

ЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ ТА КОМПЛЕКСИ ENERGY SYSTEMS AND COMPLEXES

УДК 621.31

Є. Є. Чайковська, канд. техн. наук, старш. наук. співроб.
Одеський національний політехнічний університет

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ НА РІВНІ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

Запропоновано математичне обґрунтування інтелектуальної системи підтримки функціонування енергетичних систем на основі прогнозування зміни параметрів технологічного процесу. Так, наприклад, з використанням запропонованої інтелектуальної системи розроблено інтегровану систему оцінки зміни вологовмісту повітря в сушильній камері щодо виробництва пелетного палива, яка дозволяє приймати рішення на зміну витрати повітря, що подається на підігрів, на основі зміни частоти обертання електродвигуна повітряного вентилятора, при вимірюванні температури повітря на виході із сушильної камери. Так, наприклад, на основі запропонованої інтелектуальної системи розроблено інтегровану систему підтримки температури місцевої води щодо підтримки сушки деревини при вимірюванні температури газів та температури зворотної води на вході в теплообмінник другого контуру когенераційної системи. Прийняття рішень на зміну кількості пластин теплообмінника в узгодженні із зміною частоти обертання електродвигуна повітряного вентилятора дозволяє підтримувати співвідношення виробництва електричної енергії та теплоти, що, наприклад, в умовах функціонування когенераційної системи потужністю 115 кВт при виробництві 5,8 тис. т пелет з деревини в рік знижує собівартість виробленої енергії до 20–30 %.

Ключові слова: інтелектуальна система, прогнозування параметрів, прийняття рішень

Вступ. Реалізація виробленої енергії за “зеленим тарифом” при використанні біопалива як відновлюваного джерела енергії є однією з переваг когенераційних технологій щодо виробництва електричної енергії та теплоти від одного первинного джерела енергії [1, 3]. В умовах підтримки співвідношення виробництва електричної енергії та теплоти щодо ресурсу та енергозбереження необхідно прогнозувати зміну параметрів технологічного процесу, а не ліквідувати наслідки їх зміни [3, 4].

Основна частина. З використанням методологічного та математичного обґрунтування архітектури експертних систем, методології математичного опису динаміки енергетичних систем та метода графа причинно-наслідкових зв'язків [3, 4] запропоновано математичне обґрунтування інтелектуальних систем щодо прогнозування зміни параметрів технологічного процесу:

$$IS = \left\{ \begin{array}{l} (D(P(\tau), MM(z, \tau), AI(\tau), C(\tau), LC(\tau)) \\ \langle x_0(\tau), x_1(\tau), x_2(\tau), f(\tau), K(\tau), y(\tau), d(\tau), FI(\tau) \rangle, \\ LMD(\tau), MD(\tau), NC(\tau), S(\tau), LS(\tau) \\ \langle f(\tau), K(\tau), y(\tau), d(\tau), FI(\tau) \rangle \\ P(\tau)), R(\tau), (P_i(\tau) \langle x_1(\tau), f_i(\tau), K_i(\tau), y_i(\tau) \rangle), \end{array} \right\} \quad (1)$$

де IS – інтелектуальна система; D – динамічна підсистема – енергетична система; P – властивості елементів інтелектуальної системи; MM – математичне моделювання динаміки зміни параметра, що прогнозується; AI – еталонна інформація; C – контроль працездатності енергетичної системи; LC – логічні відносини щодо контролю працездатності енергетичної системи; z – координата довжини, м; τ – час, с; x – впливи; f – параметри, що вимірюються; K – коефіцієнти математичного опису; y – вихідні параметри; d – динамічні параметри; FI – функціональна підсумкова інформація; LMD – логічні відносини щодо прийняття рішень; MD – прийняття рішення; NC – нові умови функціонування; S – ідентифікація стану енергетичної системи; LS – логічні відносини щодо ідентифікації стану енергетичної системи. Індеси: i – число елементів інтелектуальної системи; 0, 1, 2 – початковий режим, зовнішній, внутрішній характер впливів

Так, наприклад, у виробництві пелетного палива витрати на сушку деревини складають до 25 % від загальних витрат. Вміст вологи не повинен перевищувати 10 – 12 %, а сира деревина може містити близько 50 % води. В роботі [2], наприклад, визначено перевагу механічної активації матеріалу, що висушується, але за рахунок додаткових витрат на електричну енергію. В роботі [5] визначено, що на якість сушки впливають конструктивні параметри сушильної камери, але оцінка проведена при вимірюванні параметрів сушки в сушильній камері, що у зв'язку із складністю вимірів має недостовірне використання. В роботі [6] визначено вплив режимних параметрів сушки на якість сушки, але без узгодження температурного та аеродинамічного режимів сушіння матеріалу. В роботах [8, 9] видані рекомендації щодо інтенсифікації теплообміну в сушильній камері, але без можливості їх використання в реальних умовах функціонування сушильної установки. Для підтримки потужності сушки деревини використовують діагностичні системи, що базуються на вимірюванні температури повітря та його вологості в сушильній камері при вимірюванні вологості деревини. Складність вимірів та неможливість використання у єдності може привести до незворотного накопичення вологи деревиною чи припинення процесу сушки [7, 10]. У зв'язку з цим, в роботі [4] з використанням формули (1) розроблена технологія функціонування сушильної установки у складі когенераційної системи щодо виробництва пелетного палива, яка дозволяє підтримувати підігрів повітря в теплообміннику, що входить до її складу, при вимірюванні температури повітря на виході із сушильної камери. Використання розробленої інтегрованої системи оцінки зміни вологовмісту повітря в сушильній камері, здобутої на основі математичного та логічного моделювання у складі когенераційної системи, надає можливість виконувати зміну витрати повітря, що подається на підігрів, на основі зміни частоти обертання електродвигуна повітряного вентилятора та забезпечувати своєчасну подачу висушеної деревини та завантаження свіжого матеріалу (табл. 1).

Таблиця 1– Інтегрована система підтримки функціонування сушильної установки

Час, τ , 100 с	Зміна вологовмісту повітря в сушильній камері	Δw (τ) / $\Delta w_{\text{ст. розр. верх.}}(\tau)$	$w(\tau)$, %
11	Завантаження свіжої деревини. Прийняття рішення на подачу 1,8 кг/с повітря: $t_{\text{в.вих}}=55^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{в.вх}}=85^{\circ}\text{C}$	-1	12
22	Подача 1,8 кг/с повітря. Сушка деревини: $t_{\text{в.вих}}=54^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{в.вх}}=84^{\circ}\text{C}$	-0,9107	14,5
33	Подача 1,8 кг/с повітря. Сушка деревини: $t_{\text{в.вих}}=53^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{в.вх}}=82^{\circ}\text{C}$	-0,8048	17,46
44	Прийняття рішення на подачу 1,68 кг/с повітря: $t_{\text{в.вих}}=52^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{в.вх}}=80,5^{\circ}\text{C}$	-0,7544	18,87
55	Ідентифікація нових умов функціонування: подача 1,68 кг/с повітря: $t_{\text{в.вих}}=52^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{в.вх}}=80,5^{\circ}\text{C}$	-0,7532	18,87
66	Подача 1,68 кг/с повітря. Сушка деревини: $t_{\text{в.вих}}=51^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{в.вх}}=76,6^{\circ}\text{C}$	-0,5674	24,07
77	Прийняття рішення на подачу 1,65 кг/с повітря: $t_{\text{в.вих}}=51^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{в.вх}}=76,6^{\circ}\text{C}$	-0,5778	24,36
88	Ідентифікація нових умов функціонування: подача 1,65 кг/с повітря: $t_{\text{в.вих}}=51^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{в.вх}}=76,6^{\circ}\text{C}$	-0,5778	24,36
99	Подача 1,65 кг/с повітря. Сушка деревини: $t_{\text{в.вих}}=50^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{в.вх}}=76^{\circ}\text{C}$	-0,4801	27,10
110	Подача 1,65 кг/с повітря. Сушка деревини: $t_{\text{в.вих}}=48^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{в.вх}}=75^{\circ}\text{C}$	-0,3021	32,08
121	Подача 1,65 кг/с повітря. Сушка деревини: $t_{\text{в.вих}}=45^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{в.вх}}=75^{\circ}\text{C}$	-0,1277	36,96
132	Вивантаження висушеної деревини на виробництво пелетного палива: $t_{\text{в.вих}}=44^{\circ}\text{C}$; $t_{\text{в.вх}}=74^{\circ}\text{C}$	-0,0190	40

де, $t_{\text{в.вих}}$, $t_{\text{в.вх}}$ – температура повітря на виході із сушильної камери та на вході в сушильну камеру, відповідно, $^{\circ}\text{C}$; w – вологовміст повітря в сушильній камері, %. Індекс: ст. розр. верх. – стале, розрахункове значення параметра першого рівня функціонування

Для підтримки співвідношення виробництва електричної енергії та теплоти у складі когенераційної системи з використанням формули (1) розроблено інтегровану систему зміни температури місцевої води другого контуру когенераційної системи щодо забезпечення сушки деревини при безперервному вимірюванні температури газів на вході в теплообмінник та температури зворотної води (рис. 1).

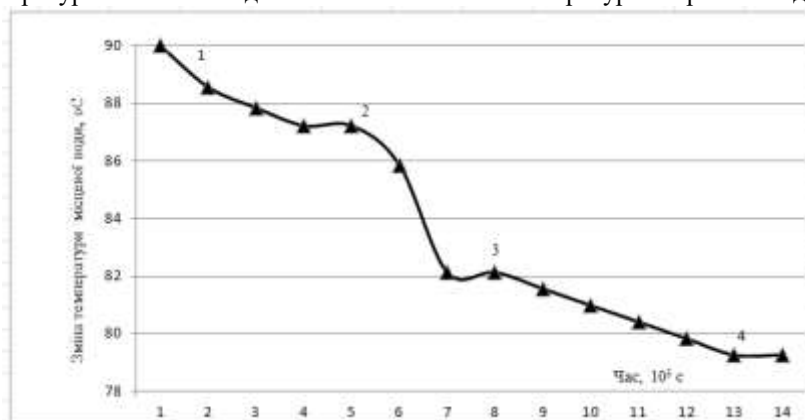


Рисунок 1 – Інтегрована система зміни температури місцевої води другого контуру когенераційної системи

Оцінка зміни температури місцевої води дозволяє приймати рішення на зміну поверхні теплообміну теплообмінника впродовж терміну сушки деревини та підтримувати відвантаження висушеної деревини та завантаження свіжого матеріалу. Так, наприклад, рівень підтримки зміни температури місцевої води 1 (рис. 1) забезпечує підігрів 1,8 кг/с повітря в термін часу від завантаження свіжої деревини до підігріву повітря до 82°C. Прийняття рішення на зменшення частоти обертання двигуна повітряного вентилятора щодо зміни витрати повітря, що подається на підігрів з 1,8 кг/с до 1,68 кг/с (табл.1) відповідає зниженню температури газів на вході з теплообмінник другого контуру когенераційної системи з 140°C до 134°C та зниженню температури зворотної води з 60°C до 56°C. В цей термін часу прийнято рішення на зміну кількості пластин теплообмінника з 36 на 44 щодо входження в допуск рівня функціонування 2 (рис. 1) когенераційної системи для підтримки температури місцевої води, що подається на підігрів повітря. При подальшому зменшенні частоти обертання електродвигуна повітряного вентилятора впродовж терміну сушки деревини та відповідному прийняттю рішень на зміну витрати повітря на підігрів (табл. 1) здобута інтегрована система зміни температури місцевої води (рис.1) дозволяє на основі прийняття рішень на зміну кількості пластин теплообмінника виконувати зміну рівня функціонування 2 на рівень функціонування 3. В термін часу 13200 с при температурі повітря, що подається на підігрів на рівні 74 °C, прийняття рішення на відвантаження висушеної деревини відповідає зміні температури газів на вході в теплообмінник другого контуру когенераційної системи – 120 °C та температурі зворотної води – 55°C. Встановлення рівня функціонування 4 (рис.1) підтримує завершення процесу сушки деревини та надає можливість входження в допуск рівня функціонування 1 щодо зміни кількості пластин теплообмінника з 52 до 36 для підтримки підігріву повітря щодо сушки завантаженої свіжої деревини (рис. 1).

Висновки. Прогнозування зміни вологовмісту повітря в сушильній камері та температури місцевої води в другому контурі когенераційної системи при використанні розробленої інтелектуальної системи дозволяє підтримувати співвідношення виробництва електричної енергії та теплоти щодо узгодження прийняття рішень на зміну частоти обертання електродвигуна повітряного вентилятора щодо зміни витрати повітря, що подається на підігрів повітря, із прийняттям рішень на підтримку температури місцевої води щодо забезпечення температурного режиму підігріву повітря. В умовах функціонування когенераційної системи, наприклад, номінальною потужністю 115 кВт можливо, при виробництві 5,8 тис. т пелет з деревини в рік, здобути грошову економію при використанні пелетного палива для опалення та гарячого водопостачання до 40 % та знизити собівартість виробленої енергії в межах 20–30 %.

Список використаної літератури

[1] Гелетуша, Г.Г. Биоэнергетика в Украине: современное состояние и перспективы развития. Часть 2 [Текст] / Г.Г. Гелетуша, Т.А. Железная, П.П. Кучерук, Е.Н. Олейник, А.В. Трибой // Промышленная теплотехника. – 2015. – Т. 37, № 3. – С. 65–73. – ISSN 0204-3602.

- [2] Трошин А.Г. Развитие процессов и оборудования для производства топливных брикетов из биомассы [Текст] / А.Г. Трошин, В.Ф. Моисеев, И.А. Тельнов, С.И. Завинский // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – № 8/45 (3). – С. 36–40. – ISSN 1729-3774.
- [3] Чайковська Є.Є. Розробка енергозберігаючої технології підтримки функціонування біодизельної установ-ки у складі когенераційної системи. [Текст] / Є.Є. Чайковська // Восточно-Европейский журнал передовых тех-нологий – 2016. – № 1/8 (79). – С.4 – 11. – ISSN 1729-3774. – doi: 10.15587/1729-4061.2016.59479.
- [4] Чайковська Є.Є. Development of energy-saving technology maintaining the functioning of a drying plant as a part of the cogeneration system [Text] / Є.Є.Чайковська// Восточно-Европейский журнал передовых технологий. –2016. – Т. 3, № 8 (81). – С.42–46. –ISSN 1729-3774. – doi: 10.15587/1729-4061.2016.72540.
- [5] Bhattarai Sujala. Simulation Study for Pneumatic Conveying Drying of Sawdust for Pellet Production [Text] / Sujala Bhattarai, Jae-Heun Oh, Seung-Hee Euh, Dae Hyun Kim, Liang Yu // Drying Technology. – 2014. – Vol. 32.–p. 1142 – 1156. –ISSN 0737-3937.–doi:10.1080/07373937.2014.884575.
- [6] Laurila, Jussi. Compression drying of energy wood [Text] /Jussi Laurila, Havimo Mikko, Lauhanen Risto // Fuel Processing Technology. – 2014. – Vol. 124. – p. 286 – 289. –ISSN 0378-3820.–doi:10.1016/j.fuproc.2014.03.016.
- [7] Perre, Patrick. Drying of Wood: Principles and Practices [Text] / Patrick Perre, Roger Keey // Handbook of Industrial Drying. – 2014. – p. 797 – 846. –ISSN 978-1-4665-9665-8. – doi: 10.1201/b17208-44.
- [8] Yuping, Liu. Application of the self-heat recuperation technology for energy saving in biomass drying system [Text] / Liu Yuping, Aziz Muhammad, Kansha Yasuki, Bhattacharya Sankar, Tsutsumi Atsushi // Fuel Processing Tech-nology. – 2014. – Vol. 117. – p. 66 – 74. –ISSN 0378-3820. – doi: 1016/j.fuproc.2013.02.007.
- [9] Wang, Hai-tao. Study of Immune PID Controller for Wood Drying System [Text] / Hai-tao Wang, Heming Jia //2013 International Conference on Communication Systems and Network Technologies. – 2013. – p. 827 – 831. –ISBN 1-4673-5603-9. –doi:10.1109/csnt.2013.176.
- [10] Zhongfu, Tian. Research on control system of wood drying based on BP Neural Network [Text] / Tian Zhongfu, Li Yuehua // Proceedings 2013 International Conference on Mechatronic Sciences, Electric Engineering and Comput-er(MEC).–2013.– p. 36–38. –ISBN 4-4799-2564-3. –doi: 10.1109/mec.2013.6885046.

УДК 621.31

Е.Е. Чайковская, канд. техн. наук, ст. науч. сотр.

Одесский национальный политехнический университет

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА УРОВНЕ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Предложено математическое обоснование интеллектуальной системы поддержки функционирования энергетических систем на основе прогнозирования изменения параметров технологического процесса. Так, например, с использованием предложенной интеллектуальной системы разработана интегрированная система оценки изменения влагосодержания воздуха в сушильной камере по производству пеллетного топлива, которая позволяет принимать решения на изменение расхода воздуха, подаваемого на подогрев, на основе изменения частоты вращения электродвигателя воздушного вентилятора, при измерении температуры воздуха на выходе из сушильной камеры. Так, например, на основе предложенной интеллектуальной системы разработана интегрированная система поддержания температуры местной воды для сушки древесины при измерении температуры газов и температуры обратной воды на входе в теплообменник второго контура когенерационной системы. Принятие решений на изменение количества пластин теплообменника в соответствии с изменением частоты вращения электродвигателя воздушного вентилятора позволяет поддерживать соотношение производства электрической энергии и теплоты, что, например, в условиях функционирования когенерационной системы мощностью 115 кВт при производстве 5,8 тыс.т пеллет из древесины в год снижает себестоимость производимой энергии до 20-30%.

Ключевые слова: интеллектуальная система, прогнозирование параметров, принятие решений

INTELLECTUAL SYSTEMS FOR SUPPORT OF ENERGY SYSTEMS FUNCTIONING AT LEVEL
OF DECISION-MAKING

The mathematical substantiation of the intellectual system for supporting the functioning of energy systems based on the forecasting of changes in the parameters of the technological process is proposed. For example, using the proposed intellectual system, an integrated system for estimating the change in air moisture content in a drying chamber for the production of pellet fuel has been developed, which allows decisions on the change in the air flow rate for heating, on the basis of a change in the speed of the electric motor of the air fan at measuring the air temperature at the outlet from the drying chamber. So, for example, based on the proposed intellectual system, an integrated system for maintaining the temperature of local water for drying wood was developed when measuring the temperature of the gases and the temperature of the return water at the inlet to the heat exchanger of the second circuit of the cogeneration system. The decision to change the number of plates of the heat exchanger in accordance with the change in the speed of the electric motor of the air fan makes it possible to maintain the ratio of the production of electric energy and heat, which, for example, in the operation of a cogeneration system with a capacity of 115 kW for the production of 5.8 thousand tons of wood pellets in year reduces the cost of produced energy to 20-30%.

Key words: intellectual system, forecasting of parameters, decision-making.

References

- [1] Heletuha, H. H. Bioenergy in Ukraine: Current State and Prospects for Development. Part 2 [Text] / H. H. Geliez-naia, T. A. Gelieznaia, P. P. Kuchtruk, E. N. Olienic, A. B. Triboi // *Promyshlennaja teplochnika*. – 2015. – T. 37, № 3. – C. 65–73. – ISSN 0204-3602 (Rus).
- [2] Trohin, A. H. Development of processes and equipment for the production of fuel pellets from biomass [Text] / A. H. Trohin, V. F. Moisieiev, I. A. Telnov, S. I. Zavinski // *Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovich tehnologij*. – 2010. – № 8/45 (3). – C. 36–40. – ISSN 1729-3774 (Rus).
- [3] Chaikovskaya, E. E. The development of energy-saving technology support operation of biodiesel plant of the composition of cogeneration system [Text] / E. E. Chaikovskaya, // *Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovich tech-nologij*. –2016. – № 1/8 (79). – C.4 – 11. – ISSN 1729-3774. – doi: 10.15587/1729-4061.2016.59479 (Ukr).
- [4] Chaikovskaya, E. E. Development of energy-saving technology maintaining the functioning of a drying plant as a part of the cogeneration system [Text] / E. E. Chaikovskaya // *Vostochno-Evropejskij zhurnal peredovich tehnologij* –2016. – T. 3, № 8 (81). – C.42–46. –ISSN 1729-3774. – doi: 10.15587/1729-4061.2016.72540 (Engl).
- [5] Bhattarai, Sujala. Simulation Study for Pneumatic Convey ing Drying of Sawdust for Pellet Production [Text] / Sujala Bhattarai, Jae-Heun Oh, Seung-Hee Euh, Dae Hyun Kim, Liang Yu // *Drying Technology*. – 2014. – Vol. 32.–p. 1142 – 1156. –ISSN 0737-3937.–doi:10.1080/07373937.2014.884575.
- [6] Laurila, Jussi. Compression drying of energy wood [Text] /Jussi Laurila, Havimo Mikko, Lauhanen Risto // *Fuel Processing Technology*. – 2014. – Vol. 124. – p. 286 – 289. –ISSN 0378-3820.–doi:10.1016/j.fuproc.2014.03.016.
- [7] Perre, Patrick. Drying of Wood: Principles and Practices [Text] / Patrick Perre, Roger Key // *Handbook of Industrial Drying*. – 2014. – p. 797 – 846. –ISSN 978-1-4665-9665-8. – doi: 10.1201/b17208-44.
- [8] Yuping, Liu. Application of the self-heat recuperation technology for energy saving in biomass drying system [Text] / Liu Yuping, Aziz Muhammad, Kansha Yasuki, Bhattacharya Sankar, Tsutsumi Atsushi // *Fuel Processing Tech-nology*. – 2014. – Vol. 117. – p. 66 – 74. –ISSN 0378-3820. – doi: 1016/j.fuproc.2013.02.007.
- [9] Wang, Hai-tao. Study of Immune PID Controller for Wood Drying System [Text] / Hai-tao Wang, Heming Jia //2013 International Conference on Communication Systems and Network Technologies. – 2013. – p. 827 – 831. –ISBN 1-4673-5603-9. –doi:10.1109/csnt.2013.176.
- [10] Zhongfu, Tian. Research on control system of wood drying based on BP Neural Network [Text] / Tian Zhongfu, Li Yuehua // *Proceedings 2013 International Conference on Mechatronic Sciences, Electric Engineering and Comput-er(MEC)*.–2013.– p. 36–38. –ISBN 4-4799-2564-3. –doi: 10.1109/mec.2013.6885046.

Надійшла 20.03.2017

Received 20.03.2017