

О. М. Халімовський¹
О. Л. Сокольський¹
В. І. Сівецький¹
І. О. Мікульонок¹
А. А. Ніколаєв¹

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ СТАБІЛІЗАЦІЇ ТИСКУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ РЕГУЛЬОВАНОГО ТА НЕРЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА ЕКСТРУДЕРА

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

На основі математичного моделювання роботи екструдера з наявною гармонічною складовою тиску полімеру в зоні екструзії досліджується ступінь демпфування цих коливань із застосуванням екструдера: з регульованим електроприводом; з нерегульованим електроприводом, що має новий механічний демпфувальний пристрій в конструкції шнека.

Ключові слова: система автоматичного керування, електропривод, екструдер, регулятор, полімер, коливання, демпфування, екструзія.

Вступ

В процесах перероблення термопластичних матеріалів широкого поширення набули черв'ячні екструдери. Проте, як відомо, в низці випадків отриманню якісної та однорідної за розмірами продукції заважає виникнення в екструдерах коливань різної амплітуди та частоти значень величин продуктивності й тиску [1].

Метою роботи є дослідження ступеня демпфування гармонічної складової тиску полімеру в зоні екструзії для забезпечення стабільності основних фізико-механічних параметрів екструдованого виробу під час роботи екструдера: з регульованим електроприводом в системі автоматичного керування (САК) тиском; з нерегульованим електроприводом із механічним демпфувальним пристроєм.

Результати досліджень

Питання вибору комплектації технологічного обладнання процесу екструзії пов'язано з ефективністю дії засобів реалізації технічних рішень, що застосовуються для демпфування гармонічних складових тиску полімеру в робочій зоні екструдера. Коливання продуктивності екструдера є найпоширенішою проблемою процесу екструзії. Особливо негативний вплив на якість продукту чинять високочастотні коливання, які пов'язують з такими проявами нестабільності течії розплаву, як порушення суцільності потоку, ефект «акулячої шкіри», «апельсинова кірка» та ін. [2]. Проблема зазвичай можна усунути шляхом зниження швидкості екструзії, збільшенням температури в області формувального каналу екструзійної головки, а також додаванням до полімеру зовнішніх мастильних матеріалів [3]. Проте останній з перелічених засобів пов'язаний з додатковими виробничими витратами. Наслідком зменшення швидкості екструзії — є зниження продуктивності. Перехідний процес зміни температури відбувається досить повільно і визначається тепловою сталою часу, яка може складати декілька хвилин. Відповідно, протягом цього часу екструдований виріб має незадовільні показники якості.

Оцінка характеру зміни показників якості кінцевого продукту процесу екструзії показує наявність низькочастотних складових (1...4 Гц) в їх спектральних характеристиках. Одним з чинників появи гармонічних коливань такої частоти в зоні екструзії є, як вважають, конструктивні особливості елементів екструдера. Стабілізацію процесу екструзії, на думку авторів, можна забезпечити застосуванням в конструкції шнека механічних пристроїв демпфування; або за допомогою регульованого електропривода в системі автоматичного керування. Важливим є також питання оцінки ефективності демпфування з одночасним застосуванням обох варіантів компенсації коливань. Під

час розробки математичної моделі технологічного процесу екструзії використовувались паспортні дані асинхронного двигуна потужністю 50 кВт та номінальною швидкістю 1000 об/хв. Функціональна схема установки показана на рис. 1. Основними елементами установки є: шнек (черв'як) 1, електропривод 2, демпфувальний пристрій 3 з наконечником 4 та екструзійна головка 5.

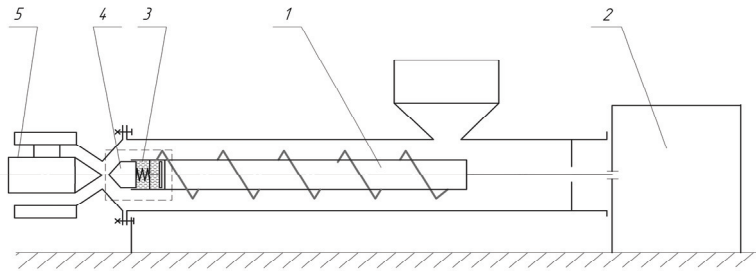


Рис. 1. Функціональна схема установки

Для моделювання перехідних процесів тиску в робочій зоні екструдера під час роботи САК тиском застосовувався математичний опис двох систем електропривода (ЕП): «перетворювач частоти — асинхронний двигун» та «тиристорний регулятор напруги — асинхронний двигун». Результати моделювання перехідних процесів замкненої САК за стандартного налаштування на модульний оптимум (МО) [4] та розімкнутої САК з номінальним моментом навантаження 485 Н·м та наявною величиною амплітуди гармонічних збурень моменту навантаження двигуна, рівною 100 Н·м, показані на рис. 2. Величина тиску за номінального навантаження двигуна взята у розмірі 45 МПа.

Аналіз результатів моделювання показує зменшення амплітуди здемпфованих коливань тиску в робочій зоні екструдера на три порядки, порівняно з максимальною амплітудою коливань збурення в 10 МПа, у разі застосування САК з налаштуванням на МО. В розімкнутій системі амплітуда коливань зменшується на два порядки.

Застосування шнека вдосконаленої конструкції з демпфувальним пристроєм дозволяє зменшити амплітуду коливань тиску в зоні екструзії. Під час роботи екструдера з точки зору механічної моделі деформації цей пристрій реалізується послідовним розташуванням пружного елемента й поршня (модель Максвелла) [5]. Запропонована конструкція може забезпечити, в залежності від розташування її складових елементів, також реалізацію механічної моделі деформації полімерів при паралельному розташуванні пружного елемента й поршня (модель Кельвіна—Фойхта) [6].

Характер руху наконечника від діючого на нього зусилля F моделі демпфувального пристрою, що утворюється під дією тиску полімеру в робочій зоні екструдера, має такий вигляд [4]:

$$m\ddot{x} + c_1\dot{x} + c_2x = F,$$

де $F = F_d + F_n$ — сумарне зусилля; F_d — зусилля поршня (демпфера); F_n — зусилля пружини; c_1 — коефіцієнт демпфування демпфера; c_2 — коефіцієнт пружності пружини; x — величина переміщення наконечника (рис. 1, поз. 4) та m — сумарна маса усіх рухомих частин пристрою. На рис. 3 показано результати моделювання перехідних процесів здемпфованої гармонічної складової коливань тиску полімеру P_3 , P_4 в робочій зоні екструдера із застосуванням механічного регулювального пристрою з чисельними значеннями співвідношення $c_1/c_2 = 0,001$ та $0,01$, відповідно.

Аналіз характеристик перехідного процесу показує, що зі зменшенням співвідношення c_1/c_2 , тобто зі збільшенням жорсткості пружини відносно в'язкості рідини демпфувального пристрою, ступінь демпфування зростає. Під час вибору конструктивних параметрів виробу та коефіцієнта пружності пружини необхідно враховувати реальну величину можливого переміщення наконечника у відповідності до зміни амплітуди гармонічної складової величини тиску в робочій зоні екструдера.

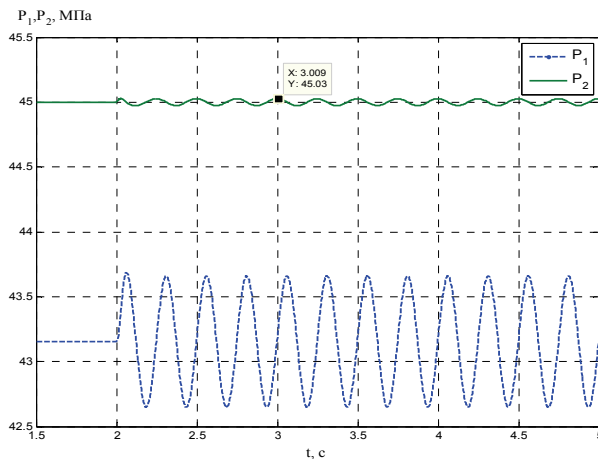


Рис. 2. Перехідні процеси коливання тиску в робочій зоні екструдера: в замкненій (P_1) та розімкненій САК (P_2) без застосування механічного регулювального пристрою

На рис. 4 для порівняльного аналізу ступеня ефективності демпфування коливань тиску полімеру за різних параметрів елементів демпфувального пристрою та у разі використання регульованого ЕП показані діаграми розподілу амплітуд здемпованих коливань гармонічної складової тиску в робочій зоні екструдера з частотою 2 Гц: 1 — з ПД-регулятором (вентиляторна характеристика навантаження); 2 — з механічним компенсаційним пристроєм, $c_1/c_2 = 0,01$; 3 — з механічним демпфувальним пристроєм, $c_1/c_2 = 0,001$; 4 — з ПД-регулятором (лінійна характеристика навантаження); 5 — з розімкнутою системою регулювання (лінійна характеристика навантаження).

Аналіз розподілу ступеня амплітуди гармонічної складової здемпованих коливань тиску показує, що найбільший ступінь демпфування можна досягти з використанням системи керування тиском при її стандартному налаштуванні на МО. Проте й наявність механічного демпфувального пристрою з відношенням $c_1/c_2 = 0,001$ дає можливість обмежити амплітуду коливань тиску на два порядки, порівняно з максимальною амплітудою коливань збурення в 10 МПа, що дозволяє вважати застосування такого пристрою технічно доцільним.

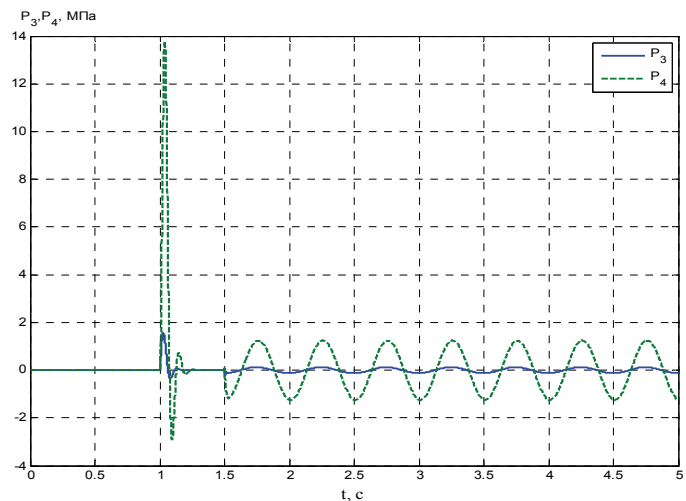


Рис. 3. Перехідні процеси здемпованої гармонічної складової коливань тиску полімера P_3, P_4 в робочій зоні екструдера

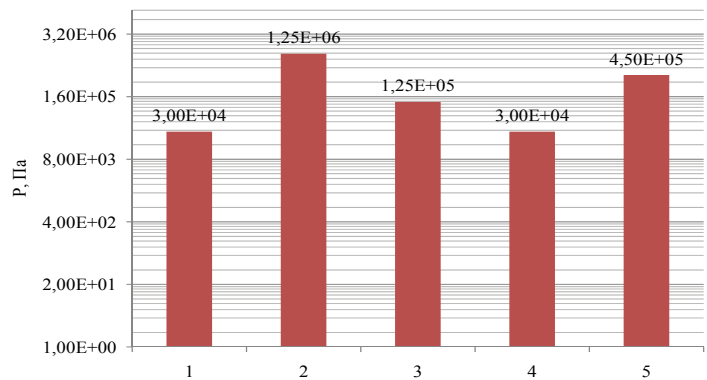


Рис. 4. Діаграми розподілу амплітуд здемпованих коливань гармонічної складової тиску в робочій зоні екструдера з частотою 2 Гц (з логарифмічною шкалою)

Висновки

В результаті проведених досліджень встановлено ступінь демпфування наявної гармонічної складової тиску у робочій зоні екструдера за рахунок використання регульованого ЕП та, в іншому варіанті — із застосуванням нерегульованого ЕП зі шнеком нової конструкції. Для обох варіантів ступінь демпфування задовольняє технічним вимогам до показників якості екструдованого матеріалу. Співвідношення величин c_1/c_2 демпфувального пристрою визначає ефективність його застосування. Порівняльний аналіз характеристик перехідного процесу обох варіантів показав вищу ефективність демпфування у разі застосування регульованого електропривода.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Сокольський О. Л. Проектування формуючих пристроїв обладнання для переробки пластмас : навч. посіб. / О. Л. Сокольський, В. І. Сівецький, І. О. Мікульонюк. — К. : НТУУ «КПІ», 2014. — 148 с.
2. Производство изделий из полимерных материалов : учеб. пос. / В. К. Крыжановский, М. Л. Кербер, В. В. Бурлов, А. Д. Панيماتченко. — СПб. : Профессия, 2004. — 464 с.
3. Рауендааль К. Выявление и устранение проблем в экструзии ; пер. с англ. / К. Рауендааль, Х. Харрис, М. Д. Пиллар Норвега. — СПб. : изд-во «Профессия», 2011 — 368 с.
4. Сборник задач по теории автоматического регулирования и управления / [В. А. Бесекерский и др.]. — М. : Наука, 1978. — 512 с.
5. Ким В. С. Теория и практика экструзии полимеров : учеб. пос. / В. С. Ким. — М. : Колос С., 2005. — 568 с.

Рекомендована кафедрою електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 25.12.2015

Халімовський Олексій Модестович — канд. техн. наук, доцент кафедри автоматизації електромеханічних систем та електропривода, e-mail: o.khalimovskyy@ukr.net;

Сокольський Олександр Леонідович — канд. техн. наук, доцент кафедри хімічного, полімерного та силікатного машинобудування; e-mail: sokolkiev@ukr.net;

Сівецький Володимир Іванович — канд. техн. наук, професор кафедри хімічного, полімерного та силікатного машинобудування;

Мікульонюк Ігор Олегович — д-р техн. наук, професор, заслужений винахідник України, професор кафедри хімічного, полімерного та силікатного машинобудування;

Ніколаєв Антон Анатолійович — студент факультету електроенерготехніки та автоматики.
Національний технічний університет «Київський політехнічний інститут», Київ

O. M. Khalimovskyi¹
O. L. Sokolskyi¹
V. I. Sivetskyi¹
I. O. Mikulionok¹
A. A. Nikolaiev¹

Comparative Analysis of Pressure Stabilization Efficiency for Extruder Adjustable and Non-Adjustable Electrical Drive

¹National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»

Damping capabilities of harmonic component of polymer pressure in extrusion zone for two cases of extruder assembly have been studied: with adjustable electrical drive; with non-adjustable electrical drive and mechanical damping device.

Keywords: automatic control system, electric drive, extruder, regulator, polymer, oscillations, damping, extrusion.

Khalimovskyi Oleksii M. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor of the Chair of Automation of Electromechanical Systems and Electric Drive, e-mail: o.khalimovskyy@ukr.net;

Sokolskyi Oleksandr L. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor of the Chair of Chemical, Polymer and Silicate Engineering, e-mail: sokolkiev@ukr.net;

Sivetskyi Volodymyr I. — Cand. Sc. (Eng.), Professor of the Chair of Chemical, Polymeric and Silicate Engineering;

Mikulionok Ihor O. — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Honored Inventor of Ukraine, Professor of the Chair of Chemical, Polymer and Silicate Engineering;

Nikolaiev Anton A. — Student of Faculty of Electric Power Engineering and Automatics

A. M. Халимовский¹
A. Л. Сокольский¹
В. И. Сивецкий¹
И. О. Микуленок¹
А. А. Николаев¹

Сравнительный анализ эффективности стабилизации давления с использованием регулируемого и нерегулируемого электропривода экструдера

¹Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

На основе математического моделирования работы экструдера при наличии гармонической составляющей давления полимера в зоне экструзии исследуется степень демпфирования этих колебаний в случае применения экструдера: с регулируемым электроприводом; с нерегулируемым электроприводом, имеющим новое механическое демпфирующее устройство в конструкции шнека.

Ключевые слова: система автоматического управления, электропривод, экструдер, регулятор, полимер, колебания, демпфирование, экструзия.

Халимовский Алексей Модестович — канд. техн. наук, доцент кафедры автоматизации электромеханических систем и электропривода, e-mail: o.khalimovskyy@ukr.net;

Сокольский Александр Леонидович — канд. техн. наук, доцент кафедры химического, полимерного и силикатного машиностроения, e-mail: sokolkiev@ukr.net;

Сивецкий Владимир Иванович — канд. техн. наук, профессор кафедры химического, полимерного и силикатного машиностроения;

Микуленок Игорь Олегович — доктор техн. наук, профессор, заслуженный изобретатель Украины, профессор кафедры химического, полимерного и силикатного машиностроения;

Николаев Антон Анатольевич — студент факультета электроэнерготехники и автоматики