

НЕЧІТКА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ РЕЖИМОМ ПУСКУ ПРОЦЕСУ ЕКСТРУЗІЇ ПОЛІМЕРІВ

Вступ. Сьогодні не потрібно доводити доцільність існування полімерної продукції. Немає жодної сфери діяльності людини, де б ця продукція не використовувалась. Одним із основних технологічних процесів виробництва полімерної продукції є екструзія. Повний цикл екструзії полімерів можна чітко розділити на 4 стадії:

1. Підготовка – розігрів екструдера (апарата, у якому проводиться процес екструзії) до заданого теплового режиму;
2. Пуск – перехід від стану, коли продукція не виробляється, до стану виробництва продукції із заданими якісними і кількісними характеристиками;
3. Режим нормальної експлуатації;
4. Зупинка процесу.

Підвищення загальної ефективності процесу екструзії полімерів пов'язане з забезпеченням ефективної роботи екструдерів на кожній із названих вище стадій. У даній роботі розглядається питання ефективності роботи однієї з них – пуску процесу екструзії.

Незважаючи на наявність фундаментальних досліджень процесу екструзії (достатньо послатися на літературу [1–6]), режиму пуску екструдерів фактично не приділялося серйозної уваги. Хоча цей режим є режимом непродуктивної витрати сировини та енергоресурсів, і значить, безпосередньо негативно впливає на показники ресурсо- та енергоефективності виробництва.

До теперішнього часу проведення пуску процесу екструзії залишається «мистецтвом оператора» [7] який, базуючись на власному досвіді та розумінні процесу, виконує функції багатовимірної системи керування. Тому підвищення ефективності пуску процесу екструзії пов'язано із створенням відповідної автоматичної системи керування.

Постановка задачі. Задача керування пуском процесу екструзії може бути сформульована наступним чином: досягти заданого технологічного режиму нормальної експлуатації найшвидшим чином. Завдяки цьому будуть збережені сировина, енергоресурси, а також виробничий час.

Поставлена задача є достатньо складною, тому що процес екструзії є багатопараметричним, причому саме на стадії пуску його параметри змінюються найбільш інтенсивно. Кількість параметрів, які потребують врахування їх змін у процесі пуску фактично перевищують кількість параметрів, які контролюються у режимі нормальної експлуатації екструдерів (у певному розумінні режим нормальної експлуатації можна розглядати як частковий випадок режиму пуску). Технологічні ситуації, які мають місце під час пуску, фактично не повторюються, що не дозволяє створити програмну систему керування [8]. Фактично неможливо побудувати і математичну модель цього процесу [8].

У зв'язку з цим вбачається доцільним застосування нечітких систем керування, які будуються на знаннях експертів [9–11]. Ця ідея знайшла своє відображення у декількох попередніх дослідженнях, проведених для процесу екструзії харчових продуктів.

У роботі [12] показана можливість використання нечіткої системи для пуску двочерв'ячного екструдера. Для запобігання блокування роботи екструдера під час пуску автори запропонували алгоритм, який базується на обернено – пропорційній залежності між швидкістю обертання шнеку і моментом на валу його приводу. Ця ж ідея використана і у роботах [13,14]. Їх автори пропонують змінювати швидкість обертання шнека певним чином для запобігання перевищення максимального допустимого моменту на валу приводу.

Фактично такий самий алгоритм застосований і у праці [12] за винятком того, що замість детермінованої зміни обертів шнека використовується нечітка логіка.

Згадані вище праці підтверджують доцільність і можливість застосування нечітких систем керування режимом пуску процесу екструзії.

У зв'язку з цим задачею даного дослідження є розробка нечіткої системи керування режимом пуску процесу екструзії у виробництві полімерних матеріалів, а також дослідження ефективності такої системи.

Структура нечіткої системи керування. Як згадувалось вище, задачею режиму пуску процесу екструзії є досягнення заданого технологічного режиму (режиму нормальної експлуатації) у найкоротший термін. Для екструзії полімерів це означає, що включається привід шнеку і швидкість обертання останнього збільшується у процесі пуску з початкового значення n_0 до заданого максимального N . При цьому

потрібно запобігти блокуванню шнеку, що може відбутись при занадто стрімкому нарощуванні швидкості його обертання.

Структурна схема нечіткої системи керування режимом пуску процесу екструзії полімерів показана на рис. 1.

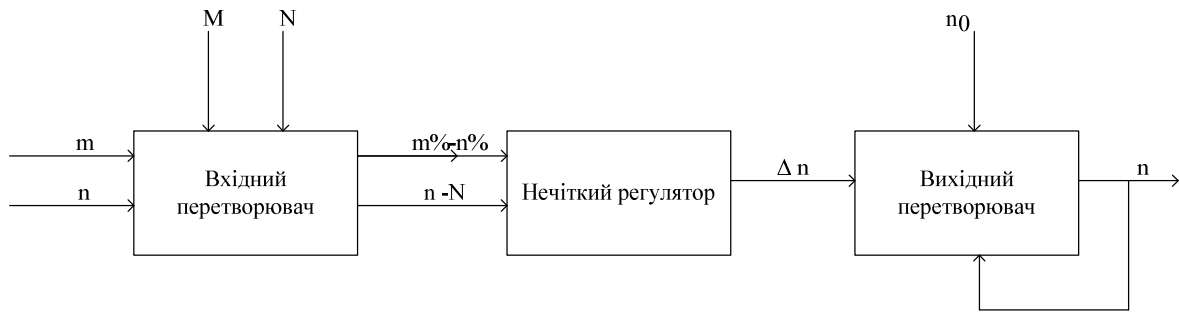


Рисунок 1 – Структурна схема нечіткої системи керування режимом пуску процесу екструзії полімерів

У даній системі для запобігання блокуванню шнеку використана обернено – пропорційна залежність між швидкістю його обертання n і моментом на його валу m . На вхід системи керування подаються поточні значення моменту m та швидкості обертання n . Вхідний перетворювач розраховує відносні значення $m\%$ і $n\%$, що являють собою відношення поточних значень m і n до відповідних максимальних M і N , які задаються технологом. Крім того, вхідний перетворювач розраховує різницю $n-N$ між поточною швидкістю обертання шнеку і її потрібним максимальним значенням. Величини $m\%-n\%$ та $n-N$ є вхідними для нечіткого регулятора. У даному дослідженні використаний нечіткий регулятор Такагі–Сугено [9,11,15–17], виходом якого є величина Δn , на яку потрібно змінити швидкість обертання шнеку n , тобто:

$$n(k)=n(k-1)+\Delta n(k),$$

де k – дискретний час.

Процес керування режимом пуску закінчується при досягненні заданої швидкості обертання шнеку N . При цьому потрібно пересвідчитися, що тиск p у головці екструдера дорівнює заданому значенню P . Якщо $p-P \neq 0$, то потрібно відповідним чином змінити N і тоді знову включається у роботу система керування режимом пуску.

Синтез нечіткого регулятора. Структурна схема нечіткого регулятора режиму пуску процесу екструзії полімерів зображена на рис. 2.

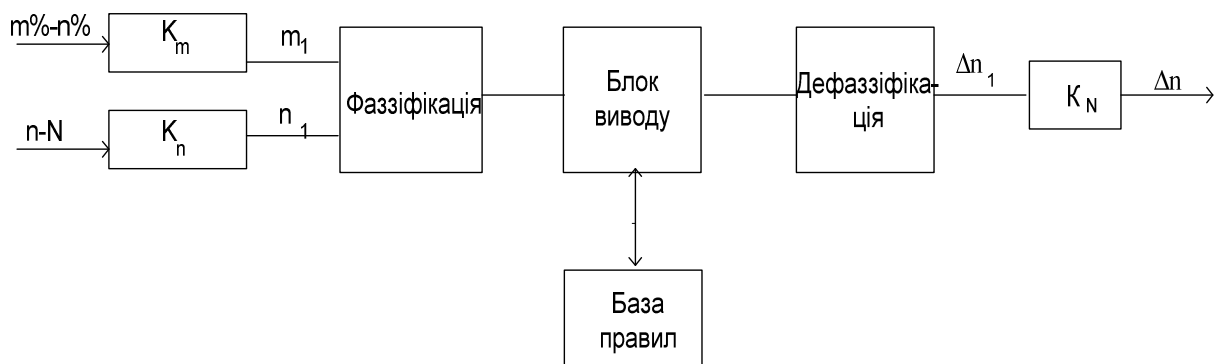


Рисунок 2 – Структурна схема нечіткого регулятора режиму пуску процесу полімерної екструзії

Вхідні змінні $m\%-n\%$ та $n-N$ за допомогою масштабних перетворювачів (відповідно K_m та K_n) набувають стандартного діапазону $[-1;1]$ у змінних m_1 та n_1 які, у свою чергу, у блоці фаззифікації перетворюються у лінгвістичні змінні. Функції належності останніх зображені на рис. 3. і мають наступні значення:

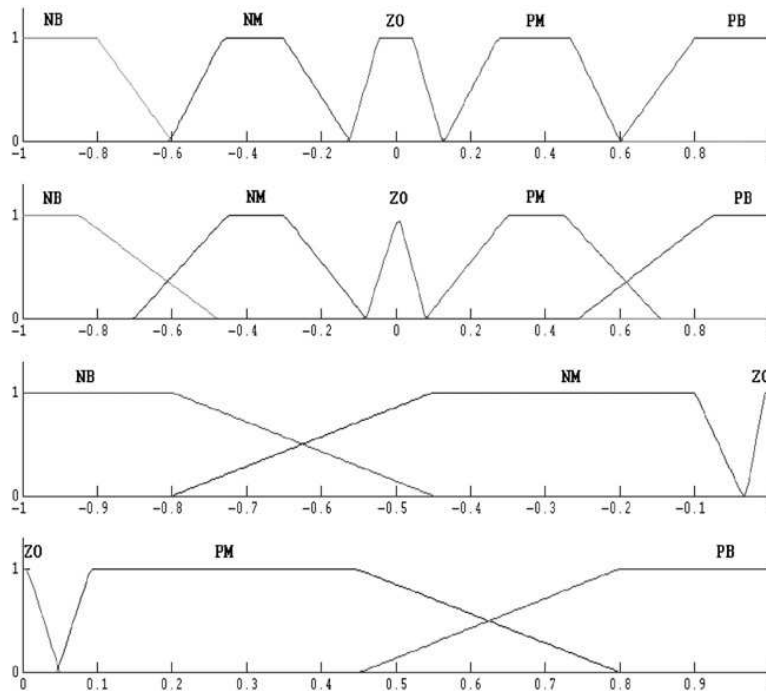


Рисунок 3 – Функції належності лінгвістичних змінних

NB: від’ємне велике; NM: від’ємне середнє; NS: від’ємне мале; ZO: нульове; PS: додатне мале; PM: додатне середнє; PB: додатне велике. Як відомо [15–17] існує багато видів функцій належності, але у даному дослідженні використовуються функції належності трикутної та трапеційдальної форми завдяки їх простоті. У проектуванні системи та використанні функцій належності у даному дослідженні отримані за алгоритмом, наведеним у [17]. База правил містить нечіткі правила наступного виду:

$$(R_i) \text{ якщо } m_1 \in A_{1i} \text{ та } n_1 \in A_{2i}, \text{ то } \Delta n_{1i} = B_i,$$

де R_i ($i=1,2,\dots,L$) – i – те нечітке правило; L – кількість правил у базі; A_{1i} та A_{2i} – терми лінгвістичних змінних; Δn_{1i} – вихідна змінна; B_i – її чисельне значення. Значення вихідної змінної згідно методу Такаґі – Сугено розраховується як зважене середнє.

Вхідні та вихідні змінні нечіткого регулятора мають різну фізичну природу і перетворюються за допомогою масштабних коефіцієнтів K_m, K_n до K_N до стандартних величин, які змінюються у діапазоні $[-1,1]$, у якому і визначаються всі функції належності. Вибір масштабних коефіцієнтів впливає на чутливість системи керування по відношенню до відповідної змінної.

У даному дослідженні розглядалися тільки дві сукупності значень масштабних коефіцієнтів (див. табл. 1), причому змінним був тільки коефіцієнт K_m .

Таблиця 1

№ випадку	K_{m1}	K_{n1}	$N1$	K_{m2}	$n2$	$N2$	$m3$	$n3$	$N3$
Випадок №1	0.0384	0.035	0	0.0250	0.044	2	0.0280	0.055	2.54
Випадок №2	0.0417	0.035	0	0.0340	0.044	2	0.0280	0.055	2.54

Результати дослідження. Для дослідження ефективного функціонування системи керування пуском процесу екструзії полімерів потрібно скрупульозно сформувати базу правил та правильно підібрати масштабні коефіцієнти. Неправильний вибір правил у базі та помилкові значення масштабних коефіцієнтів можуть призвести до нестійкої роботи системи керування.

Дослідження проводились на екструдері SJ-90 з діаметром шнеку 90 мм., відношенням довжини до діаметру 30:1, потужністю електродвигуна 37 кВт.

Результати проведеного дослідження графічно представлені на рис. 4 та 5 і свідчать про відсутність нестабільностей у запропонованій системі керування.

Дані результати отримані для різних сукупностей масштабних коефіцієнтів (табл. 1).

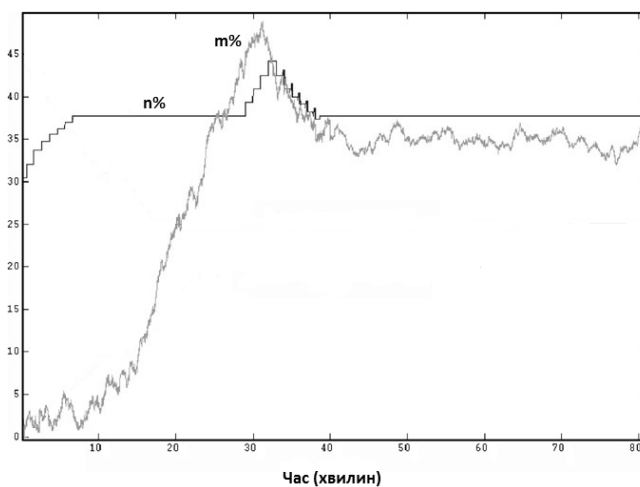


Рисунок 4 – Динаміка змінних процесу у режимі пуску (випадок №1)

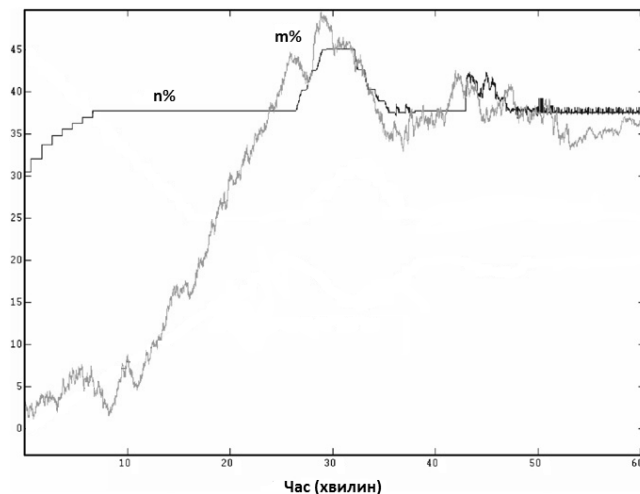


Рисунок 5 – Динаміка змінних процесу у режимі пуску (випадок №2)

Для першої комбінації параметрів (випадок 1) результати дослідження показують, що задана швидкість обертання шнеку (37 %) досягається за приблизно 40 хвилин без будь-якого блокування. При цьому $n\%$ трошки перевищує $m\%$.

Для другої комбінації параметрів (випадок 2) задана швидкість обертання шнеку досягається пізніше, через приблизно 50 хвилин, а значення $n\%$ і $m\%$ більш наближені одне до одного.

Висновки. У даній роботі запропонована нечітка система керування режимом пуску процесу екструзії полімерів. Дана система забезпечує найшвидший перехід до режиму нормальної експлуатації, що дозволяє зберегти сировинні матеріали та зменшити енергоспоживання.

Результати проведеного дослідження свідчать про ефективність запропонованої системи керування.

У той же час деякі важливі питання залишилися нерозглянутими. До них можна віднести питання вибору виду і оптимальних параметрів функцій належності, формування бази нечітких правил, вибір значень масштабних коефіцієнтів. Для розв'язання цих задач вбачається за доцільне скористатися генетичними алгоритмами та дослідити можливість і ефективність застосування нейро-фаззі систем. Ці питання і повинні стати предметом подальших досліджень.

Література

1. Ким В. С. Теория и практика экструзии полимеров. – М.: Химия, Колос С, 2005. – 568 с.

2. Мікульонок І.О. Обладнання і процеси переробки термопластичних матеріалів з використанням вторинної сировини / І.О. Мікульонок. – К.:НТУУ «КПІ», 2009. – 264 с.
3. Раувендаль К. Экструзия полимеров. – СПб.: Профессия, 2006. – 768 с.
4. Торнер Р.В. Теоретические основы переработки полимеров. М.: Химия, 1977. – 464 с.
5. Радченко Л.Б. Переробка термопластів методом екструзії. – К.: ІЗМН, 1999. – 220 с.
6. Tadmor Z., Gogos C. G. Principles of Polymer Processing. – Wiley – Interscience, 2006. – 961p.
7. Труфанова Н.М., Щербинин А.Т., Янков В.И. Плавление полимеров в экструдерах. – Изд-во: Ник «Регулярная и хаотическая динамика», Ин-т компьютерных исследований, 2009. – 332 с.
8. Popescu, O., Popescu, D.C., Wilder, J., Karwe, M.V. A new approach to modeling and control of a food extrusion process using neural networks and expert system. – Journal of Food Process Engineering. – 2001, 24(1), pp. 17–36.
9. Гостев В.И. Нечеткие регуляторы в системах автоматического управления. – К.: «Радиоамотор», 2008. – 972 с.
10. Методы робастного, нейрон-нечеткого и адаптивного управления / Под ред. Н.Д. Егупова. – М.: Изд-во МТТУ им. Н. Э.Баумана, 2002. – 744 с.
11. Ямпольський Л.С. Системи штучного інтелекту в плануванні, моделюванні та управлінні / Л.С. Ямпольський, Б.П. Ткач, О.І. Лисовиченко. – К.: ДП Вид. дім «Персонал», 2011. – 544 с.
12. Le, S.J., Hong, C.G., Han, T.S., Kang, J.Y., Kwon, Y.A. Application of fuzzy control to start-up of twin screw extruder. – Food Control, 2002, 13, pp. 301–306.
13. Ferdinand, J. M., Holly, M.L., Prescott, E.H.A., Richmond, P. Smith, A.C. (1988). Monitoring and optimization of the extrusion cooking process. In M. Renard & J. J. Bimbenet (Eds.), Automatic control and optimization of food process (pp. 519–530). London: Elsevier Applied Science.
14. Ferdinand, J. M., Holly, M. L., Prescott, E. H. A., & Smith, A. C. (1989). Monitoring and control of the extrusion cooking process. In R. W. Field & J. A. Howell (Eds.), Process engineering in the food industry: development and opportunities (pp. 77–93). London: Elsevier Applied Science.
15. Гнучкі комп'ютерно-інтегровані системи: планування, моделювання, верифікація та управління / Л.С. Ямпольський, П.П. Мельничук, К.Б. Остапченко, О.І. Лисовиченко. – Житомир: ЖДГУ, 2010. – 786 с.
16. Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB. – М. – Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.
17. Рутковская Д., Пилинский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с.

Bibliography (transliterated)

1. Kim V. S. Teorija i praktika jekstruzii polimerov. – М.: Himija, Kolos S, 2005. – 568 p.
2. Mikul'onok I.O. Obladnannja i procesi pererobki termoplastichnih materialiv z vikoristannjam vtorinnoi sirovini I.O. Mikul'onok. – К.:NTUU «КПИ», 2009. – 264 p.
3. Rauvendal' K. Jekstruzija polimerov. – SPb.: Professija, 2006. – 768 p.
4. Torner R.V. Teoreticheskie osnovy pererabotki polimerov. М.: Himija, 1977. – 464 p.
5. Radchenko L.B. Pererobka termoplastiv metodom ekstruzii. – К.: IZMN, 1999. – 220 p.
6. Tadmor Z., Gogos C. G. Principles of Polymer Processing. – Wiley – Interscience, 2006. – 961p.
7. Trufanova N.M., Shherbinin A.T., Jankov V.I. Plavlenie polimerov v jekstruderah. – Izd-vo: Nik «Reguljarnaja i haoticheskaja dinamika», In-t komp'juternyh issledovanij, 2009. – 332 p.
8. Popescu, O., Popescu, D.C., Wilder, J., Karwe, M.V. A new approach to modeling and control of a food extrusion process using neural networks and expert system. – Journal of Food Process Engineering. – 2001, 24(1), pp. 17–36.
9. Gostev V.I. Nechetkie reguljatory v sistemah avtomaticheskogo upravlenija. – К.: «Radioamotor», 2008. – 972 p.
10. Metody robstnogo, nejron-nechetkogo i adaptivnogo upravlenija Pod red. N.D. Egupova. – М.: Izd-vo MTTU im. N. Je.Baumana, 2002. – 744 p.
11. Jampol'skij L.S. Sistemi shtuchnogo intelektu v planuvanni, modeljuvanni ta upravlinni L.S. Jampol'skij, B.P. Tkach, O.I. Lisovichenko. – К.: DP Vid. dim «Personal», 2011. – 544 p.
12. Le, S.J., Hong, C.G., Han, T.S., Kang, J.Y., Kwon, Y.A. Application of fuzzy control to start-up of twin screw extruder. – Food Control, 2002, 13, pp. 301–306.
13. Ferdinand, J. M., Holly, M.L., Prescott, E.H.A., Richmond, P. Smith, A.C. (1988). Monitoring and optimization of the extrusion cooking process. In M. Renard & J. J. Bimbenet (Eds.), Automatic control and optimization of food process (pp. 519–530). London: Elsevier Applied Science.

14. Ferdinand, J. M., Holly, M. L., Prescott, E. H. A., & Smith, A. C. (1989). Monitoring and control of the extrusion cooking process. In R. W. Field & J. A. Howell (Eds.), *Process engineering in the food industry: development and opportunities* (pp. 77–93). London: Elsevier Applied Science.

15. Gnuchki komp'juterno-integrovani sistemi: planuvannja, modeljuvannja, verifikacija ta upravlinnja L.S. Jampol's'kij, P.P. Mel'nichuk, K.B. Ostapchenko, O.I. Lisovichenko. – Zhitomir: ZhDTU, 2010. – 786 p.

16. Shtovba S. D. Proektirovanie nechetkih sistem sredstvami MATLAB. – M. – Gorjachaja linija – Telekom, 2007. – 288 p.

17. Rutkovskaja D., Pilinskij M., Rutkovskij L. Nejronnye seti, geneticheskie algoritmy i nechetkie sistemy. – M.: Gorjachaja linija – Telekom, 2006. – 452 p.

УДК 681.51

Жученко А.А.

НЕЧЕТКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМОМ ПУСКА ПРОЦЕССА ЭКСТРУЗИИ ПОЛИМЕРОВ

В данной статье предложена нечеткая система управления, которая позволит улучшить показатели режима пуска червячного экструдера при переработке полимерных материалов.

Предложенная структура системы управления состоит из нечеткого регулятора Такаги-Сугено, который контролирует скорость вращения шнека экструдера для быстрого и безаварийного проведения режима пуска. Эффективность предложенной системы была продемонстрировано экспериментальным путем.

Zhuchenko O.A.

FUZZY CONTROL SYSTEM FOR START-UP PHASE OF POLYMERIC EXTRUSION

In this paper, a fuzzy control system is proposed to improve the start-up procedure of a polymeric extrusion process generally based on the principle of the inverse relation between the screw speed and the torque.

The proposed control structure consists of Takagi–Sugeno (TS) fuzzy controller, which monitor the screw speed, such as the start-up is performed quickly and without screw blockage. Efficiency of developed fuzzy control system was carried out through experiments.