

Представлена адаптивна система керування температурним режимом екструдера у режимі нормальної експлуатації. Дано обґрунтування необхідності якісного керування температурним режимом, для чого запропоновано використовувати принцип адаптації. Наведено результати дослідження адаптивної системи керування з різними методами ідентифікації параметрів моделі та різними структурами адаптивного регулятора. На підставі проведених досліджень запропоновано найбільш ефективну структуру адаптивної системи керування

Ключові слова: екструдер, система керування, адаптація, регулятор, ідентифікація моделі, температурний режим, полімер

Представлена адаптивная система управления температурным режимом экструдера в режиме нормальной эксплуатации. Дано обоснование необходимости качественного управления температурным режимом, для чего предложено использовать принцип адаптации. Приведены результаты исследования адаптивной системы управления с различными методами идентификации параметров модели и различными структурами адаптивного регулятора. На основании проведенных исследований предложена наиболее эффективная структура адаптивной системы управления

Ключевые слова: экструдер, система управления, адаптация, регулятор, идентификация модели, температурный режим, полимер

АДАПТИВНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНИМ РЕЖИМОМ ПРОЦЕСУ ЕКСТРУЗІЇ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ

О. А. Жученко

Кандидат технічних наук, доцент
Кафедра автоматизації хімічних виробництв
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут»
пр. Перемоги, 37, м. Київ,
Україна, 03056
E-mail: azhuch@ukr.net

1. Вступ

Екструдери є одним із найпоширеніших видів устаткування, що використовується в галузях виробництва і переробки полімерів та композиційних матеріалів на їх основі. Екструдери з успіхом використовують як для переробки полімерів, так і для переробки гуми, продуктів сільськогосподарства, виробництва будівельних матеріалів і в багатьох інших галузях.

Із літератури відомо [1], що ефективність роботи екструдера визначається в основному його температурним режимом. Найбільше наукових досліджень з питань моделювання та керування екструдерів присвячено саме температурним режимам [2, 3]. Всі без винятку дослідники підкреслюють важливість температурного режиму для забезпечення потрібної якості полімерних виробів.

Таким чином, для виробництва високоякісної продукції потрібно створити ефективну систему керування тепловим режимом цього процесу.

2. Аналіз літературних даних та постановка задачі

Під час процесу екструзії в апараті відбувається інтенсивна деформація матеріалу та зростання тиску. Також відбуваються процеси: нагрівання матеріалу за рахунок енергії дисипації та енергії, що підводиться

від системи нагрівання циліндра; ініційовані зростаючою температурою та тиском хімічні, фазові та інші перетворення; змішування компонентів. Все це свідчить про складність математичного опису процесу екструзії.

У роботі [4] пропонується нечітка система керування на базі регулятора Такагі-Сугено, але не проведено аналіз можливості застосування адаптивних підходів. У роботах [5, 6] використовуються підходи на базі прогнозування поведінки об'єкта та генетичні алгоритми, які не в повній мірі можуть врахувати поведінку об'єкта при зміні сировини. Робота екструдера визначається не тільки характеристиками технологічного обладнання, а й властивостями сировини.

До властивостей сировини, які впливають на процес екструзії, відносять [2, 3, 7] сипучість гранульованих або порошкоподібних матеріалів, текучість розплаву та його теплофізичні властивості.

Найбільш важливими властивостями сипучих матеріалів є насипна щільність, розмір та форма частинок, їх здатність до пакування та агломерації, зовнішній та внутрішній коефіцієнти тертя. До найбільш важливих властивостей розплаву відносять в'язкість при зсувній течії та розтягуванні у залежності від швидкості деформації та температури. Основними термічними властивостями матеріалу є питома теплоємність, температура початку плавлення кристалічної фази, теплопровідність, густина та інші.

Фактично всі названі вище властивості полімерних матеріалів є змінними величинами. Наприклад, насипна щільність матеріалу може змінюватись не тільки від партії до партії, а й при поставках тієї ж самої партії [7]. Зміни властивостей розплаву полімеру зв'язані з тепловим режимом роботи екструдера, який теж не є гарантовано стабільним.

Така різноманітність процесів обумовлює нестационарні та нелінійні властивості екструдера як об'єкта керування [8–10], а також некеровану зміну режимів його роботи, що можна класифікувати як неконтрольовані випадкові збурення [11, 12]. Система керування, що створюється, повинна також враховувати те, що зміна режиму нагрівання хоча б однієї з зон викликає зміни температур інших зон, що фактично неможливо врахувати за допомогою одноконтурних систем керування окремих температурних зон, які реалізуються на базі релейних або ПІД-регуляторів [7, 9, 10].

Принцип адаптації застосовують у тих випадках, коли складність керованого процесу (нестационарного об'єкта) досягає такого рівня, при якому вплив неповноти апріорної інформації про умови роботи системи стає істотним і неможливо забезпечити задану якість процесів керування без пристосування системи до змінних непередбачуваним чином умов функціонування [13, 14]. Саме тому використання принципу адаптації у системі керування тепловим режимом екструдера дозволить підвищити ефективність останньої.

Метою даної роботи є створення адаптивної системи керування температурним режимом процесу екструзії полімерних матеріалів у режимі нормальної експлуатації, яка забезпечить високу ефективність керування шляхом чіткого дотримання регламенту температурного профілю, що, у свою чергу, має забезпечити підвищення якості готової продукції.

3. Синтез адаптивного регулятора

Загальна структурна схема адаптивної системи керування добре відома [15] і для теплового режиму процесу екструзії [16] показана на рис. 1.

Входами даної системи є керувальні змінні – потужності нагрівачів (або охолоджувачів), виходами – температури по зонах екструдера. Як математична модель, параметри якої мають бути оцінені в процесі керування, використовується модель авторегресійно-ковзного середнього (АРКС-модель) [17], що рекомендується і в інших дослідженнях систем керування процесу екструзії [4, 8, 18]. АРКС-модель має вигляд:

$$A(d)y(k) = B(d)u(k), \tag{1}$$

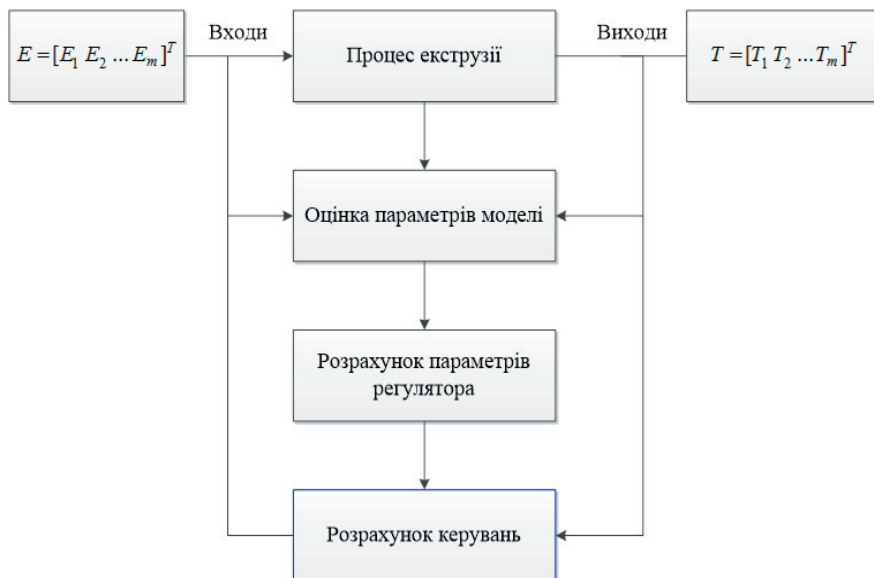


Рис. 1. Структурна схема адаптивної системи керування тепловим режимом процесу екструзії полімерів

де $u(k), y(k)$ – m -вимірні вектори відповідно керувань та виходів (температур) в момент часу k ,

$A(d), B(d)$ – поліноміальні матриці вимірністю $m \times m$.

$$A(d) = I + A_1d + A_2d^2 + \dots + A_{na}d^{na},$$

$$B(d) = B_0 + B_1d + \dots + B_{nd}d^{nd},$$

d – оператор зсуву назад;
 $k = 0, 1, 2, \dots$ – дискретний час.

При використанні рекурентних методів оцінювання АРКС-модель (1) записується у вигляді

$$y(k) = \Theta^T \phi(k-1); k \geq 0,$$

де $\phi(k-1) = [-y^T(k-1), -y^T(k-2), \dots, -y^T(k-n_a), u^T(k-1),$

$u^T(k-2), \dots, u^T(k-n_b)]^T$, – вектор даних (вектор регресу),

а $\Theta^T = [A_1, A_2, \dots, A_{na}, B_0, B_1, \dots, B_{nb}]$ – матриця параметрів.

Для оцінювання параметрів математичної моделі (1) треба вибрати метод, що у найбільшій мірі відповідає властивостям даного об'єкта керування. В адаптивних системах керування найчастіше використовується рекурентний метод найменших квадратів та його модифікації [15, 19]. У зв'язку з цим у подальшому будуть досліджені наступні алгоритми оцінювання [13]:

- алгоритм А

$$\Theta(k) = \Theta(k-1) + \frac{P(k-1)\phi(k-1)\varepsilon^T(k)}{1 + \phi^T(k-1)P(k-1)\phi(k-1)},$$

$$\varepsilon(k) = y^T(k) - \phi^T(k-1)\Theta(k-1),$$

$$P(k) = P(k-1) + \frac{P(k-1)\phi(k-1)\phi^T(k-1)P(k-1)}{1 + \phi^T(k-1)P(k-1)\phi(k-1)},$$

при початкових заданих матрицях $\Theta(0)$ та $P(0) > 0$,

- алгоритм Б повторює попередній з розрахунком матриці $P(k)$ за формулою $P(k) = Q(k)Q^T(k)$, де матриця $Q(k)$ обчислюється, як наведено у [20].
- алгоритм В

$$\Theta(k) = \Theta(k-1) + \frac{\gamma \phi(k-1) \varepsilon^T(k)}{1 + \phi^T(k-1) \phi(k-1)},$$

$$\varepsilon(k) = y(k) - \Theta^T(k-1) \phi(k-1).$$

Параметр γ рекомендується вибирати з діапазону $0 < \gamma < 2$.

Процес адаптації здійснюється у відповідності до критерію

$$J = 1/2 (\|y(k) - y^{зад}(k)\|_Q^2 + \|W(d)u(k)\|^2),$$

де Q (позитивно визначена) та $W(d) = W_0 + W_1d + \dots + W_{nw}d^{nw}$ – вагові матриці, $y^{зад}(k)$ – завдання по температурах.

Продиференціювавши цей вираз по $u(k)$ з врахуванням (1), отримаємо такий результат:

$$\begin{aligned} \partial J / \partial u(k) &= B_0^T Q [A y(k) + \\ &+ B u(k) - y^{зад}(k)] + W_0^T W(d) u(k). \end{aligned}$$

Прирівнюючи це рівняння до нуля, маємо:

$$\begin{aligned} [B_0^T Q B(d) + W_0^T W(d)] u(k) &= \\ = -B_0^T Q A(d) y(k) + B_0^T Q y^{зад}(k). \end{aligned} \quad (2)$$

З останнього рівняння можна визначити закон керування (матриця $B_0^T Q B_0 + W_0^T W_0$ не є сингулярною, тому що всі її складові - несингулярні матриці).

Результати дослідження наведених вище методів ідентифікації параметрів моделі представлені у роботі [21]. Вони свідчать про високу ефективність алгоритму В.

Хоча і у даному випадку спостерігаються незначні коливання температури і сигналу керування у 1-й зоні (рис. 2).

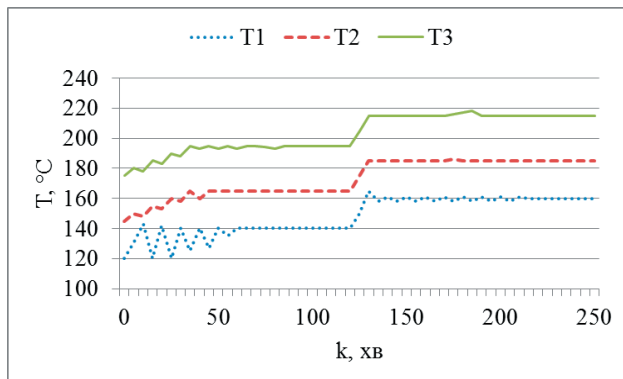


Рис. 2. Зміна температур по зонах екструдера при використанні алгоритму В, де T1 – температура у 1-й зоні екструдера, °C, T2 – температура у 2-й зоні екструдера, °C, T3 – температура у 3-й зоні екструдера, °C

Проведемо дослідження структури адаптивного регулятора.

4. Дослідження структури регулятора

У відповідності до рівнянь (1) та (2) структура регулятора залежить від матриць параметрів моделі $A(d)$ та $B(d)$, а також від матриць налаштування $W(d)$ та Q . У подальших дослідженнях розглядалися такі структури матриць $A(d)$ та $B(d)$:

- структура А: $A(d) = A_0 + A_1d, B = B_0$,
- структура Б: $A(d) = A + A_0 + A_1d, B = B_0 + B_1d$.

Матриця $Q = I$, а матриця $W(d)$ розглядалася у двох варіантах:

- фільтр А: $W(d) = I$,
- фільтр Б: $W(d) = 0,2(1-d)I$.

В адаптивних системах керування, результати дослідження яких представлені у [21] та на рис. 2, був використаний регулятор зі структурою Б та фільтром Б.

На рис. 3 та рис. 4 наведені результати моделювання систем керування з адаптивним регулятором зі структурою А та фільтром Б. У першому випадку використовується алгоритм Б ідентифікації параметрів моделі, а в другому – алгоритм В.

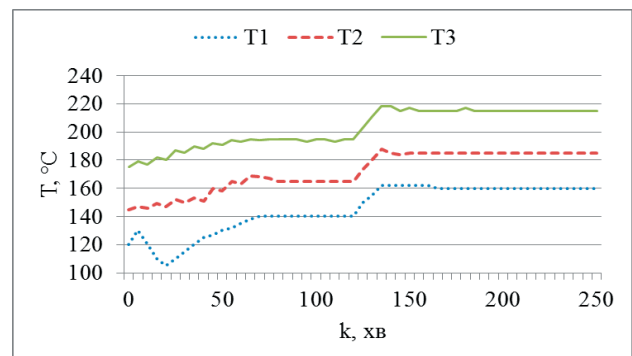


Рис. 3. Зміна температур по зонах при використанні алгоритму Б (регулятор: структура А, фільтр Б), де T1 – температура у 1-й зоні екструдера, °C, T2 – температура у 2-й зоні екструдера, °C, T3 – температура у 3-й зоні екструдера, °C

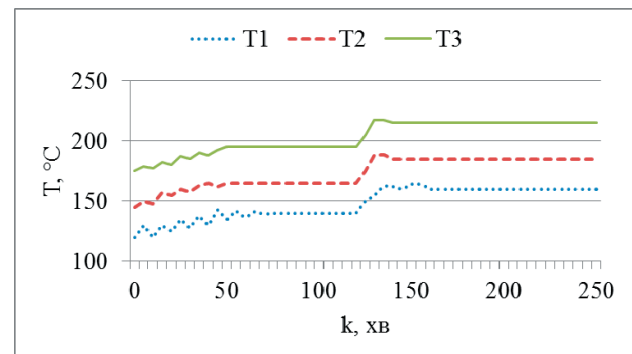


Рис. 4. Зміна температур по зонах при використанні алгоритму В (регулятор: структура А, фільтр Б), де T1 – температура у 1-й зоні екструдера, °C, T2 – температура у 2-й зоні екструдера, °C, T3 – температура у 3-й зоні екструдера, °C

Порівняння рис. 2 та рис. 4 свідчить про те, що при використанні алгоритму В ідентифікації параметрів моделі практично не має значення яка структура А чи Б адаптивного регулятора застосовується.

У той же час при використанні алгоритму Б система з регулятором структури А дає набагато гірші результати (рис. 3).

Вплив матриці $W(d)$ на роботу системи керування ілюструється рис. 5, 6.

З представлених графіків видно, що алгоритм В ідентифікації параметрів моделі успішно працює з обома видами фільтрів. Однак у разі використання алгоритму Б кращі результати дає фільтр Б.

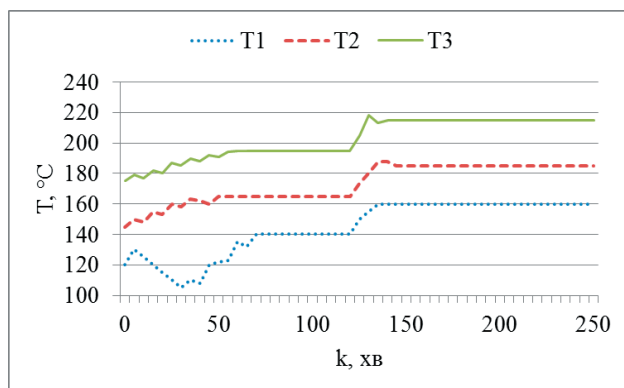


Рис. 5. Зміна температур по зонах при використанні алгоритму Б (регулятор: структура Б, фільтр А), де T1 – температура у 1-й зоні екструдера, °C, T2 – температура у 2-й зоні екструдера, °C, T3 – температура у 3-й зоні екструдера, °C

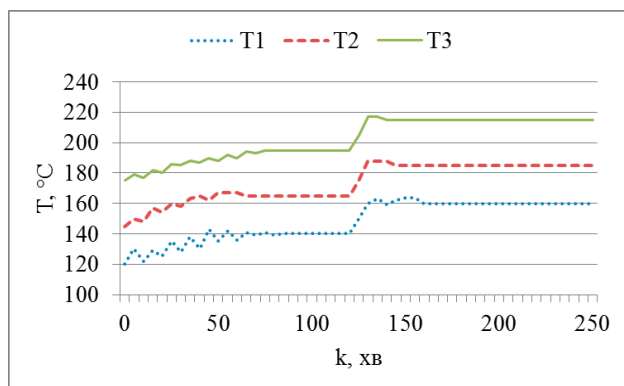


Рис. 6. Зміна температур по зонах при використанні алгоритму В (регулятор: структура Б, фільтр А), де T1 – температура у 1-й зоні екструдера, °C, T2 – температура у 2-й зоні екструдера, °C, T3 – температура у 3-й зоні екструдера, °C

Узагальнюючи результати проведених досліджень, можна констатувати, що для даного об'єкту керування найкращі результати дає адаптивна система структури Б з фільтром Б, яка використовує алгоритм В ідентифікації параметрів математичної моделі.

5. Висновки

У роботі запропонована нова адаптивна система керування температурним режимом процесу екструзії полімерних матеріалів у режимі нормальної експлуатації. Адаптивна система керування побудована на основі моделі авторегресії-ковзного середнього та використовує рекурентний метод найменших квадратів та його модифікації для оцінки параметрів моделі. Проведено дослідження різних структур адаптивного регулятора та запропоновано структуру, яка найкращим чином забезпечує підтримання технологічно регламентованих показників температурного профілю.

У подальшому доцільно провести дослідження ефективності запропонованої системи керування в умовах дії збурень різної природи.

Література

1. Ким, В. С. Теория и практика экструзии полимеров [Текст] / В. С. Ким. – КОЛОСС, 2005. – 568 с.
2. Раувендаль, К. Экструзия полимеров [Текст] / К. Раувендаль. – СПб.: Профессия, 2006. – 768 с.
3. Tadmor, Z. Principles of Polymer Processing [Text] / Z. Tadmor, C. G. Gogos. – Wiley Interscience, 2006. – 961 p.
4. Wang, Y.- T. Modelling and Control for a Thermal Barrel in Plastic Molding Process [Text] / Y.-T. Wang, S.-L. Wu // Tamkang Journal of Science and Engineering. – 2006. – Vol. 9, № 2. – P. 129–140.
5. Dubay, R. Temperature control of injection molding. Part 2: Controller design, simulation, and implementation [Text] / R. Dubay, C. Diduch, W.G. Li // Polym.Eng. Sci. – 2004. – № 44, no. 12. – P. 2318–2326.
6. Dassau, E. Modeling and temperature control of rapid thermal processing [Text] / E. Dassau, B. Grosman, D. R. Lewin // Comput. Chem. Eng. – 2006. – № 30, no. 4. – P. 686–697.
7. Раувендаль, К. Выявление и устранение проблем в экструзии [Текст] / К. Раувендаль, М. П. Норега, Х. Харрис. – СПб.: Профессия, 2008. – 328 с.
8. Tsai, C.-C. Fuzzy supervisory predictive PID control of a plastics extruder barrel [Text] / Ching-Chih Tsai, Chi-Huang Lu // Journal of the Chinese Institute of Engineers. – 1998. – № 21. – P. 619–624.
9. Ravi, S. Design of Intelligent Self-Tuning GA ANFIS Temperature Controller for Plastic Extrusion System [Text] / S.Ravi, M.Sudha, P.Balakrishnan // Hindawi Publishing Corporation Modelling and Simulation in Engineering Volume. – 2011. – № 12. – P. 611–624.
10. Abeykoon, C. Extruder Melt Temperature Control With Fuzzy Logic [Text] / C. Abeykoon, K. Li, M. McAfee, P. J. Martin, G. W. Irwin // Preprints of the 18th IFAC World Congress Milano (Italy), 2011. – P. 8577–8582.
11. Yusuf, I. Temperature Control for Plastic Extruder Used Fuzzy Genetic Algorithms [Text] / I. Yusuf, N. Iksan, N.A. Suryana Herman // Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer scientists. – 2010. – №2.

12. Хобин, В. А. Управление процессом экструдирования растительного сырья в условиях ограниченности ресурсов и неопределенностей [Текст] : сб. докл. II Всеукр. науч.-практ. конф./ В. А. Хобин, В. Б. Егоров // Информационные технологии и автоматизация – 2009. – Одесса: ОНАПТ, 2009. – С. 30–31.
13. Эйкхофф, П. Основы идентификации систем управления [Текст] : учебник / П. Эйкхофф. – М.: Мир, 1975. – 683 с.
14. Антонов, В. Н. Адаптивное управление в технических системах [Текст] / В. Н. Антонов, В. А. Терехов, И. Ю. Тюкин. – СПб.: изд-во С.-Петербургского университета, 2001. – 244 с.
15. Методы робастного, нейро – нечеткого и адаптивного управления [Текст] / Под ред. Н. Д. Егупова. – М.: Изд-во МТТУ им. Н. Э.Баумана, 2002. – 744 с.
16. Жученко, О. А. Адаптивне керування процесом екструзії пластичних мас [Текст] / О. А. Жученко, Л. Д. Ярошук // Контроль і управління в складних системах (КУСС-2008): доповіді IX Міжнародної конференції, 21-24 жовтня 2008р, Секц.4, Вінниця, ВПІ, 2008. – 15 с.
17. Острем, К. Системы управления с ЭВМ [Текст] : учебник / К. Острем, Б. Виттенмарк. – М.: Мир, 1987. – 480 с.
18. Lu, Q. Model and strategies for computer control of a twin-extruder [Text] / Q. Lu, S. J. Mulvaney, F. Hsieh, H. E. Huff. – Food Control, 4,1993. – P. 25–33.
19. Александровский, Н. М. Адаптивные системы автоматического управления сложными технологическими процессами [Текст] : учебник / Н. М. Александровский, С. В. Егоров, Р. Е. Кузин. – М.: Энергия, 1979. – 272 с.
20. Soderstrom, T. A theoretical analysis of recursive identification methods [Text] / T. Soderstrom, L. Ljung, I. Gustavsson // Automatica. – 1978. – Vol.14, № 3. – P. 231–244.
21. Жученко, О. А. Дослідження алгоритмів ідентифікації параметрів моделі в адаптивній системі керування екструдером [Текст] / О. А. Жученко, П. І. Бідюк // Адаптивні системи автоматичного управління // Міжвідомчий науково-технічний збірник. – 2010. – Вип. 16 (36). – С. 147–154.