

In the course of this work revealed that the occurrence of wave processes directly related to the interval of time spent on the opening and closing of the metering orifice. Often sold to influence the dosage and the emergence of gas shock will have a shock wave, reflected wave and the expansion wave. Obtain the basic mathematical relations for the basic parameter has wave processes.

The obtained dependences reflect the influence of the main factors on the occurrence of wave processes. **shock wave , expansion wave , the actuator , the gas flow , flow rate , pressure drop**

Одержано 07.10.13

УДК 622.481

Л.Д. Ярошук, доц., канд. техн. наук, О.А. Жученко, асист.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Система керування режимом розігріву процесу екструзії полімерів

Запропонована система керування режимом розігріву процесу екструзії полімерів. Система використовує принципи керування з внутрішньою моделлю. Як математична модель процесу нагрівання використовується інтегральна ланка другого порядку з запізненням. Для ідентифікації моделі застосований метод інструментальних змінних.

Розроблений метод налаштування системи керування, який забезпечує її робастну стійкість по відношенню до неточності параметрів математичної моделі.

Проведене дослідження представленої системи керування шляхом порівняння якості її роботи з іншими відомими аналогічними системами.

Результати дослідження свідчать про високу ефективність запропонованої системи керування. **екструдер, полімер, режим розігріву, система керування**

Л.Д. Ярошук, А.А. Жученко

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Система управління режимом розогрева процесса экструзии полимеров

Предложенная система управления режимом разогрева процесса экструзии полимеров. Система использует принципы управления с внутренней моделью. Как математическая модель процесса нагрева используется интегральное звено второго порядка с запаздыванием. Для идентификации модели применен метод инструментальных переменных.

Разработанный метод настройки системы управления, который обеспечивает ее робастную устойчивость по отношению к неточности параметров математической модели.

Проведенное исследование представленной системы управления путем сравнения качества ее работы с другими известными аналогичными системами.

Результаты исследования свидетельствуют о высокой эффективности предложенной системы управления.

экструдер, полимер, режим разогрева, система управления

Вступ

Повний цикл процесу екструзії є багатостадійним, який включає у себе такі стадії:

1) розігрів екструдера до заданого технологічними умовами температурного режиму;

2) пуск процесу екструзії – перехід від стану, коли продукція на виході екструдера відсутня, до стану, коли вихідна продукція екструдера відповідає заданим кількісним та якісним характеристикам;

3) режим нормальної експлуатації;

4) зупинка процесу екструзії.

У даній роботі розглядається перша з названих вище стадій – режим розігріву, який характеризується непродуктивними витратами робочого часу та енергетичних ресурсів. Тому, з точки зору підвищення ефективності роботи технологічного обладнання у виробництві полімерів в цілому і енергозбереження зокрема, задача керування режимом розігріву екструдера може бути сформульована таким чином: необхідно розігріти екструдер до потрібного температурного режиму по зонах за найкоротший час без перегріву апарату (або з мінімальним перегрівом).

Постановка задачі

Розв'язанню названої вище задачі, на жаль, не приділяється достатньої уваги. Тільки останнім часом з'явилися результати наукових досліджень, присвячені даному питанню. У праці [1] розроблена стратегія оптимального переключення нагрівачів, яка забезпечує розігрів екструдера з незначним температурним перегрівом. Для ефективної стабілізації температури процесу екструзії запропоновані методи керування [2-4], основані на прогнозуванні моделі. У праці [5-7] представлені багатовимірні системи керування, метою яких є компенсація збурень, що діють у режимі розігріву екструдера. Як показали результати досліджень, наведені у [8-10], керування розігрівом екструдера має здійснюватись на основі математичної моделі, що суттєво покращує якість самого процесу. Деякі дослідники [11-13] розглядали питання, пов'язані з урахуванням реально існуючих обмежень при впровадженні систем керування розігрівом екструдера.

Найбільш цікаві результати отримані у працях [14] та [15]. У першій з них пропонується система керування режимом розігріву екструдера, яка використовує математичну модель процесу у вигляді інтегральної ланки першого порядку з запізнюванням та ПД-регулятор, налаштований за методом Зіглера-Ніколса. Автор другої роботи Скогестада розробив систему керування на основі внутрішньої моделі та ПД-регулятора. Однак дані системи не забезпечують відсутність перегріву екструдера. Отже, для підвищення ефективності режиму розігріву екструдера постає завдання розробки відповідної системи керування.

У зв'язку з цим метою даної статті є розробка системи керування режимом розігріву процесу екструзії полімерів та дослідження її ефективності.

Синтез системи керування

Для спрощення практичної реалізації пропонується скористатися системою керування з внутрішньою моделлю [16-20], структурна схема якої зображена на рис.1.

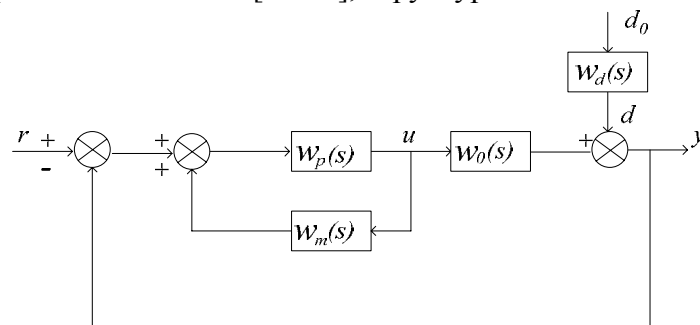


Рисунок 1 - Структурна схема системи керування розігрівом екструдера

На даній схемі позначимо: $W_o(s)$ - передатна функція об'єкту керування; $W_m(s)$ - модель об'єкта керування; $W_p(s)$ - передатна функція регулятора; $W_d(s)$ - передатна функція збурень; d_o - збурення, приведені до виходу об'єкта керування; r - завдання (задане значення температури); u - керування; y - вихід (поточне значення температури).

Передатна функція замкненої системи (рис. 1) буде

$$G(s) = \frac{W_o(s) \cdot W_p(s)}{1 + [W_o(s) - W_m(s)] W_p(s)} \quad (1)$$

В ідеальному випадку, коли $W_m(s) = W_o(s)$, передатна функція замкненої системи набуває вигляду

$$G(s) = W_o(s) \cdot W_p(s) \quad (2)$$

У статті [21] запропонована математична модель режиму розігріву процесу екструзії полімерів. Вона являє собою інтегральну ланку другого порядку з запізнювання (ДПЗ - модель):

$$W_m(s) = k_p \frac{e^{-\Theta s}}{s(Ts + 1)}, \quad (3)$$

де k_p - коефіцієнт підсилення об'єкту керування;

T - стала часу;

Θ - час запізнювання.

Бажану передатну функцію замкненої системи виберемо у вигляді

$$G_o(s) = \frac{e^{-\Theta s}}{(T_o s + 1)^2}, \quad (4)$$

де T_o - параметр налаштування замкненої системи.

Тоді шукана передатна функція регулятора може бути визначена з (2):

$$W_p(s) = \frac{s(Ts + 1)}{k_p (T_o s + 1)^2} \quad (5)$$

Очевидно, що параметр T_o стає параметром налаштування регулятора. Цей параметр має бути визначений із умови досягнення бажаного режиму розігріву екструдера.

Як показано у [21], початкову стадію розігріву можна вважати реакцією об'єкта на одиничну ступінчасту функцію $\Delta r = r - y_0$ (y_0 - початкове значення температури).

Тоді з (5) отримаємо перехідну функцію

$$h(t) = \begin{cases} 0, & t \leq 0 \\ \Delta r \left[1 - \left(1 + \frac{t - \Theta}{T_o} \right) e^{-(t - \Theta)/T_o} \right], & t > 0 \end{cases} \quad (6)$$

яка свідчить про те, що в ідеальному випадку ($W_m(s) = W_o(s)$) перегрів екструдера повністю відсутній, а бажаний режим нагріву (характер перехідної функції $h(t)$) може бути досягнуто за рахунок налаштування параметру T_o . Так, наприклад, якщо задати час t_h , при якому треба досягти 95% величини Δr , то з (6) впливає розрахункова формула

$$t_h = 4,7439T_o + \Theta, \quad (7)$$

звідки легко визначається параметр T_o .

Треба зазначити, що при розрахунку реального сигналу керування u_p слід прийняти до уваги витрату тепла в оточуюче середовище за рахунок конвекції, яку можна розглядати як детерміноване збурення. У зв'язку з цим сигнал $u_p(t)$ доцільно розраховувати за формулою

$$u_p(t) = u(t) + u_o(t), \quad (8)$$

де $u_o(t)$ - сигнал, відповідний втратам тепла. Ці втрати можна визначити, підтримуючи температури на заданому рівні після закінчення розігріву.

Крім того, треба пам'ятати про обмежену потужність нагрівачів, у зв'язку з чим налаштоване T_o повинно бути таким, щоб розрахункове $u(t)$ знаходилось у допустимих межах. Причому у випадку, коли $u(t)$ перевищує максимально допустиме значення, ситуація може бути виправленою завдяки відповідному збільшенню часу розігріву. Гірша ситуація, коли $u(t)$ менше мінімально допустимої величини. Це може призвести до відхилення кінцевої температури від заданого значення і перегріву екструдера.

Передатна функція $H(s)$ за каналом «збурення d_o -вихід» виглядає таким чином

$$H(s) = W_d(s)[1 - G(s)], \quad (9)$$

де $W_d(s)$ - стійка передатна функція збурень. З урахуванням виразу (4) отримаємо

$$\lim_{s \rightarrow 0} H(s) = 0, \quad (10)$$

що вказує на те, що збурення у вигляді ступінчастої функції будуть асимптотично ліквідовані.

Для оцінювання робастної стабільності розглядуваної системи керування введемо

$$\Delta_m(s) = \frac{W_o(s) - W_m(s)}{W_m(s)}. \quad (11)$$

Як показано у [22] робастна стійкість забезпечується при умові

$$\|\Delta_m(s)G(s)\|_{\infty} < 1. \quad (12)$$

Підставляючи (4) у (12), отримаємо

$$\sqrt{(T_o\omega^2 + 1)} > |\Delta_m(j\omega)|, \quad \forall \omega > 0. \quad (13)$$

Таким чином, задаючи величину максимального відхилення параметрів моделі $|\Delta_m|$, допустимий діапазон налаштування T_o може бути визначений з виразу (13).

Експериментальні дослідження

Для аналізу ефективності запропонованої системи керування потрібно провести експериментальне дослідження. Такі дослідження були проведені на екструдері, схема якого показана на рис.2.

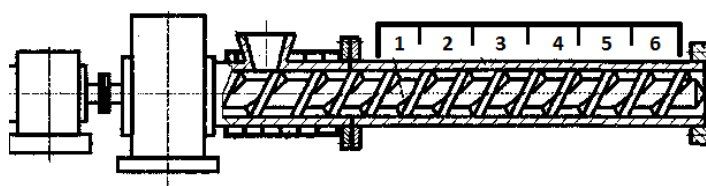


Рисунок 2 – Схема екструдера

Даний екструдер обладнаний шістьма електричними нагрівачами, кожний потужністю 1 кВт. Відповідно екструдер можна умовно поділити на шість температурних зон. Перші три зони призначені для розігріву корпусу екструдера до температур, менших 200°C, що відповідає температурам, нижчим за температуру плавлення матеріалу, що екструдуються (поліетилен). Зони 4-6 згідно технологічним вимогам повинні мати температуру 220°C, що забезпечує процеси плавлення та гомогенізації полімеру. Експериментальні дослідження системи керування проводились для останніх трьох температурних зон 4-6. Ці дослідження включали у себе два етапи. На першому етапі проводилась параметрична ідентифікації моделі (3), а також моделі першого порядку з запізнюванням (ППЗ - модель)

$$W_m(s) = k_p \frac{e^{-\Theta s}}{s} \quad (14)$$

На другому етапі досліджувались різні варіанти систем керування, які базуються на математичних моделях, що були ідентифіковані на першому етапі дослідження.

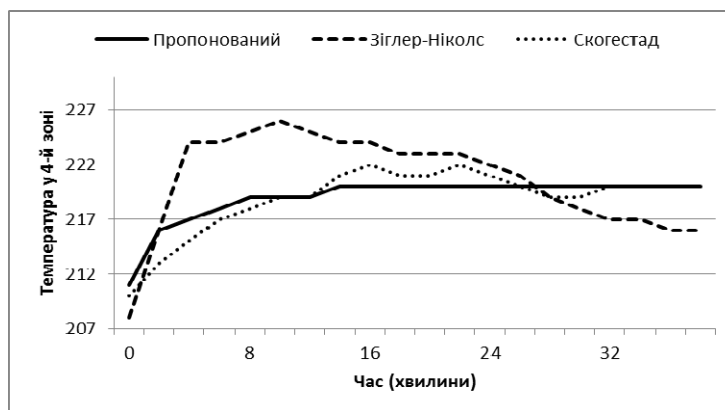
Для ідентифікації ДПЗ– та ППЗ–моделей нагрівачі 4-6 зон були ввімкнені на повну потужність, що відповідає подачі на входи об'єкта керування одиначної ступінчастої функції. Для параметричної ідентифікації ДПЗ–моделі використовувався метод інструментальних змінних [21,23,24], а для параметричної ідентифікації ППЗ–моделі- відомий метод Зіглера-Ніколса [14].

Результати ідентифікації представлені у табл.1.

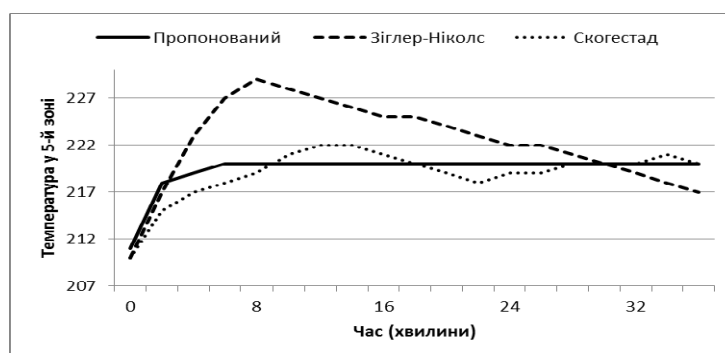
Таблиця 1 - Моделі температурних зон

№ зони	ДПЗ - Модель	ППЗ - Модель
4.	$\frac{0,2842}{s(147,16s+1)} e^{-33,23s}$	$\frac{0,1337}{s} e^{-75s}$
5.	$\frac{0,1719}{s(56,78s+1)} e^{-25,01s}$	$\frac{0,1463}{s} e^{-63s}$
6.	$\frac{0,197}{s(78,52s+1)} e^{-25,04s}$	$\frac{0,1431}{s} e^{-68s}$

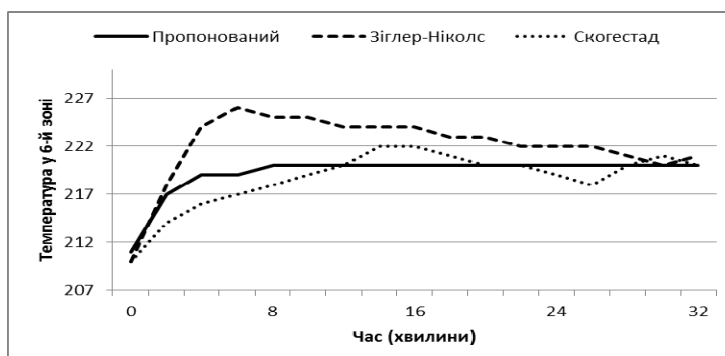
Дослідження ефективності запропонованої системи керування здійснювалось шляхом порівняння її роботи з двома іншими системами: а) системою з ПД–регулятором, побудованої на основі ППЗ-моделі з налаштуванням згідно методу Зіглера-Ніколса [14]; б) системою, запропованою Скогестадам [15], яка включає у себе внутрішню модель з ПД–регулятором. На рис.3 представлені результати дослідження, причому графіки змін температур показані тільки на завершальному етапі нагрівання екструдера, починаючи з температури 210°C. Це пояснюється двома причинами. По-перше, на початковій стадії нагрівання графіки практично співпадають, а, значить, всі системи керування, що досліджуються, працюють практично однаково. По-друге, при зображенні ділянки графіків, де останні відрізняються один від одного більш наочно видно різницю у роботі систем керування, що досліджуються.



а)



б)

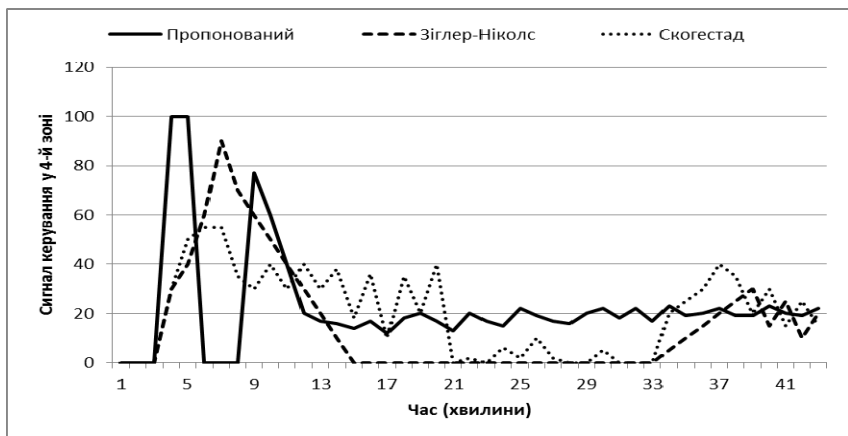


в)

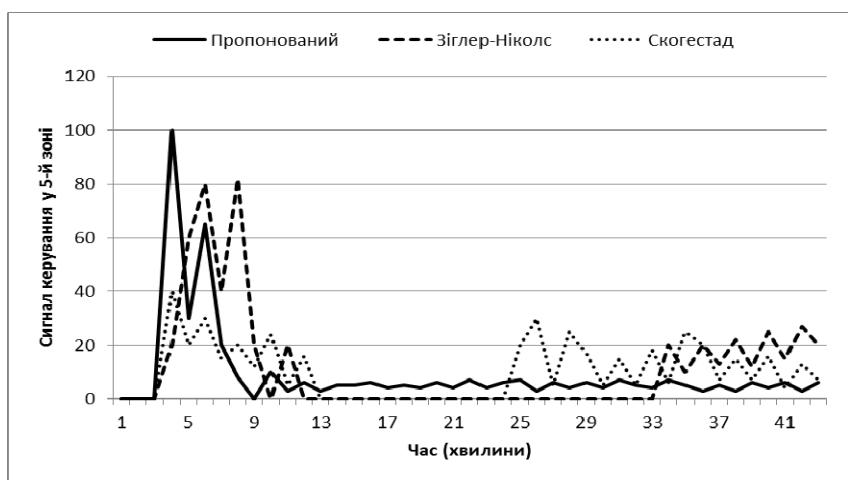
Рисунок 3 - Зміна температури по зонах (а – зона 4, б – зона 5, в – зона 6) у процесі нагрівання екструдера при застосуванні різних систем керування

З представлених результатів видно, що запропонована система дозволяє швидко досягти потрібного температурного режиму у всіх трьох зонах без будь-якого перегріву. Система керування Скогестада приблизно у 1,5 рази довше виходить на потрібний режим і має невеликий перегрів екструдера. Суттєво гірші результати дає система з ПІД-регулятором, налаштованим за методом Зіглера-Ніколса.

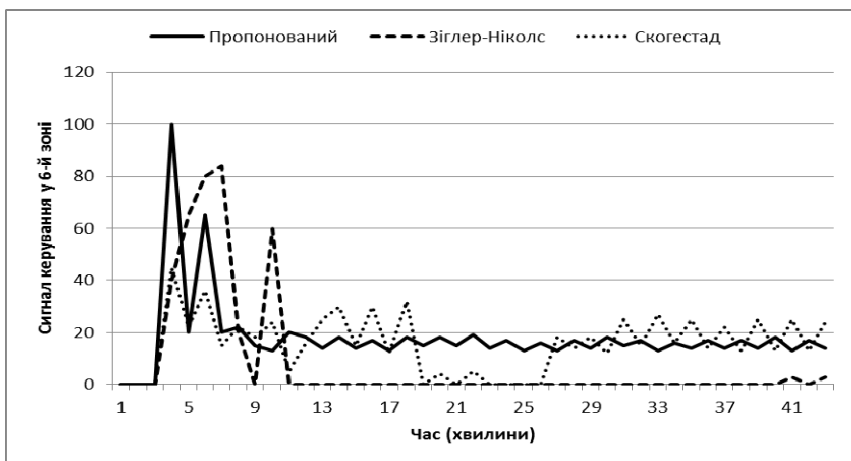
Про ефективність запропонованої системи свідчать і показані на рис.4 графіки зміни сигналів керування по зонах екструдера при застосуванні різних систем керування.



а)



б)



в)

Рисунок 4 - Зміна сигналу керування по зонах (а – зона 4, б – зона 5, в – зона 6) у процесі нагрівання екструдера при застосування різних систем керування

На графіках значення сигналу керування вказано у відсотках по відношенню до всього діапазону його зміни (0 – 100%). Як свідчать дані графіки, коливання сигналу керування найменші у системі керування, що пропонується. Найгірші результати знову-таки у системі з ПД – регулятором.

Слід зазначити, що після закінчення нагрівання і досягнення потрібного температурного режиму, сигнал керування відрізняється від нульового. Це пояснюється конвективним теплообміном між корпусом екструдера і оточуючим середовищем, що спричиняє теплові втрати, на компенсацію яких і витрачається теплова енергія, пропорційна сигналу керування.

Висновки

Представлена система керування режимом розігріву екструдера, яка базується на внутрішній моделі процесу. Математична модель являє собою інтегральну ланку другого порядку з запізнюванням.

Наведений метод налаштування системи керування, який забезпечує робастну стійкість даної системи по відношенню до неточностей параметрів математичної моделі.

Проведено дослідження ефективності запропонованої системи керування шляхом порівняння якостей роботи даної системи по відношенню до деяких відомих аналогічних систем. Результати дослідження підтвердили високу ефективність системи, що пропонується.

При дослідженні даної системи керування параметри її налаштування для всіх трьох температурних зон був заданий. У подальших дослідженнях треба визначити міру впливу значень цього параметру на якість роботи системи керування в цілому і на підставі цього розробити рекомендації щодо визначення оптимальних налаштувань.

Список літератури

1. K.Yao and F. Gao, "Optimal start-up control of injection molding barrel temperature". - Polym.Eng.Pract., №10, no. 10, - 2002, pp. 1153-1161.
2. C.H. Lu and C.C. Tsai, "Adaptive decoupling predictive temperature control for an extrusion barrel in a plastic injection molding process". - IEEE Trans. Ind. Electron., №. 48, no. 5, - 2001, pp. 968-975.
3. T.L Chia, "Model predictive control helps to regulate slow processes-robust barrel temperature control". - ISA Trans., № 41, no. 4, - 2002, pp. 501-509.
4. S.N. Huang, K.K. Tan, and T.H. Lee, "Adaptive GPC control of melt temperature in injection moulding". - ISA Trans., №38, no. 4, - 1999, pp. 361-373.
5. U.C. Moon, "A practical multiloop controller design for temperature control of a TV glass furnace". - IEEE Trans. Control Syst.Technol., №15, no. 6, - 2007, pp. 1137-1142.
6. D.B. Kaymak and W.L. Luyben, "Comparison of two types of two-temperature control structure for reactive distillation columns". - Ind.Eng.Chem.Res., №44, no. 13, - 2005, pp. 4625-4640.
7. E.A. Wolff and S. Skogestad, "Temperature cascade control of distillation columns" - Ind.Eng.Chem.Res., №35, no. 2, pp. - 1996, 475-484.
8. C. Diduch, R.Dubay, and W.G. Li, "Temperature control of injection molding. Part 1: Modeling and identification". - Polym.Eng. Sci., № 44, no. 12, - 2004, pp. 2308-2317.
9. R. Dubay, C. Diduch, and W.G. Li, "Temperature control of injection molding. Part 2: Controller design, simulation, and implementation". - Polym.Eng. Sci., №44, no. 12, - 2004 pp. 2318-2326.
10. E. Dassau, B. Grosman, and D.R. Lewin, "Modeling and temperature control of rapid thermal processing". - Comput. Chem. Eng., №30, no. 4, - 2006, pp. 686-697.
11. P. Valigi, M.L. Fravolini, A. Ficola, "Improved temperature control of a batch reactor with actuation constraints". - Control Eng. Pract., №14, no. 7, - 2006, pp. 783-797.
12. M. Shahrokhi, A. Nejati, "Optimal temperature control of a propane thermal cracking reactor". - Ind. Eng. Chem. Res., №41, no. 25, - 2002, pp. 6572-6578.
13. E. Grassi, K. Tsakalin, "PID controller tuning by frequency loop-shaping: Application to diffusion furnace temperature control". - IEEE Trans. Control Syst. Technol., №8, no.5, - 2000, pp. 842-847.
14. K. J. Astrom, T. Haggglund. PID controllers. - 2nd ed. Research Triangle Park, NC: ISA Soc. Amer., - 1995.
15. S. Skogestad. Simple analytical rules for model reduction and PID controller tuning. - Process control, №13, no. 4, - 2003, pp. 291-309.
16. Wayne Bequette. Process Control: Modeling, Design, and Simulation. - Prentice Hall, - 2002, 800 p.
17. Daniel E. Rivera, Internal Model Control: A Comprehensive View. - Arizona State University, Tempe, Arizona, - 1999.

18. Дорф Р., Бишоп Р. Современные системы управления Пер. с англ. Б. И. Копылова. – М.: Лаборатория базовых знаний, 2002. – 832 с.
19. Ротач В.Я. Теория автоматического управления. Теория автоматического управления: учебник для вузов / В. Я. Ротач. — 5-е изд., перераб. и доп. — М.: Издательский дом МЭИ, 2008. — 396 с., ил.
20. Анхимюк В.Л., Опейко О.Ф., Михеев Н.Н. Теория автоматического управления. М., изд. Дизайн ПРО, - 2000.
21. Жученко О.А. Нечітка система керування режимом пуску процесу екструзії полімерів. // Інтегровані технології та енергозбереження №1,- 2013. с. 96-100
22. K.M. Zhou, J.C. Doyle, and K. Glover. Robust and optimal control. – Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, - 1989.
23. T. Soderstrom, P. Stoica. System identification. – New York: Prentice-Hall, - 1989.
24. L. Ljung. System Identification: Theory for the user, 2nd ed. – Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, - 1989.

Ludmila Jaroshuk, Aleksey Zhuchenko

National technical university of Ukraine “Kyiv Polytechnic institute”

Control system of heating mode polymer extrusion process

The control scheme based on internal model control (IMC) structure has been proposed for heating-up, which is capable of no overheating (i.e., temperature overshoot) for heating-up. Analytical controller-design formulas and quantitative tuning guidelines have been given for implementation of the desirable heating-up response together with robust tuning constraints to accommodate for process uncertainties.

For temperature-control design an identification method based on the step response has been used for obtaining the heating-up model. The proposed control system was compared to the well-known Ziegler-Nichols PID tuning method based on the integrating first-order-plus-dead-time model and Skogestad IMC-based PID tuning method, using the proposed integrating second-order-plus-dead-time model.

This comparison has well demonstrated the effectiveness of the developed identification method and control scheme for the application to the barrel-temperature control of polymers extrusion process.

extruder, polymer, heating-up, control system

Одержано 25.04.13

УДК 62-565: 62-585.18

Dr. inż. Zbigniew Kiernicki, Paweł Semczuk, Andrzej Nowak

Государственное высшее профессиональное училище в Замостье, Польша

Измерительные приспособления для определения момента инерции двигателя сельскохозяйственных тракторов

В статье представлены устройства, предназначенные для проверки момента инерции двигателя при тройном ускорении с помощью дополнительного веса. Методология измерения предполагает, что для данной скорости и теплового состояния двигателя момент, который развивается, сравнительно эффективный. Полученная масса момента инерции рассматривается как достаточная для эффективного вращения коленчатого вала.

массовый момент инерции, сельскохозяйственный трактор, дизельный двигатель, ускорение

З. Керницькі, П. Семчук, А. Новак

Державне вище професійне училище в Замості, Польща

Вимірювальні прилади для визначення моменту інерції двигуна сільськогосподарських тракторів