

УДК 678.027.3

## НОВИЙ РЕСУРСОЕНЕРГООЩАДНИЙ ПРОЦЕС ЕКСТРУЗІЇ ПОЛІМЕРІВ

Швед М.П., Швед Д.М., Великоіваненко С.П.

Національний технічний Університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

У даній статті наведено параметри, які характеризують процес екструзії. Представлено аналіз основних схем екструзійних установок. Розглянуто дозування, зміну тиску та температури при черв'ячній та черв'ячно-шестеренній екструзії. Проаналізовано графіки експериментальних досліджень зміни продуктивності та температури від тиску.

**Ключові слова:** екструзія, полімер, гомогенізація, екструдер, шестеренний насос.

**Постановка проблеми.** Екструзія – безперервний процес переведення твердого сипучого полімеру у в'язкоподібний стан з подальшим продавлюванням його через формувальний [1].

При переробці полімерів все частіше використовуються композиційні матеріали, наповнювачі, барвники, легуючі добавки, які суттєво змінюють фізико-механічні характеристики сировини. Розширення асортименту полімерів, суттєве збільшення їхнього виробництва потребують створення високопродуктивного та ресурсоенергоощадного обладнання для їх переробки у найрізноманітніші вироби. На сьогоднішній день при екструзії полімерів широкого використання набули одночерв'ячні екструдери, в яких процес завантаження, плавлення, гомогенізації, створення тиску виконуються одним робочим органом – черв'яком. Недоліком одностадійних черв'ячних екструдерів є прив'язка всіх цих процесів один до одного, тому недосконалість якогось із них призводить до зміни параметрів інших процесів, що значно ускладнює керування ними і унеможлиблює їх оптимізацію.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проаналізувавши технічні умови на вироби з полімерної продукції можна зробити висновок, що допуски на геометричні розміри полімерної продукції в багатьох випадках завищені на 10-20% [2, 3]. Все це пов'язано з недосконалістю існуючих технологічних ліній, які створені на базі одночерв'ячних екструдерів. При цьому виникає поперечна та поздовжня різновісність матеріалу через пульсації тиску в зоні дозування [4]. Усунення коливань тиску дало б змогу зменшити допуски на продукцію, що призвело б до суттєвої економії полімеру і енергії, яка б пішла на його перероблення, а також знизило б навантаження на екологію, за рахунок зменшення кількості сировини яка потребує утилізації.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Основними проблемами при екструзії полімерів є перевитрата сировини та енергії, які обумовлені коливанням тиску та продуктивності на виході з екструдера, що вимагає встановлення збільшених допусків на геометричні розміри. Рішенням проблеми перевитрати сировини та енергії при виробництві полімерної продукції може бути використання каскадних схем екструзії, де всі процеси розділяються на окремі операції чи їх групи, з можливістю оптимізації процесів за рахунок автономного керування. Саме тому доцільно використовувати більш універсальне обладнання для переробки

полімерів – каскадні екструдери. Це дозволяє встановлювати раціональні режими роботи виділених операцій при якісному веденні всього технологічного процесу.

**Формулювання цілей статті.** Метою статті є розробка ресурсо-енергоощадного процесу екструзії полімерів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Відомо, що на тиск і якість процесів, які відбуваються в екструдері впливає гранулометричний склад сировини, нестабільність швидкості обертання черв'яка, коливання температури, зміна в'язкості розплаву і тиску в середині екструдера. Нестабільність останніх призводить до коливання тиску і продуктивності, що призводить до необхідності встановлення завищених допусків на геометричні розміри. Для отримання виробів високої якості необхідно, щоб робота екструдера і процеси, які проходять в ньому, були стабільними і протікали в оптимальному режимі [5]. Для вирішення цієї проблеми часто використовуються каскадні схеми екструзії [6], де процес розділяється на окремі операції або їх групи, що дозволяє встановлювати оптимальні режими їх роботи при якісному веденні всього технологічного процесу.

Розподілення операцій дає змогу точніше корегувати і більш просто досягати оптимальних режимів роботи. При використанні таких схем екструзії необхідно вирішувати ряд наступних задач:

- виділення з технологічного процесу основних операцій, або їх груп;
- інтенсифікація цих процесів;
- можливість автономного керування ними.

Одна з таких схем приведена на рисунку 1, а її апаратне оформлення на рисунку 2. В цій схемі передбачено виділення в окремі операції: дозоване живлення, плавлення та гомогенізація, створення тиску та дозування. Для дозованого живлення доцільно використовувати вагові або об'ємні дозатори. Для операцій завантаження, плавлення, гомогенізації використовується дисковий екструдер з дозованим живленням, а для створення тиску та дозування використовується дозуючий насос. Всі пристрої оснащені окремими приводами з можливістю автономного керування процесами, які в них передбачені.

Дозоване живлення дискового екструдера дозволяє регулювати термо-механічне навантаження на розплав за рахунок можливості зміни обертів дискового екструдера при незмінній продуктивності. До того ж таке дозоване живлення дозволяє реалізувати модель диспергованого

плавлення, енергоефективність якої в декілька разів вища, ніж при використанні пробкової моделі плавлення, яка реалізується в класичних черв'ячних екструдерах. Гомогенізація розплаву відбувається в робочих зазорах 9, величину яких можна змінювати переміщуючи диск екструдера 2. Задачею розплавлювача-гомогенізатора є плавлення матеріалу та його перемішування.

Роль дозування розплаву в зону формування може виконувати черв'ячний в'язкісний насос, який використовується у варіанті класичної екструзії, або об'ємний шестеренний насос з жорсткою напірною характеристикою. Шестеренний насос в такому екструдері виконує подвійну роль і має такі переваги: по-перше, завдяки значному внутрішньому опору він відсікає

всі коливання тиску та продуктивності, які відбувалися в попередніх операціях. По-друге, шестеренний насос забезпечує сталий тиск та продуктивність на виході з насоса. Енергоефективність використання шестеренного насоса при екструзії полімерів складає від 80 до 95% [7]. На рисунку 3 та 4 представлені результати попередніх проведених досліджень на каскадних дисково-шестеренному та дисково-черв'ячному екструдерах [8].

З представлених залежностей видно, що при зміні опору формуючого інструменту від 14 до 26 МПа продуктивність в дисково-черв'ячному екструдері впала на 25%, а в дисково-шестеренному екструдері на 8%, що свідчить про значно вищу жорсткості напірної характеристики в дисково-шестеренному екструдері.

Із графічних залежностей також видно, що при номінальному тиску в 20 МПа і коливаннях тиску в межах  $\pm 0,5$  МПа, продуктивність коливається в дисково-черв'ячному екструдері на  $\pm (0,4 \text{ кг/год})$ , а в дисково-шестеренному екструдері на  $\pm (0,15 \text{ кг/год})$ .

З рисунку 4 зрозуміло, що підвищення температури в дисково-шестеренному екструдері становить на більше  $5^\circ \text{C}$  проти  $15^\circ$  в дисково-черв'ячному екструдері, що позитивно впливає на енергетичні показники процесу та якість кінцевого продукту.

Аналогічні дослідження коливань продуктивності показали [9, рисунок 5], що після встановлення шестеренного насоса, коливання продуктивності в системі практично згладжуються і стабілізуються. При цьому коливання продуктивності не пере-

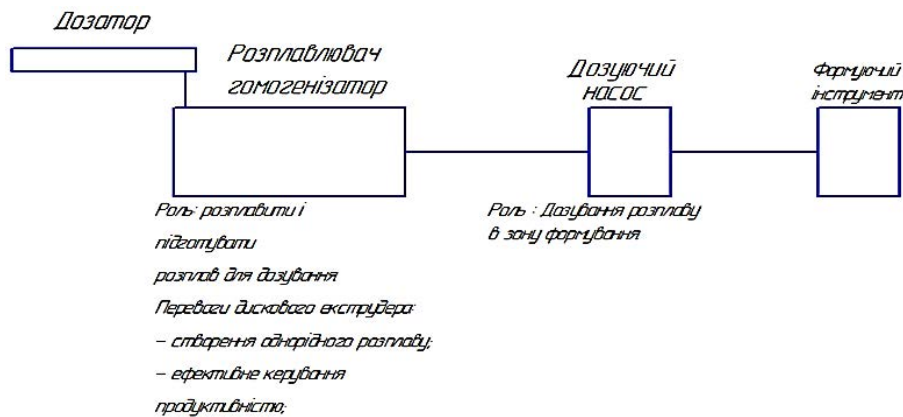


Рис. 1. Схема каскадної дисково-шестеренної екструзії полімерів

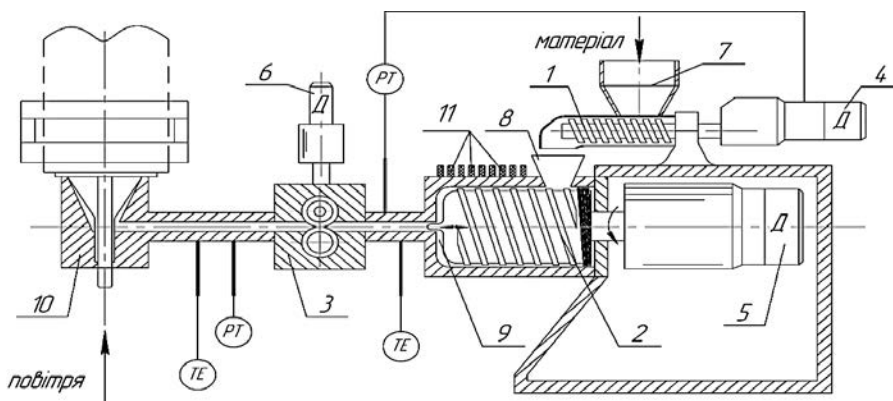


Рис. 2. Апаратне оформлення каскадного дисково-шестеренного екструдера

1 - шнековий дозатор; 2 - дисковий екструдер; 3 - шестеренний насос; 4, 5, 6 - приводи обертових органів екструдера; 7 - бункер; 8 - завантажувальна горловина; 9 - торцевий робочий зазор дискового екструдера; 10 - формувальний інструмент; 11 - датчики температури; РТ - датчики тиску; ТЕ - датчики температури

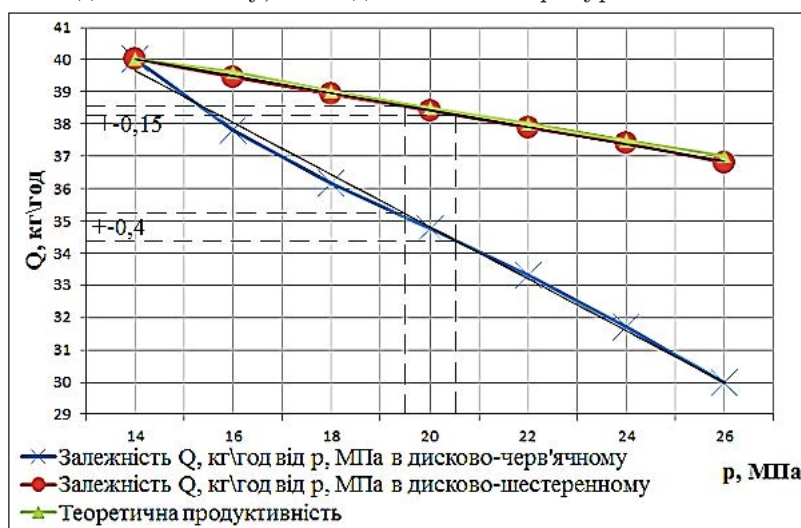


Рис. 3. Залежність продуктивності дисково-шестеренного і дисково-черв'ячного екструдерів від тиску

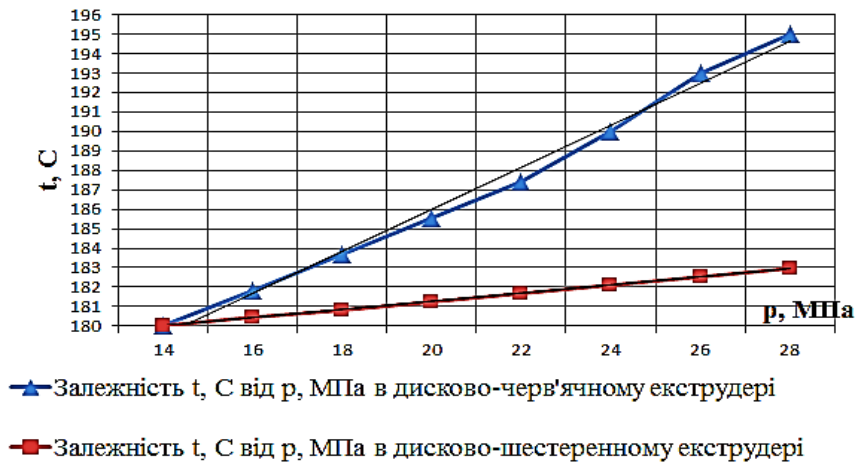


Рис. 4. Залежність температури розплаву продуктивності дисково-шестеренного і дисково-черв'ячного екструдерів від тиску



Рис. 5. Графік залежності витрати матеріалу від часу

вищують 1%, проти 5% в екструдерах без шестеренного насосу.

**Висновки з даного дослідження.** Таким чином використання каскадних схем екструзії полімерів дозволяє гнучко керувати технологічним процесом переробки полімерів, а використання дозуючих шестеренних насосів з жорсткою на-

пірною характеристикою дає змогу стабілізувати коливання тиску та продуктивності на виході з екструдеру і тим самим зменшити допуски на геометричні розміри виробів, і таким чином економити сировину та енергію, що і є економічною підставою для використання шестеренних насосів в каскадних схемах екструзії.

## Список літератури:

1. Ким В.С. Теория и практика экструзии полимеров. – М.: Химия, Колос, 2005. – 568 с.: ил. – (Учебники и учебные пособия для студентов высших учебных заведений).
2. Труби поліетиленові для подачі холодної води. Технічні умови: ДСТУ Б В.2.7-151:2008. – [Чинний від 2009-06-01] – Київ: Мінрегіонбуд України, 2009. – (Національні стандарти України).
3. Пленка поліетиленовая. Технический услович: ГОСТ 10354-85 – [Дата начала действия 1983-01-07] – Минхимпром, 1983. – (Межгосударственный стандарт).
4. Плешко О.В. Ресурсо-енергоощадний каскадний екструдер для переробки полімерних матеріалів / Плешко О.В., Швед М.П., Швед Д.М. Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – Одеса. – 2013. Вип. 43, Т. 1 – С. 118-120.
5. Раувендааль К. Выявление и устранение проблем в экструзии / К. Раувендааль, М. Пилар-Норьега. X. Харрис; Пер. с англ, под ред. В.П. Володина. – СПб.: Профессия, 2008. – 328 стр.
6. Луценко І.В. Дослідження процесу плавлення полімеру при черв'ячній екструзії / І.В. Луценко, М.П. Швед, Д.М. Швед, Л.Г. Воронін. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – № 2/7(62). – С.37-39. ISSN 1729-3774. (Входить до наукометричних баз: Ulrich's Periodicals Directory, Index Copernicus, WorldCat, РІНЦ).
7. Раувендааль К. Экструзия полимеров / Пер. с англ, под ред. А.Я. Малкина – СПб.: Профессия, 2006. – 768 стр., ил.
8. Мітусов Р.О. Процес високошвидкісної каскадної дисково-шестеренної екструзії / Р.О. Мітусов, М.П. Швед, Д.М. Швед. Хімічна промисловість України. – 2015. – № 2(127). – С. 36-39.
9. RETEC, COEX '89, Chicago, Illinois, October 23-25, 1989.

**Швед Н.П., Швед Д.Н., Великоиваненко С.П.**

Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

## **НОВЫЙ РЕСУРСОЭНЕРГОСБЕРЕГАТЕЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС ЭКСТРУЗИИ ПОЛИМЕРОВ**

### **Аннотация**

В данной статье приведены параметры, характеризующие процесс экструзии. Представлен анализ основных схем экструзионных установок. Рассмотрены дозирование, изменение давления и температуры при червячной и червячно-шестеренной экструзии. Проанализировано графики экспериментальных исследований изменения производительности и температуры от давления.

**Ключевые слова:** экструзия, полимер, гомогенизация, экструдер, шестеренный насос.

**Shved M.P., Shved D.M., Velikoivanenko S.P.**

National Technical University of Ukraine  
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

## **A NEW RESOURCE-STOCK PROCESS OF EXTRUSION POLYMERS**

### **Summary**

In this article describes the parameters that characterize the process of extrusion. The analysis of the basic schemes of extrusion installations is presented. The dosage, pressure and temperature variation in worm and worm gear gear extrusion are considered. Experimental studies analyzed graphics productivity and temperature changes on pressure.

**Keywords:** extrusion, polymer, homogenization, extruder, gear pump.