

УДК 621. 31

УЗГОДЖЕННЯ ВИРОБНИЦТВА ТА СПОЖИВАННЯ ЕНЕРГІЇ У СКЛАДІ КОГЕНЕРАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

*Є. Є. ЧАЙКОВСЬКА**, *В. В. СТЕФАНЮК*, *І. В. АБРОСИМОВ*

Кафедра теоретичної, загальної та нетрадиційної енергетики, Одеський національний політехнічний університет, Одеса, УКРАЇНА

**email: eechaikovskaya@gmail.com*

АННОТАЦІЯ Запропоновано системи контролю та ідентифікації стану теплообмінника системи охолодження двигуна у складі когенераційної системи на біогазовому паливі, що дозволяють узгоджувати виробництво та споживання енергії на основі прогнозування зміни температури місцевої води при вимірюванні температури зворотної води та температури теплоносія, що гріє, на вході в теплообмінник та на виході з теплообмінника. Розряд – заряд біогазової установки, відвантаження зброженого сусла та завантаження свіжого матеріалу з використанням теплового насоса, для якого низькопотенційним джерелом енергії є зброжене сусло, підтримують заряд – розряд когенераційної системи на основі прийняття рішень на зміну кількості пластин теплообмінника для забезпечення постійної витрати теплоносіїв

Ключові слова: когенераційна система, біогазове паливо, тепловий насос, прийняття рішень

АННОТАЦИЯ Предложены системы контроля и идентификации состояния теплообменника системы охлаждения двигателя в составе когенерационной системы на биогазовом топливе, позволяющие согласовывать производство и потребление энергии на основе прогнозирования изменения температуры местной воды при измерении температуры обратной воды и температуры греющего теплоносителя на входе в теплообменник и на выходе из теплообменника. Разряд–заряд биогазовой установки, отгрузка сброженного сусла и загрузка свежего материала с использованием теплового насоса, для которого низкпотенциальным источником энергии является сброженное сусло, поддерживают заряд–разряд когенерационной системы на основе принятия решений на изменение количества пластин теплообменника для обеспечения постоянного расхода теплоносителей

Ключевые слова: когенерационная система, биогазовое топливо, тепловой насос, принятие решений

COORDINATION ENERGY PRODUCTION AND CONSUMPTION IN THE COMPOSITION OF THE COGENERATION SYSTEM

*E. CHAIKOVSKAYA**, *V. STEFANUK*, *I. ABROSYMOV*

Department of Theoretical, general and alternative energy, Odessa National Polytechnic University, Odessa, UKRAINE

ABSTRACT Existing methods of improving cogeneration technologies using biogas are not always able to reconcile production and use of biogas in day and night operation of biogas plants and not the constancy of electric power and heat. The aim is to develop a method for supporting the operation of cogeneration systems in biogas fuel on the coordination of energy production and consumption using heat pump for supporting the process of fermentation, the fermented mash shipping, loading fresh material for low-grade energy source which is fermented wort. A control system and identification of state exchanger engine cooling system, which are based on mathematical and logical modeling as a part of a cogeneration system in biogas fuels that allow you to coordinate the production and consumption of energy based prediction of temperature change of the local water during measuring-bath temperature of return water and temperature coolant, which warms the heat exchanger inlet and outlet of the heat exchanger. Category–charge biogas plant, shipping fermentation mash fresh material and loading with the use of heat pump Tanna-charge support-category cogeneration systems based decision-making to change the number plate heat exchanger for fixed costs fluids. Thus, in a cogeneration plant, such as type of GTK 35 M with 112 kW primary power using 352.5 m³ / day of biogas, biogas may obtain savings of 25.4 thousand. m³ / year, with increasing commercialization of biogas plant 13 94% allows you to reduce the cost of electricity and heat in the range of 20% - 30%. The annual energy savings in terms of fuel equivalent of 19.5 tons of standard fuel and cash equivalent additional energy produced - about 100 thousand UAH / Year.

Keywords: cogeneration system, biogas fuel, heat pump, making decisions

Вступ

Існуючі методи удосконалення когенераційних технологій з використанням біогазу, що мають у своєму складі основні складові: первинний двигун, електрогенератор, систему утилізації теплоти, систему контролю й управління не здатні в повній мірі узгоджувати виробництво та споживання біогазу

при цілодобовому функціонуванні біогазових установок та не постійності споживання електричної енергії та теплоти [1, 2 - 7]. Але умови когенерації при використанні біогазу ускладнені непостійним виходом біогазу, що вимагає додаткових ємностей газгольдерів, додаткових баків для зброженої сировини, витрат на підтримку процесу збродження, що складають до 20-30% виробленої

енергії, т. ін. Це відбувається тому, що підтримку процесу зброджування виконують з вимірюванням температури зброджування щодо зміни витрати свіжого суслу. Використання ж цієї оцінки ускладнено через значну теплову акумулюючу ємність суслу. Зміна витрати суслу не підтримує необхідний баланс потоків свіжого та збродженого матеріалу для отримання постійного виходу біогазу, а використання зміни витрати теплоносія, що гріє, може порушити активність процесу зброджування. При безперервному функціонуванні біогазової установки в зв'язку із залежністю температури свіжого суслу, що завантажують, від температури навколишнього середовища складно визначити точний термін відвантаження збродженого суслу та завантаження еквівалентної витрати свіжого матеріалу, що виконують через 4-6 годин на добу. Більш того, складно запобігти зменшенню температурного впливу свіжого суслу на температуру збродження при завантаженні. Розроблено інтегровану систему підтримки функціонування біогазової установки, що надає можливість підтримувати розряд – заряд біогазової установки щодо виробництва біогазу та визначає точний термін відвантаження збродженого суслу та завантаження свіжого матеріалу. Використано тепловий насос, низькопотенційним джерелом енергії для якого є зброджене сусло [8 - 10].

Мета роботи

Метою роботи є розробка методу підтримки функціонування когенераційної системи на біогазовому паливі щодо узгодження виробництва та споживання енергії при використанні теплового насоса для підтримки процесу зброджування, відвантаженні збродженого суслу, завантаженні свіжого матеріалу, низькопотенційним джерелом енергії для якого є зброджене сусло. З цією ціллю розроблено системи контролю працездатності та ідентифікації стану когенераційної системи щодо прийняття рішень на зміну кількості пластин теплообмінника системи охолодження двигуна для підтримки температури місцевої води при збереженні постійними витрати теплоносія.

Узгодження виробництва та споживання енергії у складі когенераційної системи

На основі методологічного та математичного обґрунтування архітектури технологічних систем [8 - 10] запропонована архітектура когенераційної системи, основою якої є інтегрована динамічна підсистема – теплообмінник системи охолодження двигуна, біогазова установка, тепловий насос, що використовує зброджене сусло у якості низькопотенційного джерела енергії та блоки розряду, заряду, оцінки функціональної ефективності (рис. 1).

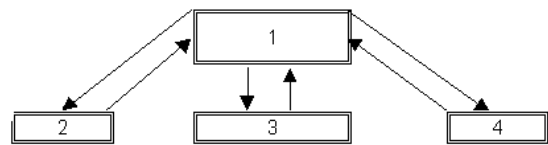


Рис. 1 – Архітектура когенераційної системи: 1 - динамічна підсистема (теплообмінник системи охолодження двигуна, біогазова установка, тепловий насос); 2 – блок розряду; 3– блок заряду; 4 – блок оцінки функціональної ефективності

Математичне обґрунтування архітектури когенераційної системи [8 - 10]:

$$CS = \left\{ \begin{array}{l} D(P(\tau) \langle x_0(\tau), x_1(\tau), x_2(\tau), f(\tau), K(\tau) \rangle, \\ y(\tau), d(\tau) \\ R(\tau), P(\tau), \\ Z(\tau), (P_i(\tau) \langle x_1(\tau), f_i(\tau), K_i(\tau), y_i(\tau) \rangle)), \end{array} \right\}$$

де *CS* когенераційна система; *D* – динамічна підсистема (теплообмінник системи охолодження двигуна, біогазова установка, тепловий насос); *P* – властивості елементів когенераційної системи; *x* – впливи; *f* – параметри, що діагностуються; *K* – коефіцієнти математичного опису; *y* – вихідні параметри; *d* – динамічні параметри; *R, Z* – логічні відносини в *D, CS*, відповідно; *t* – час, с. Індекси: *i* – число елементів когенераційної системи; 0, 1, 2 – початковий стаціонарний режим, зовнішній, внутрішній характер впливів.

Так, наприклад, для біогазової установки, що виробляє 352,5 м³/добу біогазу у складі когенераційної системи типу GTK 35M потужністю 112 кВт, в тому числі з електричною потужністю 35 кВт та тепловою потужністю 60 кВт встановлені наступні рівні функціонування пластинчастого теплообмінника контуру охолодження двигуна щодо зміни температури теплоносія, що гріє, на вході в теплообмінник та на виході з теплообмінника: перший рівень: 95⁰С – 75⁰С; другий рівень: 90⁰С – 70⁰С; третій рівень: 85⁰С – 65⁰С для підігріву місцевої води з 30⁰С до 55⁰С при підключенні 14, 18 та 28 пластин відповідно. З використанням математичного моделювання динаміки пластинчастого теплообмінника визначені допуски на гранично припустиму працездатність когенераційної системи для встановлених рівнів функціонування з використанням передатної функції за каналом: «температура місцевої води – температура теплоносія, що гріє» щодо аналітичної оцінки зміни температури місцевої води для встановлених рівнів функціонування когенераційної системи [8 - 10] (рис.2).

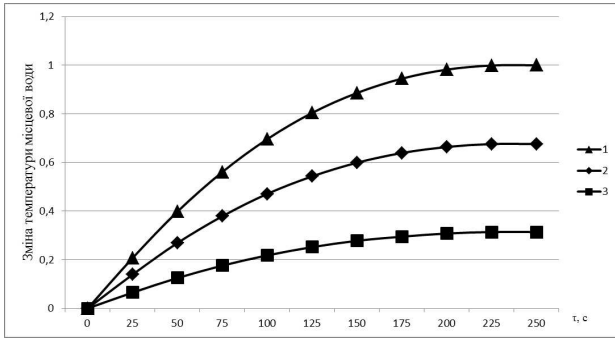


Рис. 2 – Допуски на гранично припустиму працездатність когенераційної системи
1, 2, 3 – перший, другий, третій рівні функціонування, відповідно

З використанням метода графа причинно-наслідкових зв'язків [8 - 10] отримано підсумкову інформацію щодо оцінки зміни температури місцевої води при розряді, наприклад, біогазової установки, що супроводжується зменшенням витрат електричної енергії на привід теплового насоса та відповідає заряду когенераційної системи, який підтверджений зменшенням температури теплоносія, що гріє, на вході в теплообмінник системи охолодження двигуна та на виході з теплообмінника при збільшенні температури зворотної води:

$$(CT_c(\tau)(\Delta t(\tau)/\Delta t_{ст.розр.верх}(\tau) < \Delta t_{ст.розр.рівн}(\tau)/\Delta t_{ст.розр.верх}(\tau) > 0)),$$

де CT – контроль події; t – температура місцевої води, $^{\circ}\text{C}$; τ – час, с. Індeksi: c – контроль працездатності; розр. рів. – розрахункове значення температури місцевої води рівня функціонування; ст., розр., верх. – стале, розрахункове значення температури місцевої води першого рівня функціонування.

Так, при зміні температури теплоносія, що гріє, в системі охолодження двигуна, наприклад, в межах $89^{\circ}\text{C} - 79^{\circ}\text{C}$ та збільшенні температури зворотної води до 35°C , що характеризує зменшення витрат електричної енергії на привід теплового насоса необхідно прийняти рішення на заряд когенераційної системи щодо збільшення кількості пластин теплообмінника з 14 до 18 та перевірити правильність прийняття рішення в нових умовах функціонування щодо підтримки температури місцевої води на рівні 55°C для подальшого використання в системі виробництва теплоти (рис.3). Встановлення нового режиму функціонування когенераційної системи свідчить про зменшення витрат електричної енергії на привід теплового насоса щодо підтримки процесу зброджування [8-10].

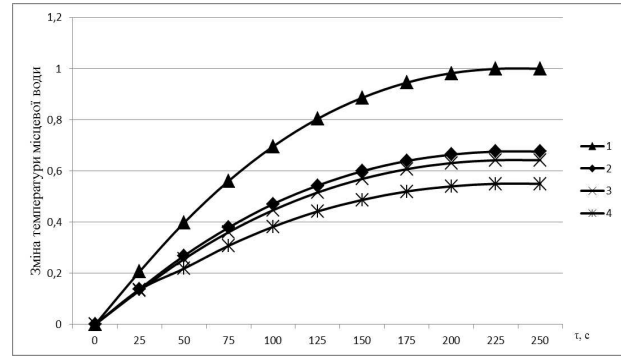


Рис. 3 – Контроль працездатності та ідентифікація стану когенераційної системи щодо переходу з першого рівня функціонування на другий;
1, 2 – допуски першого та другого рівнів функціонування, відповідно; 3, 4 – прийняття рішення та ідентифікація нових умов функціонування щодо зміни кількості пластин з 14 до 18

Так, при подальшому зменшенні температури теплоносія, що гріє, в системі охолодження двигуна, наприклад, в межах $82^{\circ}\text{C} - 72^{\circ}\text{C}$ та збільшенні температури зворотної води до 38°C , що характеризує подальше зменшення витрат електричної енергії на привід теплового насоса при розряді біогазової установки необхідно виконати подальший заряд когенераційної системи щодо збільшення кількості пластин теплообмінника з 18 до 28 та перевірити правильність прийняття рішення в нових умовах функціонування щодо підтримки температури місцевої води на рівні 55°C для подальшого використання в системі виробництва теплоти (рис. 4).

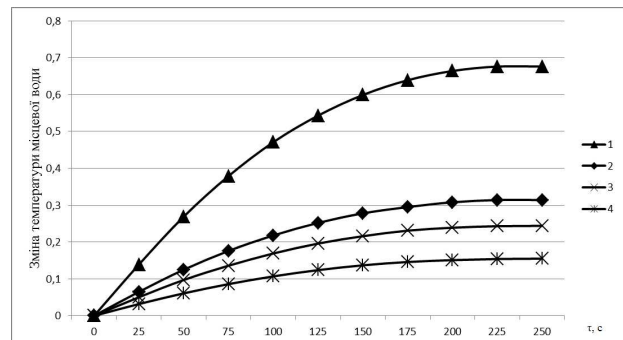


Рис. 4 – Контроль працездатності та ідентифікація стану когенераційної системи щодо переходу з другого рівня функціонування на третій;
1, 2 – допуски другого та третього рівнів функціонування, відповідно; 3, 4 – прийняття рішення та ідентифікація нових умов функціонування щодо зміни кількості пластин з 18 до 28

Здбута ж підсумкова інформація щодо оцінки зміни температури місцевої води:

$$(CT_c(\tau)(\Delta t(\tau) / \Delta t_{ст.розр.верх.}(\tau) \leq 0))$$

прогнозує неприпустиму зміну температури місцевої води, якщо температура теплоносія, що гріє, в системі охолодження двигуна знаходиться в межах, наприклад, 77⁰С – 57⁰С та температура зворотної води збільшується до 41⁰С. Такі умови потребують прийняття рішення на входження в допуск першого рівня функціонування когенераційної системи, що відповідає підключенню 14 пластин теплообмінника та підтримує завантаження свіжого матеріалу в умовах функціонування біогазової установки [8– 10], (рис. 5).

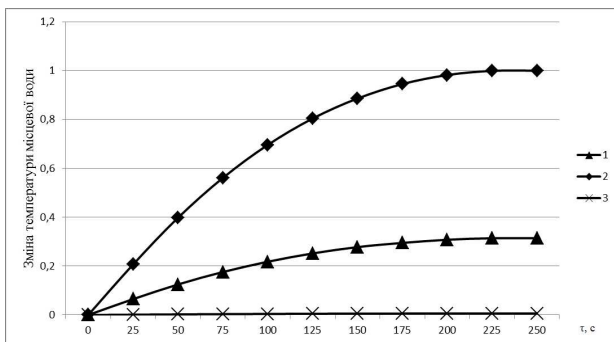


Рис. 5 – Контроль працездатності та ідентифікація стану когенераційної системи щодо переходу з третього рівня функціонування на перший; 1, 2 – допуски третього та першого рівнів функціонування, відповідно; 3 – прийняття рішення на зміну кількості пластин з 28 до 14

Для підтримки функціонування когенераційної системи можливо рекомендувати розбірний пластинчастий теплообмінник типу Альфа Лаваль Т2 щодо можливості приймати рішення на зміну кількості пластин для підтримки функціонування когенераційної системи на біогазовому паливі при необхідності збереження постійними витрати теплоносіїв.

Обговорення результатів

В результаті проведених досліджень розроблено системи контролю та ідентифікації стану когенераційної системи щодо аналітичної оцінки зміни температури місцевої води при вимірюванні температури теплоносія, що гріє, на вході в теплообмінник системи охолодження двигуна та на виході з теплообмінника, та температури зворотної води. На основі математичного моделювання динаміки пластинчастого теплообмінника встановлені допуски на граничну зміну температури місцевої води при розряді – заряді біогазової установки, що використовує тепловий насос, низькопотенційним джерелом енергії для якого є зброжене сусло. При

розряді – заряді біогазової установки, що супроводжується зміною витрат електричної енергії на привід теплового насоса, відвантаженні зброженого сусла та завантаженні свіжого матеріалу змінюється температура теплоносія, що гріє, в системі охолодження двигуна когенераційної системи та температура зворотної води, що надає можливість приймати упереджені рішення на зміну кількості пластин теплообмінника щодо забезпечення постійними витрати теплоносіїв та температури місцевої води в заданих межах.

Висновки

1. Когенераційні технології з використанням біогазу потребують розробки методу підтримки функціонування когенераційної установки щодо узгодження виробництва та споживання енергії в умовах енергозбереження.

2. Запропоновано архітектуру когенераційної системи, що має основу - динамічну підсистему у якості теплообмінника системи охолодження двигуна, біогазової установки та теплового насоса, що використовує зброжене сусло у якості низькопотенційного джерела енергії.

3. Виконано математичне моделювання динаміки теплообмінника системи охолодження двигуна для визначення гранично припустимої зміни температури місцевої води в умовах підтримки функціонування біогазової установки.

4. Розроблені системи контролю працездатності та ідентифікації стану теплообмінника системи охолодження двигуна щодо узгодження виробництва та споживання біогазу.

5. Так, при використанні запропонованого методу узгодження виробництва та споживання енергії в умовах когенераційної установки, наприклад, типу GTK 35 М з первинною потужністю 112 кВт, що використовує 352,5 м³/добу біогазу, можливо здобути економію біогазу 25,4 тис. м³/рік, що при підвищенні товарності біогазової установки на 13,94 % надає можливість знизити собівартість виробництва електроенергії та теплоти в межах 20% – 30 %. Річна економія енергії в одиницях умовного палива складає 19,5 т. у. п., а грошовий еквівалент додатково виробленої енергії – близько 100 тис. грн./рік.

Список літератури

1. **Билека, Б. Д.** Когенерационно - теплонасосные технологии в схемах горячего водоснабжения большой мощности / **Б. Д. Билека, Л. К. Гаркуша** // *Промышленная теплотехника*. – 2012. – Т. 34, № 4. – С. 52-57.
2. **Rade, M. Ciric.** Techno-Economic Analysis of Biogas Powered Cogeneration / **Ciric, M. Rade, Kuzmanovic Zoran** // *Journal of Automation and Control Engineering*. – 2014. – Vol. 2, Issue 1. – P. 89-93. – DOI: 10.12720/joace.2.1.89-93.

- 3 **Daingade, P. S.** Electronically operated fuel supply system to control air fuel ratio of biogas engine / **P. S. Daingade, S. P. Yadav** // *2013 International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability*. – 2013. – P. 40-74. – DOI: 10.1109/ICEETS.2013.6533476
- 4 **Talukder Niloy** Technical and economic assessment of biogas based electricity generation plant / **Niloy Talukder, Anik Talukder, Debangshu Barua, Anindya** // *2013 International Conference on Electrical Information and Communication Technology (EICT)*. – 2014. – P. 1-5. DOI: 10.1109/EICT.2014.6777854.
- 5 **Doseva, N.** Advanced exergatic analysis of cogeneration system with a biogas engine / **N. Doseva** // *14th SGEM GeoConference on Energy and Clean Technologies Conference Proceedings*, June 19-25. – 2014. – Vol. 1. – P. 11 - 18. DOI: 10.5593/SGEM2014/B41/S17.002.
- 6 **Moedinger, F.,** Innovate biogas Multi-Stage Biogas Plant and Novel Analytical System / **F. Moedinger, F. Ast. M. Ragazzi, P. Foladori, E. C. Rada, R. Binnig** // *Energy Procedia*. – 2012. – Vol. 18. – P. 672 - 680. DOI: 10.5593/SGEM2014/B41/S17.002.
- 7 **Chen Jiao** Development of Multi-model for Cogeneration System Using Statistical Analysis / **Jiao Chen, Tianhong Pan, Yanqin Han** // *Journal Article*. – 2014. – Vol. 9. – P. 2580-2586. DOI: 10.4304/jcp.9.11.2580-2586.
- 8 **Чайковская, Е. Е.** Оптимизация энергетических систем на уровне принятия решений / **Е. Е. Чайковская** // *Промышленная теплотехника*. – 2013. – Т. 35, № 7. – С. 169-173.
- 9 **Чайковська, Є. Є.** Розробка методу підтримки функціонування біогазової установки у складі когенераційної системи / **Є. Є. Чайковська, Б. І. Молодковець** // *Технологический аудит и резервы производства*. – 2015. – № 1/1(21). – С. 41-46. – DOI: 10.15587/2312-8372.2015.37190.
- 10 **Чайковська, Є. Є.** Розробка енергозберігаючої технології функціонування біогазової установки у складі когенераційної системи / **Є. Є. Чайковська** // *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. – 2015. – № 3/8 (75). – С. 47-53. – DOI: 10.15587/1729-4061.2015.44252.
- 2 **Rade, M., Ciric. Kuzmanovic Zoran.** Techno-Economic Analysis of Biogas Powered Cogeneration. *Journal of Automation and Control Engineering*, 2014, **2**(1), 89-93, DOI: 10.12720/joace.2.1.89-93.
- 3 **Daingade, P. S., Yadav S. P.** Electronically operated fuel supply system to control air fuel ratio of biogas engine, *International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability*, 2013, 40-74, DOI: 10.1109/ICEETS.2013.6533476
- 4 **Talukder Niloy, Anik Talukder, Debangshu Barua, Anindya** Technical and economic assessment of biogas based electricity generation plant. *International Conference on Electrical Information and Communication Technology (EICT)*, 2014, 1-5, DOI: 10.1109/EICT.2014.6777854.
- 5 **Doseva, N.** Advanced exergatic analysis of cogeneration system with a biogas engine. *14th SGEM GeoConference on Energy and Clean Technologies Conference Proceedings*, 2014, **1**, 11 - 18, DOI: 10.5593/SGEM2014/B41/S17.002.
- 6 **Moedinger, F., Ragazzi, F. Ast. M., Foladori, P. Rada, E. C., Binnig, R.** Innovate biogas Multi-Stage Biogas Plant and Novel Analytical System. *Energy Procedia*. 2012, **18**, 672 - 680. DOI: 10.5593/SGEM2014/B41/S17.002.
- 7 **Jiao Chen, Tianhong Pan, Yanqin Han** Development of Multi-model for Cogeneration System Using Statistical Analysis. *Journal Article*, 2014, **9**, 2580-2586. DOI: 10.4304/jcp.9.11.2580-2586.
- 8 **Chaikovskaya, E. E.** Optimization of energy systems at the level of decision-making. *Promishliennay tieplotiehnica*, 2013, **35**(7), 169-173.
- 9 **Chaikovskaya, E. E., Molodkovets, B. I.** Development of the method of operation of a biogas plant support as part of the cogeneration system. *Tehnologicheski audit i rezervi proizvodstva*, 2015, **1/1**(21), 41-46. – DOI: 10.15587/2312-8372.2015.37190.
- 10 **Chaikovskaya, E. E.** Development of energy-operation of biogas plant as part of a cogeneration system. *Vostochno-Evropieski gurnal pieriedovih tiehnologi*, 2015, **3/8**(75), 47-53. – DOI: 10.15587/1729-4061.2015.44252.

Bibliography (transliterated)

Надійшла (received) 15.10.2015

- 1 **Bilieka, B. D., Harkusha, L. K.** Cogeneration heat pump technology in hot water circuits of high power. *Promishliennay tieplotiehnica*, 2012, **34**(4), 52 - 57.