

данные экспериментальных исследований, предложены высокоэффективные методы утилизации рассмотренных отходов, которые можно внедрять на железной дороге и на предприятиях других отраслей экономики Украины.

Ключевые слова: смазочно-охлаждающие жидкости, нефтезагрязненные почвы, масла, утилизация, поверхностно-активные вещества.

Зеленко Юлія Володимирівна, кандидат технічних наук, доцент, кафедра хімії та інженерної екології, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, e-mail: j.zelenko@mail.ru.

Безовська Марина Сергіївна, асистент, кафедра хімії та інженерної екології, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, e-mail: marina84@ua.fm.

Лециньська Анна Львівна, асистент, кафедра хімії та інженерної екології, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, e-mail: nuto4ka87@bk.ru.

Зеленко Юлия Владимировна, кандидат технических наук, доцент, кафедра химии и инженерной экологии, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна.

Безовская Марина Сергеевна, ассистент, кафедра химии и инженерной экологии, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна.

Лециньская Анна Львовна, ассистент, кафедра химии и инженерной экологии, Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна

Zelen'ko Yuliya, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazarian, e-mail: j.zelenko@mail.ru.

Bezovs'ka Marina, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazarian, e-mail: marina84@ua.fm.

Leshchyns'ka Anna, Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazarian, e-mail: nuto4ka87@bk.ru.

УДК 678.023

Швед М. П.,
Швед Д. М.,
Луценко І. В.,
Богатир А. С.

ПЕРЕВАГИ ВИКОРИСТАННЯ КАСКАДНИХ СХЕМ ТА ДОЗУЮЧИХ ШЕСТЕРЕННИХ НАСОСІВ ПРИ ЕКСТРУЗІЇ ПОЛІМЕРІВ

У статті наведено параметри, які характеризують процес екструзії та представлено аналіз основних схем екструзійних установок.

Розглянуто точність дозування, зміну тиску та температури при екструзії полімерів на різних типах екструдерів: черв'ячний, черв'ячний з використанням дозуючого шестеренного насоса, каскадний дисково-черв'ячний, каскадний дисково-шестеренний. Визначено ефективність застосування шестеренного насосу завдяки підвищенню точності дозування та зменшення середньої температури розплаву.

Ключові слова: екструзія, каскадна установка, полімер, шестеренний насос, екструдат.

1. Вступ

Розширення асортименту полімерів і пластмас, суттєве збільшення їхнього виробництва потребують створення високопродуктивного та ресурсоенергозощадного обладнання для їх переробки у найрізноманітніші виробу. Найбільш ефективним є екструзійне обладнання, серед якого найчастіше використовуються одночерв'ячні екструдери.

Для отримання виробів високої якості необхідно, щоб робота екструдера і процеси, які проходять в ньому були стабільні і протікали в рівноважному режимі. Проте, на практиці це складно реалізується. Оскільки існує ряд факторів від яких залежать продуктивність екструдера та кількість екструдату. В наслідок цього більшість екструзійних установок працює з коефіцієнтом корисної дії 45–75 % при задовільній якості екструдату. Якість розплаву, який поступає на формування та якість готового виробу знаходиться у тісному взаємозв'язку з продуктивністю і залежить від конструктивних особливостей черв'яка і циліндра — головних робочих органів екструдера [1, 3, 5].

Тому при виборі конструктивних параметрів екструдера основна задача складається з забезпечення високої якості розплаву при заданій продуктивності та при мінімальних затратах енергії.

Метою роботи є аналіз відомих схем екструзійних установок, методів підвищення якості готових виробів при заданій продуктивності та при зменшенні енергозатрат на виробництво.

2. Постановка проблеми

Процеси, які проходять під час екструзії вельми складні. Це пов'язано з різноманітністю якості сировини, наявністю різних взаємопов'язаних між собою технологічних операцій, а також рядом регульованих та нерегульованих зовнішніх факторів, які і визначають характер процесу екструзії. Параметри, які характеризують і визначають процес екструзії представлені в табл. 1.

Оцінити та врахувати ступінь впливу всіх параметрів на процес екструзії складно. Внаслідок того, що більшість термопластів суттєво відрізняються за своїми механічними та теплофізичними властивостями

Таблиця 1

Параметри, які характеризують і визначають процес екструзії

Властивості сировини		
Механічні	Фізичні	Хімічні
Форма і розмір гранул Сипкість Коефіцієнт тертя	Густина Теплопровідність Питома теплосмність Температура плавлення В'язкість розплаву	Розподіл молекулярної маси Вологість Вміст газу Термостійкість
Технологічні операції		
Зона завантаження і плавлення	Зона дегазації	Зона розвантаження
Подача сировини Транспортування Стиснення Плавлення Попередня гомогенізація	Дозування Зняття напруг Дегазація	Створення тиску Дозування Підтримка рівно температурного режиму Змішування Фільтрування
Зовнішні фактори		
Геометричні розміри	Потужність	Параметри, які регулюються
Черв'як Циліндр Формуючий інструмент	Привід Обігрів Охолодження	Частота обертання черв'яка Температура Вакуум Час перебування матеріалу в екструзії

і для кожного виробу встановлюють свій режим роботи екструдера. Зрозуміло, що конструкція черв'яка, яка є оптимальною для переробки одного полімеру може не підходити для іншого [2, 6, 10].

Для забезпечення заданої продуктивності в системі привода можливо передбачити практично будь-яку частоту обертання черв'яка, а для підтримання якості розплаву на необхідному рівні в екструдерах, що оснащені звичайними трьохзонними черв'яками можливі два шляхи:

- 1) збільшення довжини гвинтового каналу черв'яка, тобто подовження шляху, який проходять гранули полімеру від загрузочної воронки до формувального інструмента;
- 2) застосування різноманітних змішувачих елементів, які встановлюються по довжині екструдера.

Для підвищення змішувальної здатності черв'яка і отримання гомогенізованого розплаву запропоновані змішувальні елементи у вигляді кулачків, штифтів, торпед. З цією ж метою використовують хвильоподібні черв'яки, які мають ексцентричне положення послідовних ділянок гвинтового каналу та конструкції Майлефера [2].

Проте, використання змішувальних елементів та удосконалення геометрії звичайних трьохзонних черв'яків призводить до їх ускладнення та зниження напірної характеристики екструдерів, дозволяючи лише в незначній мірі покращити якість розплаву і підвищити продуктивність екструдерів [8].

В зв'язку з цим в останній час одним із основних напрямків підвищення продуктивності й поліпшення якості розплаву перероблюваного матеріалу є створення двостадійних, або каскадних агрегатів. Такі схеми мають у своєму складі два, або більше екструдерів з роздільними приводами, що дозволяють розділити процес екструзії на окремі стадії і автономно керувати кожною стадією, наприклад за рахунок керування числа обертів.

3. Аналіз літературних джерел за темою дослідження

Каскадні установки в порівнянні з традиційними черв'ячними екструдерами характеризуються кращими питомими показниками та широкою номенклатурою перероблюваних матеріалів. Невелике співвідношення довжини робочої частини черв'яка L до його діаметра D зменшує зношування робочих органів, полегшує їхню виготовлення і ремонт. Крім того, з'являється можливість підвищити змішувальну здатність екструдера [4, 7].

Використання каскадних установок дозволяє встановлювати раціональні режими роботи виділених операцій при якісному веденні усього технологічного процесу. При створенні таких екструдерів необхідно вирішувати ряд наступних завдань:

- виділення з технологічного процесу переробки основних операцій;
- визначення можливості їх інтенсифікації;
- вибір відповідних агрегатів та вузлів, які забезпечують проведення і керування цими операціями;
- визначення можливостей погодження їх сумісної роботи.

На першій стадії каскадних агрегатів зазвичай використовують одночерв'ячний, дисковий, або двочерв'ячний екструдери. Як правило, друга стадія представлена одночерв'ячним екструдером. З метою ефективної переробки полімерів в якості першого каскаду використовують дискові, або двочерв'ячні екструдери, які забезпечують більш якісне змішування і гомогенізацію розплаву, ніж одночерв'ячний екструдер.

Технологія багатостадійної екструзії використовується фірмами Battenfeld, Barmag (Німеччина), Buss (Швейцарія), Mitsubishi Petrochemical (Японія) та іншими.

Використання каскадних установок має ряд переваг. По-перше, розмежування операцій дає змогу автономно і більш точно корегувати технологічні режими й порівняно просто досягати оптимальних результатів на окремих

стадіях, забезпечуючи високу якість екструдату за умови максимальної продуктивності. По-друге, поділ екструдера «на дві частини» дає змогу ефективно організувати на проміжній ділянці їх поєднання видалення летких речовин (дегазацію полімеру), що суттєво поліпшує якість одержуваних напівфабрикатів і виробів (зводиться до мінімуму можливість появи у виробках бульбашок, раковин, каверн та інших дефектів) [9].

Проте невирішеною залишається проблема пульсації тиску, які викликані флуктуацією параметрів сировини на вході в екструдер, відносно нестабільністю температури в різних зонах екструдера, що призводять до перевитрати сировини, яка може сягати 5–8 %.

4. Виклад основного матеріалу дослідження

Найбільш ефективним шляхом вирішення проблем пульсації тиску, перевитрати сировини й енергії є встановлення дозуючого шестеренного насоса перед формуючим інструментом. Використання [2, 3].

Завдяки тому, що шестеренний насос не просто перекачує розплав полімеру, а й створює та стабілізує необхідний тиск для проходження розплаву через головку екструдера, то робота самого екструдера тепер спрямована тільки на розплавлення та гомогенізацію полімеру, що безумовно є перевагою даної каскадної схеми екструзії.

Дослідження по визначенню точності дозування, жорсткості напірної характеристики, зростання температури та питомих витрат енергії проводились в лінії для виробництва рукавної плівки ЛРП-600 з використанням в якості розплавлювачів-гомогенізаторів черв'ячного екструдера ЧП – 45 × 25 з модифікованим шестеренним насосом НШ-32 виробництва Каменського машинобудівного заводу та без нього, каскадних дисково-черв'ячного та дисково-шестеренного екструдерів при наступних параметрах: матеріал – поліетилен низької густини марки 15803-020, продуктивність – 40 кг/год, опір формувальної головки 25 МПа, технологічно задана температура на виході з формувальної головки 170 °С.

У табл. 2 та на рис. 1, 2 приведені результати досліджень екструзії полімеру у вигляді порівняльних характеристик.

Таблиця 2

Порівняльні характеристики екструдерів різних типів

Тип екструдера	Номинально задана продуктивність, кг/год	Фактична продуктивність, кг/год	Перевитрата сировини за 7200 годин, кг	Підвищення температури ΔT , °С	Питома витрата енергії, кВт/(кг/год)
Одночерв'ячний	40	43,2	23040	20—25	0,56
Одночерв'ячний з шестеренним насосом	40	40,4	2880	3—5	0,5
Каскадний дисково-черв'ячний	40	43,4	23146	22—30	0,38
Каскадний дисково-шестеренний	40	40,4	2880	3—5	0,33

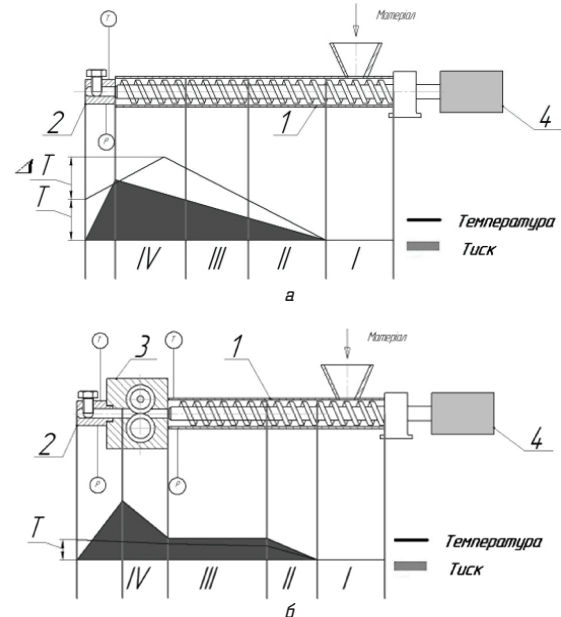


Рис. 1. Зміна температури й тиску по зонах в черв'ячних екструдерах: а — без шестеренного насоса; б — з шестеренним насосом 1 — екструдер, 2 — головка екструзійна, 3 — шестеренний насос, 4 — приводи, I — зона живлення, II — зона пластифікації, III — зона гомогенізації, IV — зона створення тиску

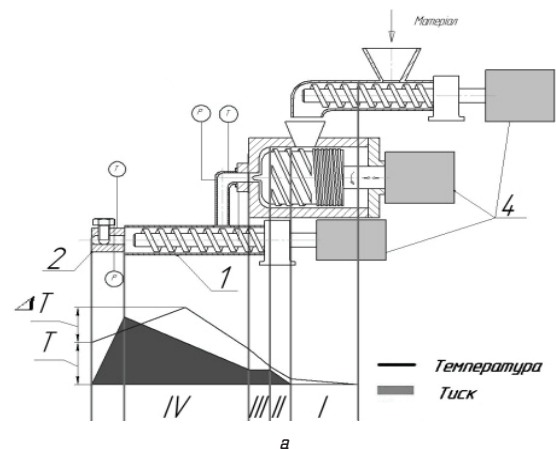


Рис. 2. Зміна температури й тиску по зонах в каскадних екструдерах: а — схема каскадного дисково-черв'ячного екструдера; б — схема каскадного дисково-шестеренного екструдера 1 — екструдер, 2 — головка екструзійна, 3 — шестеренний насос, 4 — приводи, I — зона живлення, II — зона пластифікації, III — зона гомогенізації, IV — зона створення тиску

Аналіз отриманих даних показує, що використання шестеренного насоса між черв'ячним екструдером і формуючим інструментом дозволяє збільшити зону гомогенізації III, що покращує гомогенізуючу здатність самого екструдера, або ж дозволяє виконувати більше технологічних операцій при тій же довжині шнека. При цьому точність дозування підвищилась до 1–2 %, а середня температура розплаву полімеру зменшилась на 8–15 °С, що дозволяє зменшити тривалість екструзії та питомі витрати енергії.

При застосуванні каскадних екструдерів вдається більш чітко встановлювати оптимальні режими екструзії з нижчою енергоємністю за рахунок того, що процес плавлення та гомогенізації в дисковому екструдері проходить за високих швидкостей зсуву та відносно невеликих тисків, але у варіанті дисково-черв'ячного екструдера розплав все ж перегрівається в зоні дозування і напірна характеристика цієї зони значно падає. В той час як в дисково-шестеренному екструдері цих недоліків вдається уникнути, що дає змогу отримувати технологічно необхідну температуру розплаву, заощаджуючи енергію на його перегріванні та наступному охолодженні. Крім того, каскадна схема екструзії полімеру дозволяє зменшити зони пластифікації II та гомогенізації III, а також проводити жорсткий контроль підведення енергії до матеріалу на кожній стадії процесу за рахунок регулювання величини робочого зазору та частоти обертання диска при незмінній продуктивності («голодне живлення»).

5. Висновки

Використання шестеренного насоса у каскадних установках перед формуючим елементом дає змогу збільшити зону гомогенізації, що суттєво підвищує якість отримуваної продукції. Точність дозування підвищилась до 1–2 %, а середня температура розплаву полімеру зменшилась на 8–15 °С, що дозволяє зменшити тривалість екструзії та питомі витрати енергії.

Реалізація екструзійних схем з шестеренним насосом дозволяє досягти високого ресурсоенергозберігаючого ефекту.

Література

1. Крыжановский, В. К. Производство изделий из полимерных материалов [Текст] / В. К. Крыжановский, М. Л. Кербер, В. В. Бурлов, А. Д. Панаматченко. — СПб.: Профессия, 2008. — 460 с.
2. Ким, В. С. Теория и практика экструзии полимеров [Текст] / В. С. Ким. — М.: Химия, 2005. — 567 с.
3. Раувендааль, К. Экструзия полимеров [Текст]: пер. с англ. — А. Я. Малкина. — СПб.: Профессия, 2006. — 768 с.
4. Мак-Келви, Д. М. Переработка полимеров [Текст] / Д. М. Мак-Келви. — М.: Химия. — 1965. — 442 с.
5. Бернхард, Э. Переработка термопластичных материалов [Текст] / Э. Бернхард. — М.: Химия. — 1965. — 748 с.
6. Jacobi, H. R. Screw Extrusion of Plastics [Текст] / H. R. Jacobi // Karl Hanser Verlag. — 1960 — Т. 31(1). — С. 105–127.
7. Tadmor, Z. Engineering Principles of Plasticating Extrusion [Текст] / Z. Tadmor, T. Klein // Modern Plastics. — 1970. —Т. 1(6). — С. 46–54.
8. Maxwell, B., Scalore, L. Mashin for Extrusion [Текст] / B. Maxwell, L. Scalore // van Nostrand Romhold comp. — 1970. — Т. 51(4). — С. 7–18.
9. Collings, S. Plastics Machinery and Equipment [Текст] / S. Collings // Nature. — 1982. —Т. 5(2). — С. 26–29.

10. Donovan, R. A Theoretical Melting Model for Plasticating Extruders [Текст] / R. Donovan // Polym. Eng. Sci. — 1971. — Т. 100(11). — С. 247–257.

ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАСКАДНЫХ СХЕМ И ДОЗИРУЮЩИХ ШЕСТЕРЕННЫХ НАСОСОВ ПРИ ЭКСТРУЗИИ ПОЛИМЕРОВ

В статье представлены параметры, которые характеризуют процесс экструзии и приведен анализ основных схем экструзионных установок.

Рассмотрены точность дозирования, изменения давления и температуры при экструзии полимеров на разных типах экструдеров: червячный, червячный с использованием дозирующего шестеренного насоса, каскадный дисково-червячный, каскадный дисково-шестеренный. Определена эффективность использования шестеренного насоса благодаря повышению точности дозирования и уменьшения средней температуры расплава.

Ключевые слова: экструзия, каскадная установка, полимер, шестеренный насос, экструдат.

Швед Микола Петрович, кандидат технических наук, доцент, кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут».

Швед Дмитро Миколайович, провідний інженер, кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут».

Луценко Ірина Вікторівна, студент-магістрант, кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», e-mail: irusnik@bigmir.net.

Богатыр Анна Сергіївна, студент-магістрант, кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», e-mail: annabogatyр@mail.ru.

Швед Николай Петрович, кандидат технических наук, доцент, кафедра машин и аппаратов химических и нефтеперерабатывающих производств, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт».

Швед Дмитрий Николаевич, ведущий инженер, кафедра машин и аппаратов химических и нефтеперерабатывающих производств, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт».

Луценко Ирина Викторовна, студент-магистрант, кафедра машин и аппаратов химических и нефтеперерабатывающих производств, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт».

Богатырь Анна Сергеевна, студент-магистрант, кафедра машин и аппаратов химических и нефтеперерабатывающих производств, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт».

Shwed Nicolay, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute».

Shwed Dmytro, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute».

Lutsenko Iryna, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», e-mail: irusnik@bigmir.net.

Bogatyр Anna, National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», e-mail: annabogatyр@mail.ru.