

УДК 621.182.2.001.57

Є. Є. ЧАЙКОВСЬКА, канд. техн. наук, с.н.с.; доц. ОНПУ, Одеса

КОГЕНЕРАЦІЙНА СИСТЕМА ВИРОБНИЦТВА ТА СПОЖИВАННЯ БІОГАЗУ

Запропоновано регулювання співвідношення виробництва теплоти та електричної енергії на основі прогнозування зміни параметрів технологічного процесу здобуття та споживання біогазу. Розроблена когенераційна система, що дозволяє приймати рішення на підтримку процесу зброджування, відвантаження та завантаження сировини та акумулювання електроенергії. Такий підхід дозволяє підвищити товарність біогазової установки та знизити собівартість виробництва електроенергії до (10–15) %. Економія біогазу, наприклад, при зброджуванні 60,2 т/добу сировини складає 49,4 тис.м³/рік, що дає річне зниження викидів двоокису вуглецю 75,6 т/рік.

Ключові слова: когенерація, біогазова установка, тепловий насос, електроакумулювання.

Вступ

В умовах ресурсо- та енергозбереження використання когенераційних технологій є ефективним засобом щодо децентралізованого виробництва енергії [1]. Однак, умови когенерації ускладнені не постійністю споживання теплоти та електричної енергії, що потребує особливої уваги до регулювання їх співвідношення. Так, наприклад, з цією ціллю запропоновані методи встановлення режимів функціонування теплових схем, але з використанням статичної оцінки параметрів технологічного процесу, що не завжди можливо застосувати в реальних умовах експлуатації [2–3]. Так, дійсно, для узгодження виробництва та споживання біогазу використовують додаткове обладнання, наприклад, додаткові баки для збродженої сировини, додаткові ємності газгольдерів, значні витрати теплоти на підтримку процесу зброджування за рахунок виробленої енергії, т. ін. Це відбувається тому, що в технологіях виробництва та споживання енергії не використовують оцінку зміни теплової акумулюючої ємності як міри відтворення їх співвідношення в єдиному інформаційному просторі, що надає можливість прогнозувати зміну параметрів технологічного процесу, а не ліквідувати наслідки їх зміни [4–7].

1 Постановка задачі

Так, наприклад, для можливості регулювання співвідношення виробництва теплоти та електричної енергії з використанням біогазової установки необхідно здобути прогноуючу аналітичну оцінку зміни температури зброджування на основі оцінки зміни теплової акумулюючої ємності суслу з використанням вимірювання температури теплоносія, що гріє на виході із теплообмінника для підігріву субстрату, що змінюється за часом раніше, ніж температура зброджування [4–8]. Такий підхід надасть можливість використання відвантаженого суслу у якості низькопотенційного джерела енергії щодо встановлення обов'язкових балансів свіжої та збродженої сировини. Підтримка процесу зброджування без витрат виробленої теплоти та забезпечення постійного виходу біогазу дозволить акумулювати електроенергію щодо забезпечення як власних потреб біогазової установки, так і споживання.

2 Рішення задачі

Так, на основі методологічного та математичного обґрунтування архітектури технологічних систем запропонована технологічна система процесу здобуття біогазу, основою якої є динамічна підсистема – біогазова установка, що знаходиться в узгодженій взаємодії з блоками: підтримки динамічної рівноваги процесу зброджу-

© Є.Є. Чайковська, 2014

вання з ціллю оцінки зміни теплової акумулюючої ємності сировини, зміни режимних умов для підтримки безперервності технологічного процесу та функціональної оцінки ефективності біогазової установки [4–8].

Запропонована технологічна система на основі прогнозування зміни температури зброджування дозволяє підтримувати динамічну рівновагу процесу зброджування за рахунок відключення при розряді чи включення при заряді секцій теплообмінника для підігріву субстрату, вбудованого в метантенк, що збільшує економію умовного палива за рахунок використання енергії теплової акумуляції суслу в повній мірі. Використано вимірювання температури теплоносія, що гріє на виході із теплообмінника, яка змінюється за часом раніше, ніж температура зброджування [4–8].

Так, на основі методологічного та математичного обґрунтування архітектури технологічних систем розроблена теплонасосна системи енергопостачання з використанням інтегрованої інтелектуальної інформації як міри відтворення співвідношення виробництва та споживання енергії в інформаційному просторі: випарник-компресор та компресор-конденсатор, що дозволяє: не використовувати інерційні виміри параметрів теплоносіїв у випарнику та конденсаторі теплового насоса щодо підтримки функціонування теплонасосного енергопостачання; приймати рішення на зміну витрати холодагента у випарнику теплового насоса в залежності від температури низькопотенційного джерела енергії для його повного випаровування та забезпечення надійності компресора; узгоджувати рівень витрати холодагента у випарнику теплового насоса із рівнем потужності компресора теплового насоса щодо економічного стиску пари; узгоджувати рівень подачі пари у конденсатор теплового насоса із рівнем подачі пари у випарник теплового насоса при використанні ємності води, що нагрівається, в повній мірі; не використовувати додаткові теплові насоси щодо глибокого охолодження низькопотенційного джерела енергії [4–7, 9].

Для забезпечення обов'язкових балансів свіжої та збродженої сировини щодо отримання постійного виходу біогазу запропоновано розширити технологічну систему виробництва біогазу: додати нову динамічну підсистему – тепловий насос та блок підтримки динамічної рівноваги доповнити додатковими блоками, що прогнозують відвантаження та завантаження сировини при неможливості збереження її балансу в умовах підтримки динамічної рівноваги процесу зброджування [4–7, 10].

Так, на основі методологічного та математичного обґрунтування архітектури технологічних систем запропонована технологічна система акумулювання [4–7, 11, 12], що дозволяє прогнозувати зміну напруги заряду та розряду з використанням аналітичної оцінки зміни температури електроліту в порах пластин та над пластинами електроакумулятора, що змінюється за часом раніше, ніж щільність електроліту та напруга. Використання теплової акумулюючої ємності електроліту зменшує час заряду до 30 %.

У зв'язку із здобутою можливістю забезпечення постійного виходу біогазу та відсутністю витрат виробленої теплоти на підтримку процесу зброджування [4–7, 10] можливо запропонувати комплексну когенераційну систему виробництва та споживання біогазу з використанням електроакумуляування (рис. 1).

На основі графа причинно-наслідкових зв'язків [4–7] розроблена інтегрована логічна модель контролю працездатності динамічної підсистеми як основи когенераційної системи виробництва та споживання біогазу (рис. 1) щодо здобуття інформації на рівні прийняття рішень.

Прогнозування зниження температури зброджування на основі контролю працездатності біогазової установки від блоку контролю CT_c при розряді

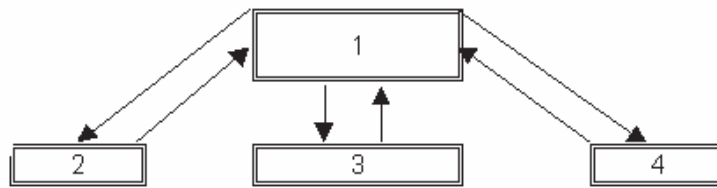


Рис. 1 – Когенераційна система виробництва та споживання біогазу:
 1 – динамічна підсистема (біогазова установка, тепловий насос, акумуляторна батарея);
 2 – інтегрована система підтримки динамічної рівноваги процесу зброджування; 3 – блок зміни режимних умов функціонування; 4 – блок оцінки функціональної ефективності

$$(CT_c(\tau)(\Delta t(\tau) / \Delta t_{\text{ст. розр. верх.}}(\tau) < \Delta t_{\text{розр. рів.}}(\tau) / \Delta t_{\text{ст. розр. верх.}}(\tau)) > 0) \quad (1)$$

дозволяє приймати рішення на підтримку динамічної рівноваги процесу здобуття біогазу шляхом відключення секцій теплообмінника для підігріву субстрату, вбудованого в метантенк (рис. 2).

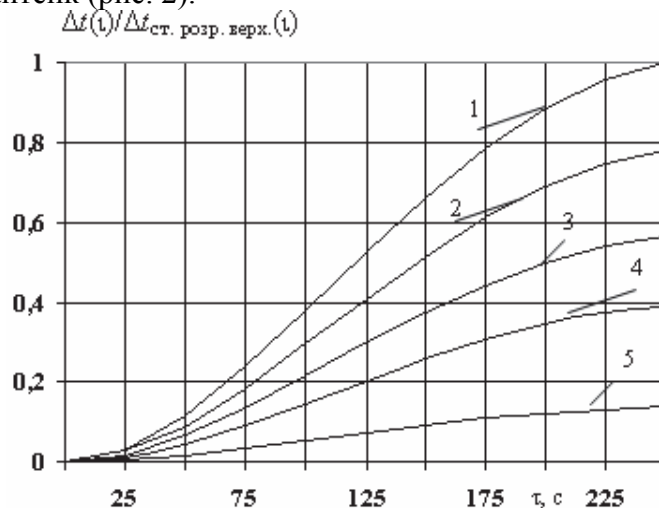


Рис. 2 – Система підтримки динамічної рівноваги процесу здобуття біогазу при розряді:
 1, 2, 4 – гранично припустима працездатність для верхнього, середнього та низького рівнів функціонування, відповідно; 3, 5 – розряд та ідентифікація розряду верхнього та середнього рівнів, відповідно, де t – температура зброджування, К; τ – час, с. Індекс: ст. розр. верх. – стале розрахункове значення температури зброджування верхнього рівня функціонування

Підтримка розряду біогазової установки надає можливість прогнозувати зміну загальної напруги заряду акумуляторної батареї на основі аналітичної оцінки зміни температури електроліту в порах пластин та над пластинами (рис. 3а)

$$(CT_c(\tau)(\Delta t(\tau) / \Delta t_{\text{ст. розр. зар}}(\tau) < \Delta t_{\text{розр.}}(\tau) / \Delta t_{\text{ст. розр. зар}}(\tau))) \quad (2)$$

Якщо після прийняття рішення на відключення секції теплообмінника, вбудованого в метантенк, при розряді біогазової установки здобуємо підсумкову інформацію від блоку контролю CT_c

$$(CT_c(\tau)(\Delta t(\tau) / \Delta t_{\text{ст. розр. верх.}}(\tau) > \Delta t_{\text{розр. рів.}}(\tau) / \Delta t_{\text{ст. розр. верх.}}(\tau)) < 1), \quad (3)$$

то для запобігання зміни напрямку теплообміну виконуємо відвантаження збродженої сировини, що дозволяє приймати рішення на розряд акумуляторної батареї

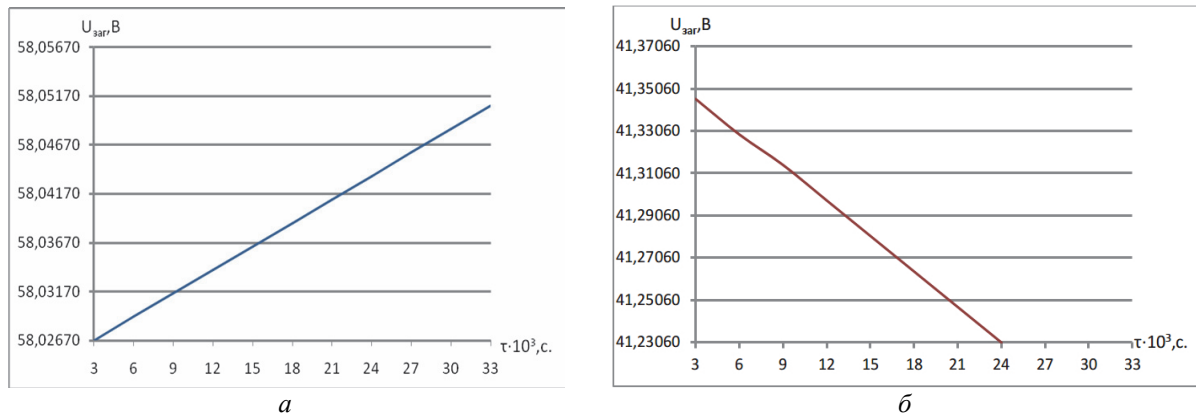


Рис. 3 – Прогнозування зміни сумарної напруги 48 В впродовж заряду *a* та розряду *б*: де *U* – загальна напруга, В; *t* – час, с

$$(P(\vartheta(t_e(\vartheta(-))), Z_{cc}(\tau)). \quad (4)$$

Таке рішення надає можливість виконати заряд системи: випарник-компресор теплового насоса на основі підсумкової інформації щодо зміни паровмісту пари у випарнику (5) та витрати пари через компресор (6)

$$(CT_c(\tau)(\Delta x(\tau) / \Delta x_{ст. розр}(\tau) > \Delta x_{розр. рів.}(\tau) / \Delta x_{ст. розр.}(\tau)), \quad (5)$$

$$(CT_c(\tau)(\Delta G(\tau) / \Delta G_{макс. розр. верх.}(\tau) < \Delta G_{розр.}(\tau) / \Delta G_{макс. розр. верх.}(\tau)), \quad (6)$$

для збільшення подачі холодагента у випарник з ціллю його повного випаровування (рис. 4)

$$(P(\tau)(G_{хл}(\tau)(+)), Z_{cc}(\tau)). \quad (7)$$

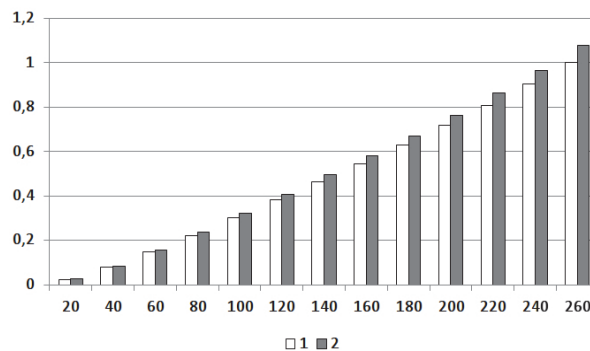


Рис. 4 – Підтримка функціонування системи випарник-компресор на рівні прийняття рішень:
1 – гранично припустима працездатність випарника та ідентифікація прийняття рішення;
2 – діагностування збільшення витрати холодагента

та економного стиску збільшеної витрати пари (рис. 5)

$$(P(\tau)(G(\tau)(-)), Z_{cc}(\tau)). \quad (8)$$

Так, прогнозована оцінка зміни напруги в акумуляторній батареї на основі оцінки зміни температури електроліту в порах пластин та над пластинами при розряді (рис. 3б)

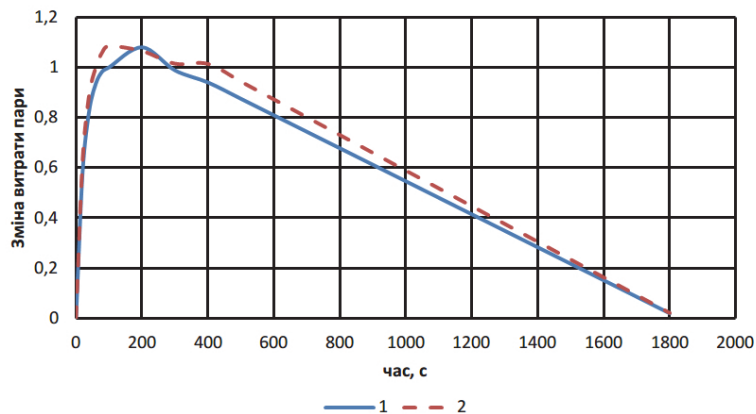


Рис. 5 – Підтримка функціонування системи випарник-компресор та компресор-конденсатор на рівні прийняття рішень:
 1 – діагностування зменшення витрати пари; 2 – діагностування збільшення витрати пари

$$(CT_c(\vartheta)(-\Delta t(\vartheta)/-\Delta t_{ст.розр.роз.}(\vartheta) > -\Delta t_{розр.}(\vartheta)/\Delta t_{ст.розр.роз.}(\vartheta)) \quad (9)$$

дозволяє приймати упереджені рішення на заряд акумуляторної батареї (рис. 3а)

$$(P(\vartheta)(t_e(\vartheta(+))), Z_{cc}(\tau), \quad (10)$$

що разом з оцінкою зміни температури теплоносія, що гріє на основі контролю працездатності конденсатора теплового насоса

$$(CT_c(\vartheta)(\Delta t(\vartheta)/\Delta t_{ст.розр.низ.}(\vartheta) < \Delta t_{розр.рів.}(\vartheta)/\Delta t_{ст.розр.низ.}(\vartheta) < 0)) \quad (11)$$

забезпечує функціонування системи компресор-конденсатор для збільшення перепуску пари холодагента в конденсатор теплового насоса (рис. 6).

Розряд системи компресор-конденсатор підтримує заряд біогазової установки щодо завантаження свіжого матеріалу з включенням секції теплообмінника для підтримки процесу зброджування за рахунок балансу потоків свіжої та збродженої сировини (рис. 7) з використанням здобутої інформації

$$(CT_c(\vartheta)(\Delta t(\vartheta)/\Delta t_{ст.розр.верх.}(\vartheta) > \Delta t_{розр.рів.}(\vartheta)/\Delta t_{ст.розр.верх.}(\vartheta) < 1)). \quad (12)$$

Здобуття ж підсумкової інформації (1) після відключення секції теплообмінника свідчить про продовження процесу зброджування щодо входження енергетичної системи в допуск нового рівня підтримки процесу розряду (рис. 2), де CT – контроль події; G – витрата речовини, кг/с; P – властивості елементів когенераційної системи; t – температура робочого тіла, К; x – паровміст робочого тіла; Z – логічні відносини в динамічній підсистемі; τ – час, с. Індeksi: c – контроль працездатності; cc – ідентифікація нових умов функціонування; e – електроліт в об’єму електроакумулятора; макс. розр. верх. – максимальне розрахункове значення параметра верхнього рівня функціонування; розр. – розрахункове значення параметра; ст. розр. зар. – стале розрахункове значення параметра при заряді; ст. розр. роз. – стале розрахункове значення параметра при розряді; ст. розр. верх. – стале розрахункове

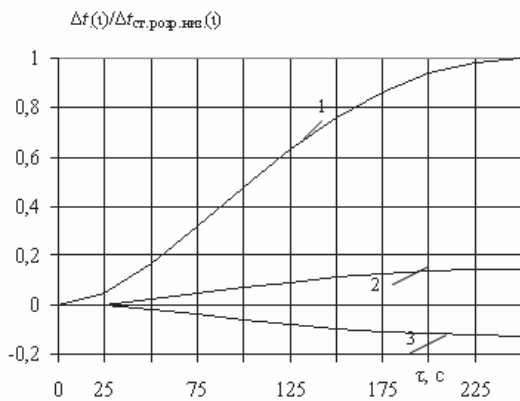


Рис. 6 – Підтримка функціонування системи компресор-конденсатор на рівні прийняття рішень: 1 – гранично припустима працездатність підігріву теплоносія, що гріє; 3, 2 – прийняття рішення та його ідентифікація щодо діагностування збільшення витрати холодагента, де t – температура теплоносія, що гріє, К; τ – час, с. Індекс: ст. розр. низ. – стале розрахункове значення температури теплоносія, що гріє, низького рівня функціонування

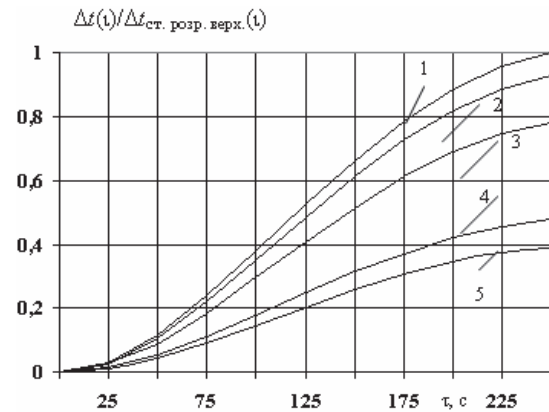


Рис. 7 – Система підтримки динамічної рівноваги процесу здобуття біогазу при заряді: 1, 3, 5 – гранично припустима працездатність біогазової установки для верхнього, середнього, низького рівнів функціонування, відповідно; 4, 2 – заряд та ідентифікація заряду нижнього та середнього рівнів відповідно де t – температура зброджування, К; τ – час, с. Індекс: ст. розр. верх. – стале розрахункове значення температури зброджування верхнього рівня функціонування

значення параметра верхнього рівня функціонування; ст. розр. низ. – стале розрахункове значення параметра низького рівня функціонування; ст. розр. – стале розрахункове значення параметра; розр. рів. – розрахункове значення параметра рівня функціонування; хл – холодагент.

Висновки

На основі прогнозування зміни параметрів технологічного процесу виробництва та споживання біогазу можливо приймати попереджувальні рішення на підтримку процесу зброджування, що дозволяє виконувати своєчасне відвантаження збродженої та завантаження свіжої сировини. В умовах постійного виходу біогазу та відсутності витрат виробленої теплоти на підтримку процесу зброджування можливо акумулювати вироблену енергію не тільки для забезпечення функціонування компресора теплового насоса, а й в години збиткового виробництва електроенергії. Так, такий підхід дозволяє підвищити товарність біогазової установки та знизити собівартість виробництва електроенергії до (10–15) %. Економія біогазу, наприклад, при зброджуванні 60,2 т/добу сировини складає 49,4 тис.м³/рік, що дає річне зниження викидів двоокису вуглецю 75,6 т/рік. Більш того, відходи анаеробного зброджування можуть бути використані не тільки як низькопотенційне джерело енергії, а й у якості добрива, що відповідають умовам охорони оточуючого середовища.

Список літератури: 1. Басок, Б. И. Анализ когенерационных установок. Часть 3. Сравнительный анализ схемных решений когенерационных установок [Текст] / И. Б. Басок, Д. А. Коломейко // Промышленная теплотехника. – 2006. – Т. 28, № 58. – С. 76–82. 2. Сафьянц, С. М. Исследование схемы источника теплоэлектроснабжения с регулированием нагрузок на базе использования тепловых насосов [Текст] / С. М. Сафьянц, Н. В. Колесниченко, Т. Е. Веретенникова // Промышленная теплотехника. – 2011. – Т. 33, № 3. – С. 79–85. 3. Ратушняк, Г. С. Интенсификация теплообмену та термостабілізація біореакторів [Текст] / Г. С. Ратушняк, В. В. Джеджула // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2006. – № 2. – С. 26–31. 4. Чайковська, Є. Є. Функціонування енергетичних систем на рівні прийняття рішень / Є.Є. Чайковська // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 5/8(59). – С. 4–6. –

ISSN 1729-3774. 5. Чайковская, Е. Е. Энергосберегающие технологии на основе интеллектуального управления тепломассобменными процессами / Е. Е. Чайковская // Abstracts of the reports and communication XIY Minsk International Heat and Mass Transfer Forum. – Минск, 2012. – Т. 2, Ч. 1. – С. 378–382. – ISBN 978-985-6456-81-0. 6. Чайковська, Є. Є. Энергосберігаючі технології на рівні прийняття рішень [Текст] / Є. Є. Чайковська // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х.: НТУ «ХПІ», 2012. – № 33. – С. 103–108. – ISSN 2079-5459. 7. Чайковская, Е. Е. Оптимизация энергетических систем на уровне принятия решений / Е. Е. Чайковская // Промышленная теплотехника. – 2013. – Т. 35, № 7. – С. 169–173. – ISSN 0204-3602. 8. Чайковська, Є. Є. Підтримка функціонування біопаливних установок [Текст] / Є. Є. Чайковська, К. О. Кустов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 2/10(56). – С. 41–44. – ISSN 1729-3774. 9. Чайковська, Є. Є. Інтелектуальна система управління теплонасосним енергопостачанням [Текст] / Є. Є. Чайковська, В. В. Стефанюк // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2011. – № 5. – С. 76–83. – ISSN 1997-9266. 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. Підтримка електроакумуляції на рівні прийняття рішень [Текст] / Є. Є. Чайковська // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Х.: НТУ «ХПІ», 2012. – № 50(956). – С. 124–127. – ISSN 2079-3944. 12. Підтримка акумуляції на рівні прийняття рішень [Текст] / Є. Є. Чайковська // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Х.: НТУ «ХПІ», 2013. – № 14(988). – С. 127–133. – Бібліогр.: 6 назв. – ISSN 2078-774X.

Bibliography (transliterated): 1. Basok, B. I., and D. A. Kolomejko. "Analiz kogeneracionnyh ustanovok. Chast' 3. Sravnitel'nyj analiz shemnyh reshenij kogeneracionnyh ustanovok." *Promyshlennaja teplotehnika* 28 (58) (2006): 76–82. Print. 2. Saf'janc, S. M., N. V. Kolesnichenko and T. E. Veretennikova. "Issledovanie shemy istochnika teplojelektrosnabzhenija s regulirovaniem nagruzok na baze ispol'zovanija teplovyh nasosov." *Promyshlennaja teplotehnika* 33 (3) (2011): 79–85. Print. 3. Ratushnyak, G. S., and V. V. Dzhedzhula. "Intensyfikacija teploobminu ta termostabilizacija bioreaktoriv." *Visnyk Vinnyc'kogo politehničnogo instytutu* 2 (2006): 26–31. Print. 4. Chajkovs'ka, Je. Je. "Funkcionuvannja energetychnyh system na rivni pryjnattja rishen'." *Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij* 5/8(59) (2012): 4–6. ISSN 1729-3774. Print. 5. Chajkovskaja, E. E. "Jenergosberegajushhie tehnologi na osnove intelektual'nogo upravlenija teplomassobmennymi processami." *Abstracts of the reports and communication XIY Minsk International Heat and Mass Transfer Forum*. No. 2.1. Minsk: 2012. 378–382. ISBN 978-985-6456-81-0. Print. 6. Chajkovs'ka, Je. Je. "Energozberigajuchi tehnologii na rivni pryjnattja rishen'." *Visnyk NTU "HPI"*. Serija: Novi rishennja v suchasnyh tehnologijah No. 33. Kharkiv: NTU "HPI", 2012. 103–108. ISSN 2079-5459. Print. 7. Chajkovskaja, E. E. "Optimizacija jenergeticheskix sistem na urovne prinjatija reshenij." *Promyshlennaja teplotehnika* 35 (7) (2013): 169–173. ISSN 0204-3602. Print. 8. Chajkovs'ka, Je. Je., and K. O. Kustov. "Pidtrymka funkcionuvannja biopalyvnyh ustanovok." *Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij* 2.10 (56) (2012): 41–44. ISSN 1729-3774. Print. 9. Chajkovs'ka, Je. Je., and V. V. Stefanjuk. "Intelektual'na systema upravlinnja teplonasosnym energopostachannjam." *Visnyk Vinnyc'kogo politehničnogo instytutu* 5 (2011): 76–83. ISSN 1997-9266. Print. 10. Chajkovs'ka, Je. Je. "Integrovana tehnologichna systema vyrobnyctva biogazu." *Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovyh tehnologij* 4/8(64) (2013): 31–34. ISSN 1729-3774. Print. 11. Chajkovs'ka, Je. Je. "Pidtrymka elektroakumuljuvannja na rivni pryjnattja rishen'." *Visnyk NTU "HPI"*. Serija: Novi rishennja v suchasnyh tehnologijah. No 50(956). Kharkiv: NTU "HPI", 2012. ISSN 2079-3944. 124–127. Print. 12. Chajkovs'ka, Je. Je. "Pidtrymka akumuljuvannja na rivni pryjnattja rishen'." *Visnyk NTU "HPI"*. Serija: Energetychni ta teplotehnichni procesy j ustatkuvannja. No 14(988). Kharkiv: NTU "HPI", 2013. 127–133. ISSN 2078-774X. Print.

Надійшла (received) 14.02.2014