаком та з врахуванням співвідношення (11) отримаємо:

$$Y = 1000 \left( 1 - \frac{\rho_{yem.20}}{3000} \right) \cdot Q. \quad (15)$$

За підсолювання води кальциновану соду доцільно вводити у вигляді концентрованого водного розчину. За опріснення частини води рівну її кількості, яка буде додаватись, потрібно забрати із системи.

**Висновки і перспективи подальших досліджень.** Запропоновано метод визначення питомого опору води на основі показів вимірювальних приладів електродних водонагрівачів, які працюють за замкнутою системою теплопостачання. Регулювання питомого опору води таких систем дозволить забезпечити роботу водонагрівачів в режимах близьких до номінального.

### Список використаних джерел

1. Корчемний, М. О. Энергозбереження в агропромисловому комплексі / М. О. Корчемний, В. С. Федорейко, В. П. Щербань – Тернопіль: Підручники і посібники, 2001. – 974 с.
2. Павліський, В. М. Удосконалення системи експлуатації електротермічного обладнання біогазових установок / В. М. Павліський, В. Г. Подобайло, М. В. Потапенко // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – 2008. – Т.13. – №3. – С. 144 – 148.
3. Казимир, А. П. Эксплуатация электротермических установок в сельскохозяйственном производстве / А. П. Казимир, И. Е. Керпельова – М.: Россельхозиздат, 1984 – 208 с.
4. Электротехнология. / А. М. Басов, В. Г. Быков, А. В. Лаптев, В. Б. Файн – М.: Агропромиздат, 1985 – 256 с.
5. Матко, П. М. Электротеплоснабжение / П. М. Матко, К. Е. Баскин – М.: Энергия, 1971 – 274 с.

### References

1. Korchemnyi, M. O., Fedoreiko, V. S., Shcherban V. P. (2001). Enerhozberezhennia v ahropromyslovomu kompleksi. [Energy conservation in agriculture]. Ternopil, Pidruchnyky i posibnyky, 984.
2. Pavliskyi, V. M. Podobailo, V. H., Potapenko, M. V. (2008). Udoskonalennia systemy ekspluatatsii elektrotermichnoho obladnannia biohazovykh ustanovok [Improving the operation of biogas plants electrothermal equipment]. Visnyk Ternopils'koho derzhavnogo tekhnichnoho universytetu, 13 (3),. 144 – 148.
3. Kazimir, A. P., Kerpel'ova, I. E. (1984). Ekspluatatsiya elektrotermicheskikh ustanovok v sel'skokhozyaystvennom proizvodstve [Operation of electrothermal installations in agricultural production ]. Moskow, Rossel'khozizdat, 208.
4. Basov, A.M., Bykov, V. G., Laptev, A. V., Fayn, V. B. (1985). Elektrotekhnologiya [Electrotechnology]. Moskow, Agropromizdat, 256.

5. Matko, P. M., Baskin, K. E. (1971). Elektroteplosnabzheniye [Electric heat supply]. Moskow, Energiya, 274.

## **ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК**

**В. И. Подобайло, Н. В. Потапенко, Н. П. Семенова, В. Л. Шаршонь**

**Аннотация.** Для повышения энерго-экономических показателей работы биогазовых установок предлагается для теплоснабжения метантенков биогаз заменить электротермическими аккумулирующими установками. Высокий КПД электродных водонагревателей обеспечивается при номинальных режимах работы и соответствующем удельном сопротивлении воды. Предложена методика определения удельного сопротивления воды электродных водонагревателей биогазовых установок на основе показаний электроизмерительных приборов, входящих в комплект электротермических установок. Это позволит поддерживать номинальные параметры работы электродных водонагревателей в течение всего периода эксплуатации.

**Ключевые слова:** биогазовые установки, электротермическое оборудование, электродные водонагреватели

## **WAYS TO IMPROVE ENERGY AND ECONOMIC PERFORMANCE OF BIOGAS PLANTS**

**V. G. Podobaylo, M. V. Potapenko, N. P. Semenova, V. L. Sharshon**

**Abstract.** To improve energy and economic performance of biogas plants is proposed for heating of the digesters biogas to replace electrothermal accumulating plants. High efficiency electrode heaters are provided at nominal operating modes and the corresponding resistivity of the water. The methods of determining of specific resistivity of water of electrode water – heaters of biogas settings at the base of indexes of electromeasuring devices that are included into the set of electrothermal settings are suggested. It will allow to support the nominal parameters of the work of electrode water – heaters during all period of exploitation.

**Keywords:** biogas plant, of electrothermal equipment, electrode water – heaters