Рекомендовано до публікації д-р техн. наук Дуравкін Є. В.
Дата надходження рукопису 27.02.2015

Mohammed Khodayer Hassan Al-Dulaimi, PhD, Department of Software Engineering, Instructor at Al-Rafidain University College, Iraq, Bagdad, Hay Al Mustansurya
E-mail: mohamdhassan2004@yahoo.com

Aymen Mohammed Khodayer Al-Dulaimi, graduate student, Department of Telecommunication Systems, Odessa National Academy of Telecommunications name after A. S. Popov, st. Kovalska, 1, Odessa, Ukraine, 65000
Email: aymenaldulaimi@yahoo.com

УДК 678.057
DOI: 10.15587/2313-8416.2015.38997

ЧЕРВ'ЯЧНО-ШЕСТЕРЕННИЙ ЕКСТРУДЕР ПРИ ПЕРЕРОБЦІ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ

© Д. А. Степанюк, М. П. Швед, Д. М. Швед

У статті представлено аналіз основних схем екструзійних установок, та наведено основні параметри, які впливають на пульсацію продуктивності в черв'ячному екструдері без шестеренного насосу.
Розглянуті аналіз та експериментальні дослідження продуктивності та її коливання в класичному черв'ячному екструдері та в тому ж екструдері з шестеренним насосом
Ключові слова: *екструдер, шестеренний насос, гомогенізація, дозування, пульсація, полімер, градієнт тиску, черв'як, зазори, формуючий інструмент*

The paper presents the analysis of the main schemes of extrusion plants, and the main parameters that affect the performance pulsation in worm extruder without gear pumps.
It is considered analysis and experimental research of productivity and its fluctuations in the classic worm extruder and in the same extruder with gear pump
Keywords: *extruder, gear pumps, homogenization, dosage, pulsation, polymer, pressure gradient, worm, gaps, shaping tool*

1. Вступ

Зростаючі обсяги виробництва та переробки пластичних мас вимагають від галузі полімерного машинобудування оптимізації процесів та ширшого використання ресурсоенергозберігаючих технологій.

Найбільш поширеною залишається одночерв'ячна екструзія. При цьому одночасно виконуються наступні операції: живлення, стискання, плавлення твердого полімеру, змішування, створення тиску та дозування розплаву. Всі названі процеси тісно пов'язані між собою і виконуються в черв'ячному екстрадері одним робочим органом – черв'яком, що ускладнює оптимізацію процесів [1]. Така конструкція екструдера має суттєвий недолік, так як присутні коливання продуктивності, які призводять до перевитрати сировини і енергії.

2. Постановка проблеми

Метою роботи є визначення, аналіз та експеремнтальні дослідження продуктивності та її коливання в класичному черв'ячному екструдері та в тому ж екструдері з шестеренним насосом.

3. Літературний огляд

Каскадні установки в порівнянні з традиційними черв'ячними екструдерами характеризуються кращими питомими показниками та широкою номенклатурою перероблюваних матеріалів [2].

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 [3]:

– 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 організовувати на проміжній ділянці їх поєднання видалення летких речовин (дегазацію полімеру), що суттєво поліпшує якість одержуваних напівфабрикатів і виробів (зводиться до мінімуму можливість появи у виробах бульбашок, раковин, каверн та інших дефектів) [4, 5].

Проте невирішеною залишається проблема пульсації тиску, які викликані флуктуацією параметрів сировини на вході в екструдер, відносною нестабільністю температури в різних зонах екстра-дера, що призводять до перевитрати сировини.

Вирішенням цієї проблеми може бути встановлення між екструдером і формуючим інструментом дозуючого шестеренного насосу, який має жорстку напірну характеристику, що дозволяє зменшити пульсацію тиску та продуктивності і, тим самим, заощаджувати полімер та енергію на його перероблення.

4. Основна частина – порівняльна характеристика продуктивності черв'ячного екструдера та такого ж екструдера з шестеренним насосом при переробці полімерних матеріалів

В класичному черв’ячному екструдері продуктивність визначається зоною дозування і залежить від її геометричних параметрів, роду матеріалу та опору формуючого інструменту. В цій зоні відбувається гомогенізація та створення тиску, а її об'ємна продуктивність визначається за формулою [6, 7]:

$$Q = \frac{U_z \cdot \omega \cdot h}{2} F_d - \frac{\omega \cdot h^3 \cdot \Delta P}{12 \cdot \eta \cdot L} F_p, \qquad (1)$$

де ω – ширина каналу; h – глибина каналу; η – не ньютонівська в’язкість, яка залежить від швидкості зсуву та температури; ΔP – різниця тисків на вході і виході із зони дозування; L – середня довжина каналу зони; F_d, F_p коефіцієнти які враховують гальмівну дію бокових стінок каналу черв'яка; U_z – швидкість рухомої поверхні відносно нерухомої в плоско паралельній моделі.

Перший член в правій частині рівняння визначає об'ємний видаток розплаву обумовлений вимушеною течією без градієнту тиску уздовж вісі каналу (прямотечія). Другий член – це об'ємний видаток за рахунок течії розплаву під дією градієнта тиску (протитечія), тобто, при відсутності руху між шнеком і циліндром (нульова швидкість шнека).

Таким чином, в рівнянні перший член характеризує величину продуктивності екструдера, а другий член – перемішуючу здатність зони дозування. При збільшенні глибини каналу протитечія зростає швидше чим прямотечія, тому продуктивність знижується, а перемішуюча здатність зони дозування зростає.

З іншого боку протитечія стає більш чутливою до пульсації тиску в кінці зони дозування, що неминуче призводить до пульсації продуктивності. Для того, щоб коливання продуктивності менше залежали від перепадів тиску в формуючому інструменті, більшість шнеків конструюються так, щоб в зоні дозування течія під дією градієнта тиску була від-носно малою при достатній перемішуючій здатності. Профілі швидкостей уздовж вісі каналу для різних значень градієнта тиску представлені на рис. 1 [8].

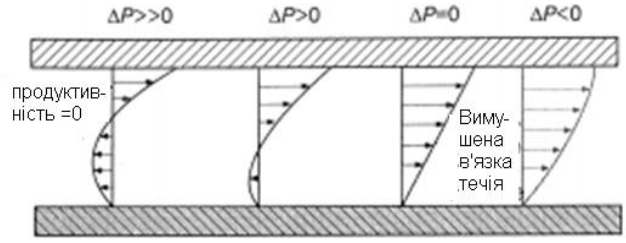

Рис. 1. Профілі швидкостей вздовж осі каналу

Якщо градієнт тиску дорівнює нулю (ΔP=0), то профіль швидкості лінійний і відповідає вимушеній в'язкій течії. Коли перепад тиску негативний (ΔP<0), швидкість протитечії між шнеком і циліндром збільшить швидкість вимушеної течії. Коли перепад тиску позитивний (ΔP>0), в зоні течії розплаву створюється тиск, і сумарна швидкість зменшується, а протитечія збільшується покращуючи перемішування. В випадку якщо градієнт тиску значно більший нуля (ΔP>>0), то продуктивність дорівнює нулю, і полімер циркулює в екструдері, це означає що екструдер має закритий вихід та протитечія дорівнює прямотечії.

Якщо протитечія складає тільки 10 % від загальної продуктивності екструдера, зміна тиску в формуючому інструменті на 50 % призводить тільки до зміни продуктивності на 5 %. Якщо протитечія складає 50 % від загальної продуктивності екстрадера, то зміна тиску в формуючому інструменті на 50 % приведе до зміні продуктивності на 25 % .

Існують три шляхи досягнення відносно низької чутливості роботи екструдера до зміни тиску, а, відповідно, і до зниження пульсації продук-тивності. Перший шлях – це зменшення глибини каналу в зоні дозування шнека, але це призводить до зниження загальної продуктивності. Другий шлях – зменшення градієнта тиску в зоні течії розплаву шляхом створення тиску в більш ранніх зонах екструдера (екструдери з пазовими канавками), але тоді добавляються пульсації, які визвані нестабільністю процесів в зонах завантаження і плавлення. Третій шлях – це встановлення дозуючого шестеренного насосу між екструдером і формуючим інструментом.

Якщо використовується третій спосіб, то шестеренний насос, маючи великий гідравлічний опір і жорстку напірну характеристику, слугує як дроселюючий пристрій, гасячи пульсації тиску, температури і продуктивності на вході в шестеренний насос. З іншого боку він, як об'ємний насос, забезпечує точне дозування розплаву, яке майже не залежить від перепадів тиску в формуючому інструменті. Продук-

тивність такого насосу може бути розрахована за формулою [9]:

$$Q = 2\cdot\pi\cdot в\cdot n\cdot(R_в^2 - R^2 - \frac{t_0^2}{12}) - \\ -(\frac{\Delta P}{12\cdot\eta\cdot L}b\cdot h^3 \pm \frac{U\cdot b\cdot h}{2}), \quad (2)$$

де $в$ – ширина шестерні; $R_в$ – радіус кола виступів шестерні; R – радіус основного кола; t_0 – крок зачеплення зубів по основному колу; n – число обер-тів шестерні, U – швидкість рухомої поверхні; b – ширина зазору; h – висота зазору; ΔP – різниця тисків на вході і виході в шестеренному насосі; L – середня довжина зазору; η – неньютонівська в'яз-кість, яка залежить від температури та швидкості зсуву.

В наведеному виразі перша складова відображає теоретичну продуктивність шестеренного насосу, яка розраховується на основі теорії евольвентного зачеплення, або ж це паспортні дані заводу виробника насоса, друга і третя складові відображають сумарні втрати цієї продуктивності через зазори між рухомими та нерухомими поверхнями шестеренного насосу. Наведені втрати необхідні, так як розплав змащує поверхні тертя в зазорах і повертається на вхід насосу.

Втрати продуктивності за рахунок протитечії в рівнянні (1) і сумарні втрати продуктивності через зазори шестеренного насоса в рівнянні (2) залежать від опору формуючого інструмента та геометричних розмірів каналів червяка і шестеренного насоса.

Приймаючи до уваги, що висота каналу в зоні дозування черв'ячного екструдера складає 3–8 мм, а в шестеренному насосі висота зазорів складає $(30–80)\cdot10^{-3}$ мм, то втрати продуктивності в екструдері з шестеренним насосом будуть в сто разів менші ніж в черв'ячному екструдері без шестеренного насосу.

5. Апробація результатів дослідження

Проведені дослідження на базі класичного черв'ячного екструдера та того ж екструдера з шестеренним насосом [10] показали, що при сталій частоті обертання втрати продуктивності при зміні опору формуючого інструменту від 18 до 23 МПа за одних і тих же умов в класичному екструдері складали 25–30 %, а в тому ж самому екструдері з шестеренним насосом вони складали не більше 5 %, рис. 2.

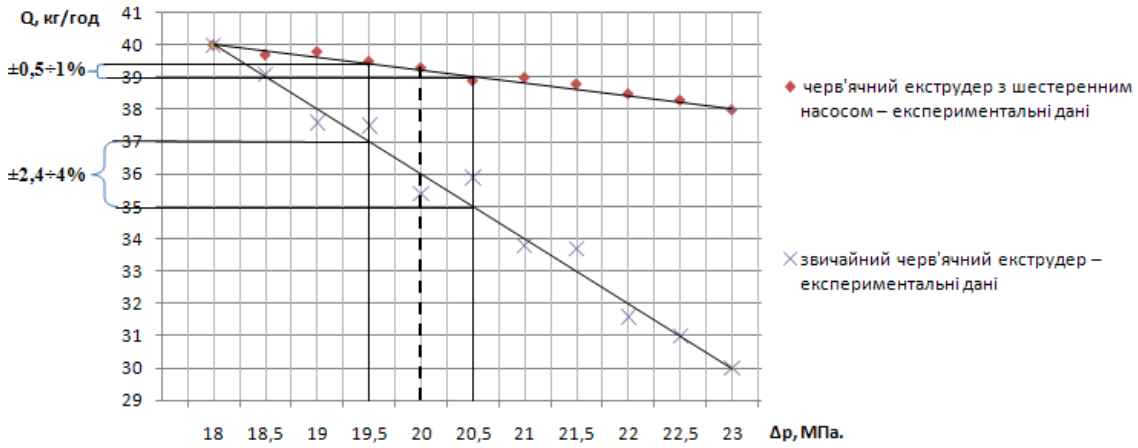

Рис. 2. Залежності продуктивності класичного черв'ячного екструдера та того ж екструдера з шестеренним насосом від опору формуючого інструменту

Якщо прийняти, що номінальний тиск при опорі формуючого інструменту в 20 МПа змінюється на ±0,5 МПа, що є наслідком нестабільності процесів в черв'ячному екструдері чи зміною температури в формуючій головці, то це призводить до того, що коливання продуктивності в класичному черв'ячному екструдері будуть складати ±2,4÷4 %, а в черв'ячному екструдері з шестеренним насосом ±0,5÷1 %.

6. Висновки

Використання шестеренного насоса між черв'ячним екструдером і формуючим інструментом дозволяє практично повністю згладити пульсацію тиску і стабілізувати коливання продуктивності в екструдері, що дозволяє мінімізувати допуски на геометричні розміри виробів і, тим самим, зменшити перевитрати сировини та енергії на екструзію.

Література

1. Раувендааль, К. Экструзия полимеров [Текст] / К. Раувендааль; пер. с англ. А. Я. Малкина. – СПб.: Профессия, 2006. – 768 с.

2. Мак-Келви, Д. М. Переработка полимеров [Текст] / Д. М. Мак-Келви. – М.: Химия, 1965. – 442 с.

3. Tadmor, Z. Engineering Principles of Plasticating Extrusion [Text] / Z. Tadmor, T. Klein // Modern Plastics. – 1970 – Vol. 1, Issue 6. – P. 46–54.

4. Tag name : Высокоскоростная экструзия [Електронний ресурс] / Все о переработке пластмасс. – Режим доступу : http://plastweb.ru/tag/vyisokoskorostnaya-ekstruziya/

5. Collings, S. Plastics Machinery and Equipment [Text] / S. Collings // Nature. – 1982. – Vol. 5, Issue 2. – P. 26–29.

6. Раувендаль, К. Выявление и устранение проблем в экструзии [Текст] / К. Раувендааль; пер. с англ. В. П. Володина – СПб.: Профессия, 2008. – 328 с.

7. Тадмор, З. Теоретические основы переработки полимеров [Текст] / З. Тадмор, К. Гогос. – М.: Химия, 1984. – 632 с.

8. Радченко, Л. Б. Переробка термопластів методом екструзії [Текст] / Л. Б. Радченко. – К. : ІЗМН, 1999. – 220 с.

9. Кузьміна, В. О. Дослідження продуктивності шестеренного насоса в лінії для виробництва рукавної плівки [Текст] / В. О. Кузьміна, Я. М. Корнієнко, М. П. Швед, Д. М. Швед // Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження. – 2012. – № 1.

10. Степанюк, Д. А. Черв'ячно-шестеренний екструдер при переробці полімерних матеріалів [Текст] / Д. А. Степанюк, М. П. Швед, Д. М. Швед // Одеська національна академія харчових технологій. – 2014. – Т. 3, № 45. – С. 173–175.

References

1. Rauvendaal, K. (2006). Extrusion of polymers. St. Petersburg, Profession, 768.

2. McKelvie, D. M. (1965). Plastics Processing. Moscow, Chimie, 442.

3. Tadmor, Z., Klein, T. (1970). Engineering Principles of Plasticating Extrusion. Modern Plastics., 6, 46–54

4. Tag name : High-speed extrusion State All about processing of plastics. Available at: http://plastweb.ru/tag/vyisokoskorostnaya-ekstruziya/

5. Collings, S. (1982). Plastics Machinery and Equipment. Nature, 2, 26–29.

6. Rauwendaal, C., M. (2008). Troubleshooting the Extrusion Process. St. Petersburg, Profession, 328.

7. Tadmor, Z., Gogos, K. (1984). Theoretical foundations of extrusion polymers. Moscow, Chimie, 632.

8. Radchenko, L. B. (1999). Processing of Thermoplastics by Extrusion. Kiev, IZMN, 220.

9. V. Kuzmin, Y., Kornienko, M., Swede, D. (2012). Swede of Research of the productivity of cog-wheel pump is in a line for the production of sleeve tape. Chemical engineering, ecology and ресурсозбереження producing, 1.

10. Swede, M., Swede, D., Stepaniuc, D. Worm-cog-wheel extruder at processing of polymeric materials. Odesa national academy of food technologies, producing, 3 (45), 173–175.

Рекомендовано до публікації д-р техн. наук, професор Пєтухов А. Д.
Дата надходження рукопису 19.02.2015

Степанюк Дарина Андріївна, кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056
E-mail: dashka159@gmail.com
Швед Микола Петрович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056
E-mail: NPchved46@mail.ru
Швед Дмитро Миколайович, провідний інженер, кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», пр. Перемоги, 37, м. Київ, Україна, 03056

УДК 66.083
DOI: 10.15587/2313-8416.2015.38851

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ В БЛОЧНОМУ ТЕПЛООБМІННИКУ

© Я. Г. Двойнос, М. І. Хотинецький

Метою дослідження є створення науково обґрунтованої методики інженерного розрахунку теплової потужності блочного теплообмінника в залежності від енерговитрат на перекачування теплоносіїв, що дозволить виконати економічно обґрунтований проектний розрахунок. Коректність методики перевірено на експериментальній дослідній установці
Ключові слова: *гідродинаміка, теплопередача, блочний теплообмінник, гідравлічний опір,теплова потужность, місцеві опори*

The purpose of the research is to create a science-based method of engineering calculation of thermal power block heat exchanger according to the energy consumption for pumping fluids, which will perform economically feasible design calculation. The correctness of method tested in an experimental pilot plant
Keywords: *hydrodynamics, heat transfer, heat exchanger block, hydraulic resistance, thermal power, local resistance*

1. Вступ

Типи, розміри та поверхня теплообміну блочних теплообмінників обирають з нормалі виробника (наприклад фірми GBH Enterprises [1]), таким чином геометричні розміри та фізичні властивості матеріалу блоку стандартизовані виробником і інженерна задача полягає у визначенні типу та кількості таких блоків, схеми підключення, типу та потужності насосного обладнання. Інтенсифікація процесу теплообміну у блочному теплообміннику лімітується термічним опором матеріалу блоку(G. Schou and other [2]), тому досягнення турбулентного режиму у каналах блочно-