

УДК 621.182.2.001.57

Є. Є. ЧАЙКОВСЬКА, канд. техн. наук, с.н.с.; доц. ОНПУ, Одеса;
Б. І. МОЛОДКОВЕЦЬ, магістр ОНПУ, Одеса

КОМПЛЕКСНЕ МОДЕЛЮВАННЯ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ У СКЛАДІ КОГЕНЕРАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

Запропоновано комплексне моделювання біогазової установки, що дозволяє встановлювати температуру теплоносія, що гріє, на вході в теплообмінник, вбудований в метантенк, при зміні температури теплоносія, що гріє, на виході із теплообмінника для підтримки функціонування біогазової установки на основі теплового насоса, що використовує зброжене сусло у якості низькопотенційного джерела енергії. Це дозволяє, наприклад, при виробництві 352,5 м³/добу біогазу 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) %.

Ключові слова: когенераційна установка, біогазова установка, тепловий насос, збродження.

Вступ

В умовах енергозбереження та захисту навколишнього середовища однією з переваг когенераційних технологій є можливість використання біогазу як альтернативного джерела енергії щодо виробництва як електроенергії, так і теплоти [1, 2]. Але цілодобове функціонування біогазових установок супроводжується непостійним виходом біогазу із-за складності визначення точного терміну зміни потоків свіжої та зброженої сировини в умовах недостовірної оцінки зміни температури зброджування при вимірюванні, що обумовлено значною тепловою акумулюючою ємністю сусла. Це потребує додаткового обладнання для зберігання зброженого матеріалу та біогазу в умовах відключення когенераційних установок в години найменшого споживання. Більш того, на підтримку процесу зброджування витрачають до (20–30) % виробленої енергії, а зброжене сусло, що має достатній енергетичний потенціал, не використовують у якості низькопотенційного джерела енергії. Цим обґрунтовується актуальність даної роботи.

1 Постановка проблеми на основі літературних джерел

Існують різноманітні засоби удосконалення когенераційних технологій, що мають у своєму складі основні складові: первинний двигун, електрогенератор, систему утилізації теплоти, систему контролю й управління. Так, наприклад, в роботі [3] запропоновано електронну систему подачі біогазу щодо удосконалення підтримки співвідношення палива та повітря з ціллю зменшення шкідливих викидів. В роботі [4] встановлено зв'язок виробництва біогазу з змішуванням різних сировинних матеріалів. Проблемі термостабілізації та інтенсифікації теплообміну в біореакторах присвячені різні роботи, наприклад, в роботах [5, 6] запропоновано удосконалити конструктивні параметри метантенка та оцінювати зміну температури зброджування за часом, без урахування її зміни в об'ємі біореактора, що ускладнює підтримку функціонування біогазової установки при зміні якості сировини, її температури, т. ін. А в роботі [7] представлено методику визначення теплообміну зовнішньої поверхні метантенка з навколишнім середовищем щодо оцінки втрат в метантенку, визначення витрати теплоносія, що гріє, для підтримки процесу зброджування та оцінки кількості здобутого біогазу. Але запропоновані математичні моделі не враховують значну теплову акумулюючу ємність сусла та базуються на вимірюванні температури

© Є.Є. Чайковська, Б.І. Молодковець, 2015

зброджування щодо зміни витрати сусла для підтримки процесу зброджування, що може порушити обов'язковий баланс потоків свіжої та зброженої сировини для здобуття постійного виходу біогазу. Використання ж зміни витрати теплоносія, що гріє, може негативно вплинути на активність процесу зброджування. У зв'язку із залежністю температури свіжого сусла, що завантажують, від температури навколишнього середовища запропоновані математичні моделі не дають відповідь на встановлення точного терміну відвантаження зброженого сусла та завантаження еквівалентної витрати свіжого матеріалу, що виконують через 4–6 годин на добу. Не дають вони й відповідь щодо можливості використання зброженого сусла у якості низькопотенційного джерела енергії для теплового насоса з ціллю забезпечення функціонування біогазової установки у складі когенераційної системи, де теплові насоси зазвичай виконують підтримку співвідношення електричної енергії та теплоти з використанням інших джерел енергії [8].

2 Об'єкт, мета та задачі дослідження

Об'єкт дослідження – когенераційні системи з використанням біогазу.

Мета роботи – виконати комплексне моделювання динаміки біогазової установки, теплообмінника, вбудованого в метантенк, щодо встановлення температури теплоносія, що гріє, на вході в теплообмінник, та на виході з теплообмінника для підтримки функціонування біогазової установки на основі теплового насоса, що використовує у якості низькопотенційного джерела енергії зброжене сусло.

Поставлена мета може бути досягнена при виконанні таких задач:

– обґрунтувати необхідність комплексного моделювання динаміки біогазової установки, теплообмінника, вбудованого в метантенк для підтримки процесу зброджування на основі теплового насоса, що використовує у якості низькопотенційного джерела енергії зброжене сусло;

– запропонувати архітектуру когенераційної системи, що має у своєму складі основу – динамічну підсистему, яка включає когенераційну установку, біогазову установку, тепловий насос та блоки розряду, заряду та оцінки функціональної ефективності, що знаходяться в узгодженій взаємодії з динамічною підсистемою;

– виконати математичне моделювання динаміки біогазової установки щодо прогнозування зміни температури зброджування при вимірюванні температури теплоносія, що гріє, на виході із теплообмінника, вбудованого в метантенк, яка змінюється за часом раніше, ніж температура зброджування із-за значної теплової акумулюючої ємності сусла;

– виконати комплексне моделювання динаміки біогазової установки та теплообмінника, вбудованого в метантенк, щодо визначення параметрів теплообміну та поверхні теплообміну для встановлених рівнів функціонування біогазової установки згідно зміни температури оточуючого середовища;

– здобути еталонну зміну температури зброджування для встановлених рівнів функціонування;

– запропонувати структурну схему здобуття еталонної інформації на основі комплексного моделювання у складі когенераційної системи;

– оцінити практичну значущість здобутих результатів.

3 Комплексне моделювання у складі когенераційної системи

На основі методологічного та математичного обґрунтування архітектури технологічних систем [9] запропонована архітектура когенераційної системи, основою

якої є інтегрована динамічна підсистема – когенераційна установка, біогазова установка, тепловий насос, що використовує зброжене сушло у якості низькопотенційного джерела енергії та блоки розряду, заряду, оцінки функціональної ефективності, що знаходяться в узгодженій взаємодії з динамічною підсистемою.

Математичне обґрунтування архітектури когенераційної системи:

$$CS = ((D(P(\tau)(x_0(\tau), x_1(\tau), x_2(\tau), f(\tau), K(\tau), y(\tau), d(\tau))), Z(\tau), P(\tau)), R(\tau), (P_i(\tau)(x_i(\tau), f_i(\tau), K_i(\tau), y_i(\tau)))).$$

де CS – когенераційна система; D – динамічна підсистема (когенераційна установка, 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; Z, R – логічні відносини в D, CS , відповідно; τ – час, с. Індеси: i – число елементів когенераційної системи; 0, 1, 2 – початковий стаціонарний режим, зовнішній, внутрішній характер впливів.

Основою для встановлення температури теплоносія, що гріє, на вході в теплообмінник, вбудований в метантенк, при вимірюванні температури теплоносія, що гріє, на виході з теплообмінника є математична модель динаміки біогазової установки щодо аналітичної оцінки зміни температури зброджування. Система нелінійних диференціальних рівнянь включає рівняння стану щодо оцінки фізичної моделі біогазової установки, рівняння енергії передаючого й сприймаючого середовищ та рівняння теплового балансу для стінки теплообмінника, вбудованого в метантенк. Відмінною рисою моделі є рівняння енергії сприймаючого середовища, що описує зміну температури зброджування як у часі, так і вздовж просторової координати осі теплообмінника, що співпадає з напрямком потоку руху середовища, [10–12]. В результаті реалізації математичної моделі динаміки біогазової установки отримана передатна функція за каналом: «температура зброджування – температура теплоносія, що гріє»:

$$W_{t-\theta_1} = \frac{K_3 \varepsilon (1 - L_3^*)}{L_B \beta \gamma} (1 - e^{-\gamma t \xi}),$$

де

$$K_3 = \frac{m(\theta_0 - \sigma_0)}{G_{30}}; \quad \varepsilon = \frac{\alpha_{30} h_{30}}{\alpha_{B0} h_{B0}}; \quad L_3^* = \frac{1}{L_3 + 1}; \quad L_3 = \frac{G_3 C_3}{\alpha_{30} h_{30}}; \quad L_B = \frac{G_B C_B}{\alpha_{B0} h_{B0}};$$

$$\beta = T_M S + \varepsilon^* + 1; \quad T_M = \frac{g_M C_M}{\alpha_{B0} h_{B0}}; \quad \varepsilon^* = \varepsilon (1 - L_3^*); \quad \gamma = \frac{(T_B S + 1) \beta - 1}{L_B \beta};$$

$$T_B = \frac{g_B C_B}{\alpha_{B0} h_{B0}}; \quad L_B = \frac{G_B C_B}{\alpha_{B0} h_{B0}}; \quad \gamma_1 = \frac{(T_B S + 1) \beta - 1}{\beta}; \quad \xi = \frac{z}{L_B},$$

де t, σ, θ – температура зброджування, теплоносія, що гріє, стінки теплообмінника, K , відповідно; G – витрата речовини, кг/с; C – питома теплоємність, кДж/(кг·К); α – коефіцієнт тепловіддачі, кВт/(м²·К); h – питома поверхня, м²/м; g – питома маса речовини, кг/м; z – координата довжини теплообмінника, м; T_B, T_M – постійні часу, що характеризують теплову акумулюючу здатність сушла, метала, с, відповідно; m – показник залежності коефіцієнта тепловіддачі від витрати; S – параметр перетворення Лапласа; $S = \omega j$; ω – частота, 1/с. Індеси: в – внутрішній потік – сушло; м – металева

стінка; 3 – зовнішній потік – теплоносій, що гріє; 0, 1 – початкові умови, вхід в теплообмінник.

Для комплексного моделювання біогазової установки та теплообмінника, вбудованого в метантенк, щодо оцінки зміни температури зброджування як у часі, так і вздовж просторової координати осі теплообмінника запропоновано інтеграл переходу з частотної області до області часу:

$$t(\tau, z) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} O(\omega) \sin(\tau\omega/\omega) d\omega,$$

де τ – час, с; $O(\omega)$ – дійсна частина передатної функції,

$$O(\omega) = \frac{L_1 A_1 + M_1 B_1 K_3 \varepsilon (1 - L_3^*)}{A_1^2 + B_1^2}.$$

Можно убрать. Не могу убрать

Температура поділяючої стінки θ , що входить до складу коефіцієнта K_3 :

$$\theta = \left[\frac{\alpha_b (\sigma_1 + \sigma_2)}{2} + \frac{A(t_1 + t_2)}{2} \right] / (\alpha_b + A),$$

де σ_1, σ_2 – температура теплоносія, що гріє, на вході, та на виході із теплообмінника, К, відповідно;

$$A = \frac{1}{\frac{\delta_m}{\lambda_m} + \frac{1}{\alpha_3}},$$

де δ – товщина стінки теплообмінника, м; α – коефіцієнт тепловіддачі, кВт/(м²·К); λ – теплопровідність металу стінки теплообмінника, кВт/(м·К); t_1, t_2 – температура сусла, що зброджується на вході та на виході з біогазової установки, К, відповідно. Індекси: в – внутрішній потік – сусло; 3 – зовнішній потік – теплоносій, що гріє.

Для одержання коефіцієнтів у складі дійсної частини $O(\omega)$ здобуто такі вирази:

$$A_1 = \varepsilon^* - T_b T_m \omega^2; \quad A_2 = \varepsilon^* + 1; \quad B_1 = T_b \varepsilon \omega + T_b \omega + T_m \omega; \quad B_2 = T_m \omega;$$

$$C_1 = \frac{A_1 A_2 + B_1 B_2}{A_2^2 + B_2^2}; \quad D_1 = \frac{A_2 B_1 - A_1 B_2}{A_2^2 + B_2^2};$$

$$L_1 = 1 - e^{-\zeta C_1} \cos(-\xi D_1); \quad M_1 = -e^{-\zeta C_1} \sin(-\xi D_1).$$

Для комплексного моделювання динаміки біогазової установки та теплообмінника, вбудованого в метантенк, здобуто вихідні дані на основі конструктивно-режимної реалізації метантенка, що виробляє, наприклад, 352,5 м³/добу біогазу: витрата сусла, що зброджується, витрата теплоносія, що гріє, зовнішній та внутрішній діаметр теплообмінника, вбудованого в метантенк. У зв'язку із залежністю свіжого сусла, що завантажують, від температури оточуючого середовища запропоновано встановити змінну температуру сусла на вході в біогазову установку: 5 °С, 10 °С, 14 °С, 18 °С, 22 °С (рис. 1).

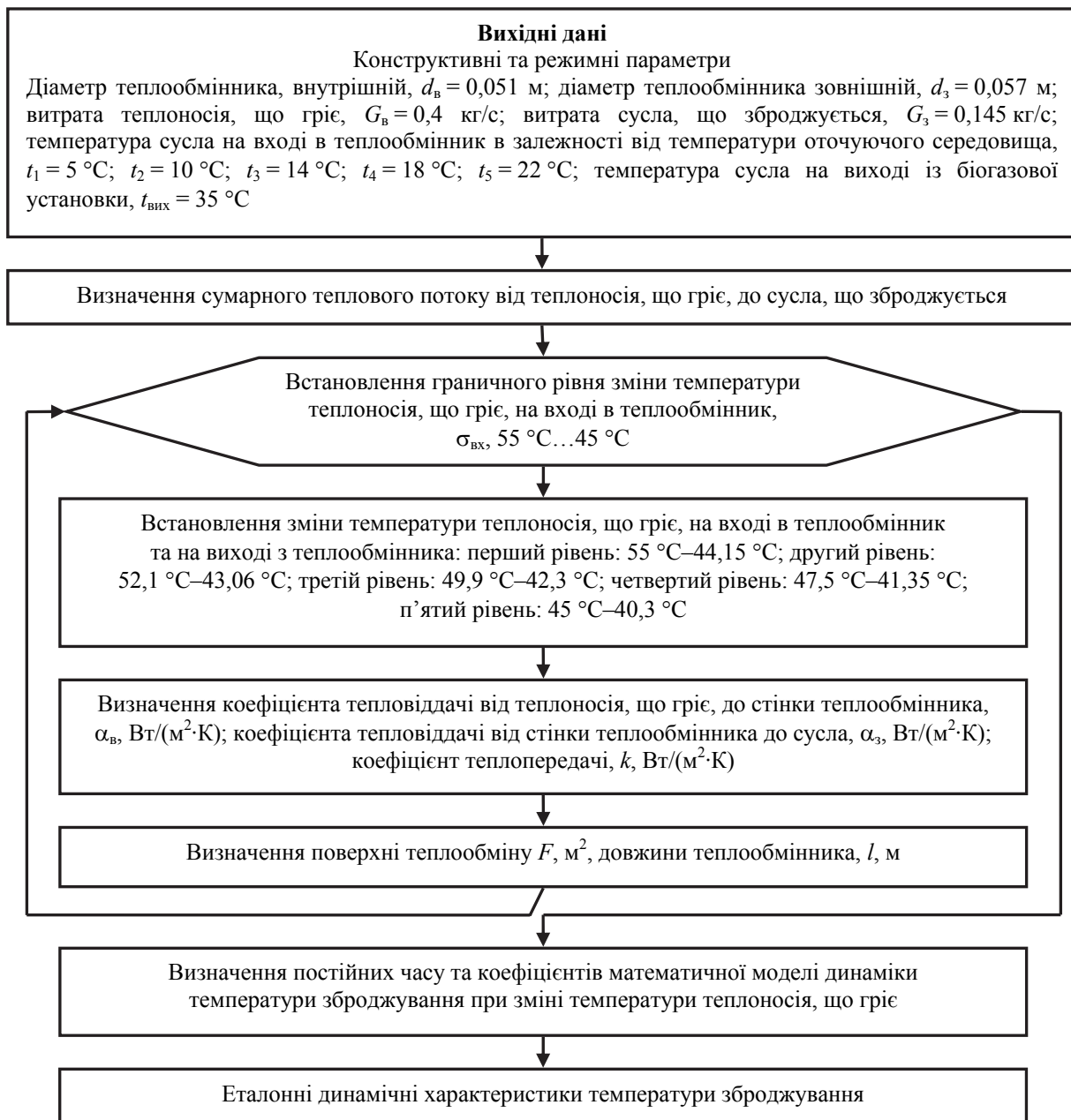


Рис. 1 – Структурна схема комплексного моделювання біогазової установки та теплообмінника, вбудованого в метантенк

Встановлено граничні межі зміни температури теплоносія, що гріє, на вході в теплообмінник 55 °C–45 °C. Завдяки запропонованій структурній схемі (рис. 1) в межах визначеної циклічної структури встановлено рівні функціонування біогазової установки щодо зміни температури теплоносія, що гріє на вході в теплообмінник та на виході з теплообмінника: перший рівень: 55 °C–44,15 °C; другий рівень: 52,1 °C–43,06 °C; третій рівень: 49,9 °C–42,3 °C; четвертий рівень: 47,5 °C–41,35 °C; п'ятий рівень: 45 °C–40,3 °C, що відповідають зміні температури суслу на вході в біогазову установку: 5 °C, 10 °C, 14 °C, 18 °C, 22 °C. Визначено параметри теплообміну для встановлених рівнів функціонування біогазової установки. Визначено поверхню теплообміну та довжину теплообмінника, вбудованого в метантенк, що вдовольняє

встановленим рівням функціонування при зміні температури сусла, що завантажують, від температури оточуючого середовища. Результати комплексного моделювання динаміки біогазової установки та теплообмінника, вбудованого в метантенк щодо підтримки температури зброджування в межах 34 °С–36 °С представлені в табл. 1, 2, рис. 2.

Таблиця 1.

Параметри теплообміну в метантенку

Рівні функціонування	Параметр		
	α_B , Вт/(м ² ·К)	α_3 , Вт/(м ² ·К)	k , Вт/(м ² ·К)
Перший рівень	1148,24	631,14	397,56
Другий рівень	1134,63	614,69	389,38
Третій рівень	1124,73	595,41	380,43
Четвертий рівень	1113,65	575,20	370,85
П'ятий рівень	1102,10	548,86	358,51

де α_B – коефіцієнт тепловіддачі від теплоносія, що гріє до стінки теплообмінника, Вт/(м²·К); α_3 – коефіцієнт тепловіддачі від стінки теплообмінника до сусла, Вт/(м²·К); k – коефіцієнт теплопередачі, Вт/(м²·К).

Таблиця 2.

Значення постійних часу та коефіцієнтів математичної моделі динаміки біогазової установки

Рівні функціонування	T_B , с	T_M , с	ϵ	ϵ^*	ζ	L_B , м	L_3 , м	L_3^*
Перший рівень	99,57	14,75	1,63	1,47	1,76	5,36	9,11	0,099
Другий рівень	102,23	15,15	1,65	1,49	1,72	5,51	9,22	0,098
Третій рівень	105,54	15,64	1,69	1,53	1,66	5,69	9,30	0,097
Четвертий рівень	109,25	16,19	1,73	1,57	1,60	5,89	9,39	0,096
П'ятий рівень	114,49	16,96	1,80	1,63	1,53	6,17	9,49	0,095

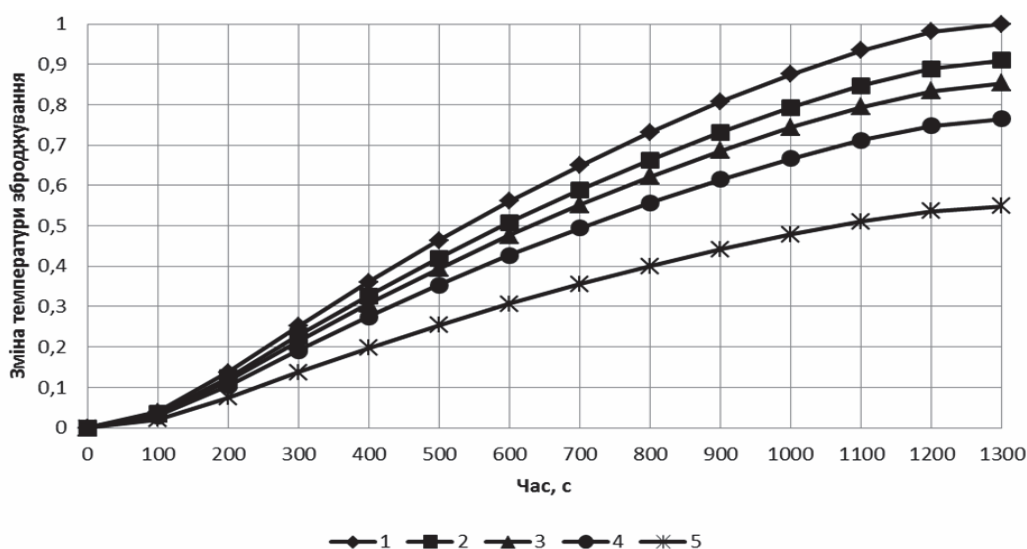


Рис. 2 – Еталонні динамічні характеристики температури зброджування для встановлених рівнів функціонування біогазової установки: 1, 2, 3, 4, 5 – еталони першого, другого, третього, четвертого, п'ятого рівнів функціонування, відповідно

Висновки

В результаті проведених досліджень встановлено, що:

1) Когенераційні технології з використанням біогазу потребують розробки комплексного моделювання динаміки біогазової установки відносно зміни температури зброджування при зміні параметрів теплоносія, що гріє, та теплообмінника, вбудованого в метантенк, для підтримки процесу зброджування на основі теплового насоса, що використовує в якості низькопотенційного джерела енергії зброджене сусло.

2) Запропонована структурна схема комплексного моделювання динаміки біогазової установки та теплообмінника, вбудованого в метантенк щодо здобуття еталонної оцінки зміни температури зброджування при зміні температури теплоносія, що гріє.

3) Встановлено рівні функціонування біогазової установки щодо зміни температури теплоносія, що гріє, на вході в теплообмінник та на виході з теплообмінника, що відповідають зміні температури суслу на вході в біогазову установку згідно зміни температури оточуючого середовища.

4) Визначено параметри теплообміну, поверхню теплообміну та довжину теплообмінника, вбудованого в метантенк, що вдовольняють як конструктивно-режимній реалізації метантенка, так і встановленим рівням функціонування при зміні температури суслу, що завантажують, від температури оточуючого середовища.

5) Так, наприклад, використання комплексного моделювання біогазової установки та теплообмінника, вбудованого в метантенк, для підтримки функціонування біогазової установки при виробництві, наприклад, 352,5 м³/добу біогазу дозволяє здобути економію біогазу 25,4 тис. м³/рік, що, при підвищенні товарності біогазової установки на 13,94 %, надає можливість в умовах когенераційної системи знизити собівартість виробництва електроенергії та теплоти в межах (20–30) % [13–14].

Список літератури: 1. Железная, Т. А. Перспективы производства электрической энергии из биомассы в Украине [Текст] / Т. А. Железная, Е. Н. Олейник, А. И. Гелетуа // Промышленная теплотехника. – 2013. – Т. 35, № 6. – С. 67–75. – ISSN 0204-3602 2. Rade M. Ciric. Techno-Economic Analysis of Biogas Powered Cogeneration [Text] / 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 [Text] / P. S. Daingade, S. D. Yadav // 2013 International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability. – 2013. – P. 40–743. – doi: 10.1109/ICEETS.2013.6533476. – ISBN 978-1-4673-6149-1. 4. Talukder, Niloy. Technical and economic assessment of biogas based electricity generation plant [Text] / 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. – ISBN: 978-1-4244-4484-7. 5. Ратушняк, Г. С. Інтенсифікація теплообміну та термостабілізація біореакторів [Текст] / Г. С. Ратушняк, В. В. Джеджула // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2006. – № 2. – С. 26–31. 6. Ратушняк, Г. С. Моделювання нестационарних режимів теплообміну в біогазових реакторах [Текст] / Г. С. Ратушняк, В. В. Джеджула, К. В. Анохіна // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – № 2. – С. 142–145. – ISSN 2307-5732. 7. Остапенко, Д. В. Тепловые процессы в метантенке при сбраживании биомассы [Текст] / Д. В. Остапенко, О. В. Чеботарева, О. В. Сербин // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2007. – № 6/5(30). – С. 18–20. 8. Билека, Б. Д. Когенерационно-теплонасосные технологии в схемах горячего водоснабжения большой мощности [Текст] / Б. Д. Билека, Л. К. Гаркуша // Промышленная теплотехника. – 2012. – Т. 34, № 4. – С. 52–57. – ISSN 0204-3602. 9. Чайковская, Е. Е. Оптимизация энергетических систем на уровне принятия решений [Текст] / Е. Е. Чайковская // Промышленная теплотехника. – 2013. – Т. 35, № 7. – С. 169–173. – ISSN 0204-3602. 10. Чайковська, Є. Є. Інтегрована технологічна система виробництва біогазу [Текст] / Є.Є. Чайковська // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – № 4/8(64). – С. 31–34. – ISSN 1729-3774. 11. Чайковська, Є. Є. Когенераційна система виробництва та споживання біогазу [Текст] / Є. Є. Чайковська // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси та устаткування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2014. – №13(1056). – С. 122–128. – Бібліогр.: 12 назв. – ISSN 2078-774X.

12. Чайковська, Є. Є. Технологічна система виробництва та споживання біогазу [Текст] / Є. Є. Чайковська // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – № 4/8(70). – С. 50–57. – ISSN 1729-3774. 13. Чайковська, Є. Є. Підтримка функціонування біогазової установки у складі когенераційної системи [Текст] / Є. Є. Чайковська, Б. І. Молодковець // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Харків : НТУ «ХПІ», 2014. – № 60(1102). – С. 31–36. – Бібліогр.: 10 назв. – ISSN 2079-5459. 14. Молодковець, Б. І. Енергозберігаюча технологія виробництва біогазу на основі теплового насоса [Текст] : зб. робіт / Б. І. Молодковець // Матеріали Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузі «Електротехніка та електромеханіка». – Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2014. – С. 16–18.

Bibliography (transliterated): 1. Zheleznaja, T. A., E. N. Olejnik and A. I. Geletuha. "Perspektivy proizvodstva jelektricheskoy jenerгии iz biomassy v Ukraine." *Promyshlennaja teplotehnika* 35.6 (2013): 67–75. ISSN 0204-3602. Print. 2. Rade, M. Ciric, and Zoran Kuzmanovic. "Techno-Economic Analysis of Biogas Powered Cogeneration." *Journal of Automation and Control Engineering* 2.1 (2014): 89–93. doi: 10.12720/joace.2.1.89-93. Print. 3. Daingade, P. S., and S. D. Yadav. "Electronically operated fuel supply system to control air fuel ratio of biogas engine." *2013 International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability* (2013): 40–743. doi:10.1109/ICEETS.2013.6533476. ISBN 978-1-4673-6149-1. Print. 4. Talukder, Niloy, et al. "Technical and economic assessment of biogas based electricity generation plant." *2013 International Conference on Electrical Information and Communication Technology (EICT)* (2014): 1–5. doi: 10.1109/EICT.2014.6777854. ISBN: 978-1-4244-4484-7. Print. 5. Ratushnyak, G. S., and V. V. Dzhedzhula. "Intensifikacija teploobminu ta termostabilizacija bioreaktoriv." *Visnik Vinnic'kogo politehnic'nogo institutu* 2 (2006): 26–31. Print. 6. Ratushnyak, G. S., V. V. Dzhedzhula and K. V. Anohina. "Modeljuvannja nestacionarnih rezhimiv teploobminu v biogazovih reaktorah." *Visnik Hmel'nic'kogo nacional'nogo universitetu* 2 (2010): 142–145. ISSN 2307-5732. Print. 7. Ostapenko, D. V., O. V. Chebotareva and V. A. Serbin. "Teplovyje processy v metantenke pri sbrazhivanii biomassy." *Vostochno-Evropskij zhurnal peredovyh tehnologij* 6/5(30) (2007): 18–20. Print. 8. Bileka, B. D., and L. K. Garkusha. "Kogeneracionno - teplonasosnye tehnologii v shemah gorjachego vodosnabzhenija bol'shoj moshhnosti." *Promyshlennaja teplotehnika* 34.4 (2012): 52–57. ISSN 0204-3602. Print. 9. Chajkovskaja, E. E. "Optimizacija jenergeticheskikh sistem na urovne prinjatija reshenij." *Promyshlennaja teplotehnika* 35.7 (2013): 169–173. ISSN 0204-3602. Print. 10. Chajkovs'ka, Je. Je. "Integrovana tehnologichna systema vyrobnyctva biogazu." *Vostochno-Evropskij zhurnal peredovyh tehnologij* 4/8(64) (2013): 31–34. ISSN 1729-3774. Print. 11. Chajkovs'ka, Je. Je. "Kogeneracijna systema vyrobnyctva ta spozhyvannja biogazu." *Visnyk NTU "KhPI". Serija: Energetychni ta teplotehnicni procesy ta ustatkuvannja*. No 13(1056). Kharkiv : NTU "KhPI", 2014. 122–128. ISSN 2078-774X. Print. 12. Chajkovs'ka, Je. Je. "Tehnologichna systema vyrobnyctva ta spozhyvannja biogazu." *Vostochno-Evropskij zhurnal peredovyh tehnologij* 4/8(70) 2014. 50–57. ISSN 1729-3774. Print. 13. Chajkovs'ka, Je. Je., and B. I. Molodkovec'. "Pidtrymka funkcionuvannja biogazovoi' ustanovky u skladi kogeneracijnoi' systemy." *Visnyk NTU "KhPI". Serija: Mehaniko-tehnologichni systemy ta kompleksy*. No 60(1102). Kharkiv : NTU "KhPI", 2014. 31–36. ISSN 2079-5459. Print. 14. Molodkovec', B. I. "Energozberigajucha tehnologija vyrobnyctva biogazu na osnovi teplovogo nasosa." *Materialy Vseukrai'ns'kogo konkursu students'kyh naukovykh robіt z galuzi "Elektrotehnika ta elektromehaniка"*. Dniprodzherzhyn'sk : DDTU, 2014. 16–18. Print.

Надійшла (received) 12.02.2015