

Zhuchenko O. A.

MODELING OF THE START-UP PART OF A POLYMER EXTRUSION PROCESS

The paper presents a new approach to the modeling of the start-up part of a polymer extrusion process, based on a neural network. Some different model structures were researched. As a performance criterion in estimating the quality of the neural network model the cumulated squared error over a whole training sequence of data was used. The backpropagation algorithm was used as a training algorithm. The design steps, which included choosing the network topology, training, validation and testing, were illustrated with data taken from a real process that uses polymer material.

It was found that for the extruder system presented in the paper, 3 hidden neurons and 2 input and output delays gave optimum performance. As a result the optimal model structure and parameters of the neural network (weights and biases) were determined.

Simulation results with real data are also presented and confirm good performance of proposed control system. The neural network model approximated the transient part of the process well even when input variables were quite far away from training data.

Keywords: neural network, extrusion, control system, start-up part.

References

1. Rauvandal K. Ekstruziya polymerov [Polymer extrusion] / K. Rauvandal. – SPb. : Professya Publ., 2006. – 768 p.
2. Torner R. V. Teoreticheskiye osnovy pererabotky polymerov [Theoretical basis of polymer processing] / R. V. Torner. – Moscow : Khimiya, 1977. – 464 p.
3. Tadmor Z. Principles of Polymer Processing / Z. Tadmor, C. G. Gogos. – N.-Y. : Wiley-Interscience, 2006. – 961 p.
4. Popescu O. A new approach to modeling and control of a food extrusion process using neural networks and expert system / O. Popescu, D. C. Popescu, J. Wilder, M. V. Karwe // J. of Food Process Eng. – 2001. – 24 (1). – P. 17-36.
5. Yampolskyi L. S. Systemy shchuchnoho intelektu v planuvanni, modeliuvanni ta upravlinni [Artificial intelligence in planning, modeling and control] / L. S. Yampolskyi, B. P. Tkach, O. I. Lisovychenko. – K. : Personal, 2011. – 544 s.
6. Yampolskyi L. S. Hnuchki kompiuterno-intehrovani systemy: planuvannia, modeliuvannia, veryfikatsiia ta upravlinnia [Flexible computer-integrated systems: planning, design, verification and management] / L. S. Yampolskyi, P. P. Melnychuk, K. B. Ostapchenko, O. I. Lysovychenko. – Zhytomyr : ZhDTU, 2010. – 786 s.
7. Le S. J. Application of fuzzy control to start-up of twin screw extruder / S. J. Le, C. G. Hong, T. S. Han et al // Food Control. – 2002. – 13. – P. 301-306.

УДК 65.012.122

КУБРАК А. І., к.т.н., проф.; СИТНІКОВ О. В., ас.
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВАННИ СКЛОВАРНОЇ ПЕЧІ

Розглянуто ванну скловарної печі, що є об'єктом у системі керування скловарним виробництвом. Розроблено математичну модель скловарної печі з урахуванням усіх межових умов і виведено передатні функції за каналами температура газу – температура скломаси, температура газу – температура кладки. Задачу розв'язано за допомогою перетворення за Лапласом рівнянь теплопровідності для скломаси і кладки з отриманням їх характеристичних рівнянь. Наступним кроком було створення матриці коефіцієнтів системи та за її розрахунком – отримання коефіцієнтів рівнянь теплопровідності.

Ключові слова: скловарна піч, математичне моделювання, система керування, передатна функція.

© Кубрак А. І., Ситніков О. В., 2013.

Постановка задачі. Із зростанням вимог до економії сировинних і паливно-енергетичних ресурсів стає актуальним точне та якісне керування технологічними режимами скловарних печей. Оптимізація печі в ручному режимі ускладнюється тим, що скловарна піч є складним інерційним об'єктом із багатьма зв'язками.

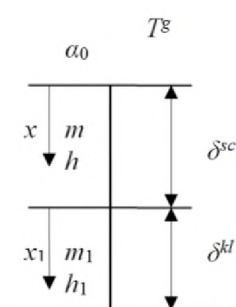


Рис. 1 – Шари скломаси та кладки

Аналіз попередніх досліджень. У праці [1] виведено модель теплового режиму скломаси як частини об'єкта керування, у праці [2] – передатні функції скломаси, кладки та ванни в цілому. Окремо розглядалася кладка бокових стінок із врахуванням теплових потоків [3].

Метою цієї статті є одержання математичної моделі для скловарної печі у вигляді передатних функцій скломаси та кладки.

Виклад основного матеріалу. Розглянемо скломасу та кладку дна печі в поперечному перерізі (рис. 1) з такими параметрами: δ^{sc} , δ^{kl} – товщини шару скломаси та кладки; x , x_1 – поточне значення глибини шарів; a_0 – коефіцієнт теплообміну між газом та верхньою поверхнею скломаси; T^g – температура газу; h , h_1 – крок за координатами x та x_1 ; m , m_1 – кількість шарів.

Запишемо рівняння теплопровідності [4] для скломаси та кладки, а також межові умови на поверхні контакту газу та скломаси, умови ідеального теплового контакту, ідеальної теплової ізоляції на нижній поверхні кладки та виконаємо

для нього перетворення за Лапласом:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \theta^{sc}}{\partial t} = a_{sc} \frac{\partial^2 \theta^{sc}}{\partial x^2}, \quad 0 \leq x \leq \delta \\ \frac{\partial \theta^{kl}}{\partial t} = a_{kl} \frac{\partial^2 \theta^{kl}}{\partial x_1^2}, \quad 0 \leq x_1 \leq \delta_{kl} \\ -\lambda_{sc} \frac{\partial \theta^{sc}}{\partial x} \Big|_{x=0} = \alpha_0 (T^g - \theta^{sc} \Big|_{x=0}) \\ -\lambda_{sc} \frac{\partial \theta^{sc}}{\partial x} \Big|_{x=\delta_{sc}} = -\lambda_{kl} \frac{\partial \theta^{kl}}{\partial x_1} \Big|_{x_1=0} \\ \theta^{sc} \Big|_{x=\delta_{sc}} = \theta^{kl} \Big|_{x_1=0} \\ \frac{\partial \theta^{kl}}{\partial x_1} \Big|_{x_1=\delta_{kl}} = 0 \end{array} \right. \rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \frac{d^2 \bar{\theta}^{sc}}{dx^2} - \frac{p}{a_{sc}} \bar{\theta}^{sc} = 0 \\ \frac{d^2 \bar{\theta}^{kl}}{dx_1^2} - \frac{p}{a_{kl}} \bar{\theta}^{kl} = 0 \\ -\lambda_{sc} \frac{d \bar{\theta}^{sc}}{dx} \Big|_{x=\delta_{sc}} = -\lambda_{kl} \frac{d \bar{\theta}^{kl}}{dx_1} \Big|_{x_1=0} \\ \bar{\theta}^{sc} \Big|_{x=\delta_{sc}} = \bar{\theta}^{kl} \Big|_{x_1=0} \\ -\frac{\lambda_{sc}}{\alpha_0} \frac{d \bar{\theta}^{sc}}{dx} \Big|_{x=0} = \bar{T}^g - \bar{\theta}^{sc} \Big|_{x=0} \\ \frac{d \bar{\theta}^{kl}}{dx_1} \Big|_{x_1=\delta_{kl}} = 0 \end{array} \right.$$

Характеристичні рівняння [5] і корені для перших двох рівнянь перетворення за Лапласом:

$$r^2 - \frac{p}{a_{sc}} = 0, \quad r_{1,2} = \pm \sqrt{\frac{p}{a_{sc}}}; \quad U^2 - \frac{p}{a_{kl}} = 0, \quad U_{1,2} = \pm \sqrt{\frac{p}{a_{kl}}}.$$

Відповідні розв'язки:

$$\bar{\theta}^{sc} = C_1 e^{x \sqrt{\frac{p}{a_{sc}}}} + C_2 e^{-x \sqrt{\frac{p}{a_{sc}}}}, \quad \bar{\theta}^{kl} = C_3 e^{x_1 \sqrt{\frac{p}{a_{kl}}}} + C_4 e^{-x_1 \sqrt{\frac{p}{a_{kl}}}}.$$

Підставляємо їх у межові умови, перегрупуємо доданки:

$$\left\{ \begin{array}{l} C_1 \left(1 - \frac{\lambda_{sc}}{\alpha_0} \sqrt{\frac{p}{a_{sc}}} \right) + C_2 \left(1 + \frac{\lambda_{sc}}{\alpha_0} \sqrt{\frac{p}{a_{sc}}} \right) + 0 \cdot C_3 + 0 \cdot C_4 = \bar{T}^g \\ C_1 e^{\delta_{sc} \sqrt{\frac{p}{a_{sc}}}} - C_2 e^{-\delta_{sc} \sqrt{\frac{p}{a_{sc}}}} - b_5 C_3 + b_5 C_4 = 0 \\ C_1 e^{\delta_{sc} \sqrt{\frac{p}{a_{sc}}}} + C_2 e^{-\delta_{sc} \sqrt{\frac{p}{a_{sc}}}} - C_3 - C_4 = 0 \\ C_1 \cdot 0 + C_2 \cdot 0 + C_3 e^{\delta_{kl} \sqrt{\frac{p}{a_{kl}}}} - C_4 e^{-\delta_{kl} \sqrt{\frac{p}{a_{kl}}}} = 0 \end{array} \right. , \quad \text{де } b_5 = \frac{\lambda_{kl}}{\lambda_{sc}} \sqrt{\frac{a_{sc}}{a_{kl}}}.$$

Матриця коефіцієнтів цієї системи:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 - \frac{\lambda_{sc}}{\alpha_0} \sqrt{\frac{p}{a_{sc}}}; & 1 + \frac{\lambda_{sc}}{\alpha_0} \sqrt{\frac{p}{a_{sc}}}; & 0; & 0 \\ e^{\delta_{sc} \sqrt{\frac{p}{a_{sc}}}}; & -e^{-\delta_{sc} \sqrt{\frac{p}{a_{sc}}}}; & -b_5; & b_5 \\ e^{\delta_{sc} \sqrt{\frac{p}{a_{sc}}}}; & e^{-\delta_{sc} \sqrt{\frac{p}{a_{sc}}}}; & -1; & 1 \\ 0; & 0; & e^{\delta_{kl} \sqrt{\frac{p}{a_{kl}}}}; & -e^{-\delta_{kl} \sqrt{\frac{p}{a_{kl}}}} \end{vmatrix}$$

За правилом Крамера значення C після розкриття Δz за елементами:

$$\begin{cases} C_1 = \overline{T^g} \frac{D_1(p)}{\Delta} \\ C_2 = -\overline{T^g} \frac{D_2(p)}{\Delta} \\ C_3 = \overline{T^g} \frac{D_3(p)}{\Delta} \\ C_4 = -\overline{T^g} \frac{D_4(p)}{\Delta} \end{cases},$$

де

$$D_1(p) = \begin{vmatrix} -e^{-\delta_{sc} \sqrt{\frac{p}{a_{sc}}}}; & -b_5; & b_5 \\ e^{-\delta_{sc} \sqrt{\frac{p}{a_{sc}}}}; & -1; & -1 \\ 0; & e^{\delta_{kl} \sqrt{\frac{p}{a_{kl}}}}; & -e^{-\delta_{kl} \sqrt{\frac{p}{a_{kl}}}} \end{vmatrix}; \quad D_2(p) = \begin{vmatrix} e^{\delta_{sc} \sqrt{\frac{p}{a_{sc}}}}; & -b_5; & b_5 \\ e^{\delta_{sc} \sqrt{\frac{p}{a_{sc}}}}; & -1; & -1 \\ 0; & e^{\delta_{kl} \sqrt{\frac{p}{a_{kl}}}}; & -e^{-\delta_{kl} \sqrt{\frac{p}{a_{kl}}}} \end{vmatrix};$$

$$D_3(p) = \begin{vmatrix} e^{\delta_{sc} \sqrt{\frac{p}{a_{sc}}}}; & -e^{-\delta_{sc} \sqrt{\frac{p}{a_{sc}}}}; & b_5 \\ e^{\delta_{sc} \sqrt{\frac{p}{a_{sc}}}}; & e^{-\delta_{sc} \sqrt{\frac{p}{a_{sc}}}}; & -1 \\ 0; & 0; & -e^{-\delta_{kl} \sqrt{\frac{p}{a_{kl}}}} \end{vmatrix}; \quad D_4(p) = \begin{vmatrix} -e^{-\delta_{sc} \sqrt{\frac{p}{a_{sc}}}}; & -e^{-\delta_{sc} \sqrt{\frac{p}{a_{sc}}}}; & -b_5 \\ -e^{-\delta_{sc} \sqrt{\frac{p}{a_{sc}}}}; & e^{-\delta_{sc} \sqrt{\frac{p}{a_{sc}}}}; & -1 \\ 0; & 0; & e^{\delta_{kl} \sqrt{\frac{p}{a_{kl}}}} \end{vmatrix}.$$

З урахуванням цього:

$$\overline{\theta^{sc}} = \frac{\Delta_1}{\Delta} e^{x \sqrt{\frac{p}{a_{sc}}}} + \frac{\Delta_2}{\Delta} e^{-x \sqrt{\frac{p}{a_{sc}}}}, \quad \overline{\theta^{kl}} = \frac{\Delta_3}{\Delta} e^{x_1 \sqrt{\frac{p}{a_{kl}}}} + \frac{\Delta_4}{\Delta} e^{-x_1 \sqrt{\frac{p}{a_{kl}}}};$$

$$\overline{\theta^{sc}} = \frac{\overline{T^g}}{\Delta} \left[D_1(p) e^{x \sqrt{\frac{p}{a_{sc}}}} - D_2(p) e^{-x \sqrt{\frac{p}{a_{sc}}}} \right], \quad \overline{\theta^{kl}} = \frac{\overline{T^g}}{\Delta} \left[D_3(p) e^{x_1 \sqrt{\frac{p}{a_{kl}}}} - D_4(p) e^{-x_1 \sqrt{\frac{p}{a_{kl}}}} \right].$$

Передатні функції [1] для цих рівнянь:

$$W_{T_g \rightarrow \theta^{sc}(x)}(p, x) = \frac{D_1(p) e^{x \sqrt{\frac{p}{a_{sc}}}} - D_2(p) e^{-x \sqrt{\frac{p}{a_{sc}}}}}{\Delta}; \quad W_{T_g \rightarrow \theta^{sc}} \Big|_{x=x_{out}}(p, x) = \frac{D_1(p) e^{x_{out} \sqrt{\frac{p}{a_{sc}}}} - D_2(p) e^{-x_{out} \sqrt{\frac{p}{a_{sc}}}}}{\Delta};$$

$$W_{T_g \rightarrow 0^{kl}(x)}(p, x) = \frac{D_3(p)e^{x\sqrt{\frac{p}{a_{kl}}}} - D_4(p)e^{-x\sqrt{\frac{p}{a_{kl}}}}}{\Delta}$$

Висновок. Одержано математичну модель скловарної печі з урахуванням усіх межових умов і виведено передатні функції за каналами температура газу – температура скломаси, температура газу – температура кладки.

Список використаної літератури

1. Лазебная Т. А. Математичне моделювання складних теплових об'єктів / Т. А. Лазебная, А. В. Ситников, И. С. Бобонич, О. П. Савченко // Компьютерная математика. – К., 2011. – Ч. 2. – С. 15-20.
2. Жученко А. І. Передатні функції елементів скловарної печі / А. І. Жученко, О. В. Ситников // Наук. вісн. Нац. техн. ун-ту України «Київ. політехн. ін-т»; сер. «Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження». – 2011. – № 1 (7). – С. 128-129.
3. Ситников А. В. Создание системы уравнений тепловых потоков для стекловарной печи ванного типа / А. В. Ситников, К. М. Мироненко // Перспективы развития информационных технологий. – 2011. – № 5. – С. 101-105.
4. Лыков А. В. Теория теплопроводности / А. В. Лыков. – М.: Высш. шк., 1967. – 600 с.
5. Кубрак А. І. Комп'ютерне моделювання та ідентифікація автоматичних систем / А. І. Кубрак, А. І. Жученко, М. З. Кваско. – К.: Політехніка, 2004. – 424 с.

Надійшла до редакції 15.03.2013.

Kubrak A. I., Sytnikov O. V.

STRUCTURAL MODEL OF FURNACE BATH

Considered private glass furnace that is subject to the control system glass production. Created a structural model of the furnace bath, with all the boundary conditions, and its transfer function is derived via the gas temperature – the temperature of molten glass, the gas temperature – the temperature of masonry.

This problem was solved by using the Laplace transformed equations of thermal conductivity for glass and masonry, to obtain their characteristic equations. The next step was to find the coefficient matrix of the system and after the calculation to obtain the coefficients of thermal conductivity.

Particular attention should be paid to the transfer function obtained with a value of $x = x_{out}$ as a particular solution of the problem removing the transfer function. In the following result can be used in the synthesis of control systems.

Keywords: transmission function, glass furnace, characteristic equation.

References

1. Lazebnaia T. A. Matematychnе modeliuвання skladnykh teplovykh ob'ektiv / T. A. Lazebnaia, A. V. Sytnikov, Y. S. Bobonych, O. P. Savchenko [Mathematical modeling of complex thermal objects] // Kompiuternaia matematyka. – K., 2011. – Ch. 2. – S. 15-20.
2. Zhuchenko A. I. Peredatni funktsii elementiv sklovarnoi pechi [The transmission functions of glass furnace elements] / A. I. Zhuchenko, O. V. Sytnikov // Nauk. visn. Nats. tekhn. un-tu Ukrainy «Kyiv. politekhn. in-t»; ser. «Khimichna inzheneriia, ekolohiia ta resursozberezhennia». – 2011. – # 1 (7). – S. 128-129.
3. Sitnikov A. V. Sozdanie sistemy uravnenij teplovykh potokov dlja steklovarnoj pechi vannogo tipa [Creation of the system of equalizations of heat streams for bath type glass furnace] / A. V. Sitnikov, K. M. Mironenko // Perspektivy razvitiia informacionnykh tehnologii. – 2011. – № 5. – S. 101-105.
4. Lykov A. V. Teorija teploprovodnosti [The theory of heat conduction] / A. V. Lykov. – M.: Vyssh. shk., 1967. – 600 s.
5. Kubrak A. I. Kompiuterne modeliuвання ta identyfikatsiia avtomatychnykh system [Computer design and authentication of the automatic systems] / A. I. Kubrak, A. I. Zhuchenko, M. Z. Kvasko. – K.: Politekhnyka, 2004. – 424 s.