

1 – черв'ячний екструдер, 2 – черв'ячний екструдер із шестеренним насосом,  
3 – каскадний дисково-черв'ячний екструдер,  
4 – каскадний дисково-шестеренний екструдер

**Рис. 2 – Залежність продуктивності від тиску за сталої частоти обертання робочих органів екструдерів**

термопластов на каскадних екструдерах [Текст] : дис. ... канд. техн. наук 05.17.08 / Швед Николай Петрович. – К., 1983. – 167 с.

*This article is about accuracy of dosing, changes of pressure and temperature in the extrusion of polymers on different types of extruders: screw, screw using a dosing gear pump, cascade disk-screw, cascade disk-gear.*

**Keywords:** extrusion, gear pump, dosing.

Надійшла до редакції 14.02.2012

УДК 678.027.3

**ВОЙЦЕХОВСЬКА Є. М., магістрант; РУДАКОВА В. А., магістрант;  
ШВЕД Д. М., к.т.н., доц.; ЛУКАШОВА В. В., к.т.н., доц.**

**Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»**

## **ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРІЇ ЦІЛИНИ ФОРМУВАЛЬНОЇ ГОЛОВКИ В ЕКСТРУЗІЇ ПІНОПОЛІМЕРІВ**

*Під час одержання спінених полімерів, форма й розміри вихідної цілини формувальної головки суттєво відрізняються від профілю готового виробу. Для визначення конфігурації цілини запропоновано новий підхід, що базується на поступовому змінні конфігурації перерізу: від вихідного отвору до круглого, що відповідає «ідеальному» спінюванню. Подано результати визначення конфігурації формувальних отворів для виготовлення профілів прямокутного й трикутного перерізу.*

**Ключові слова:** спінювання, формувальна головка, спінювальний агент.

### **Постановка проблеми**

Якість екструдованих виробів значною мірою залежить від профілю отвору формувальної головки: поперечний переріз каналу головки на виході повинен мати таку форму, щоб одержаний виріб мав вказані розміри після розбухання екструдату, що відбувається після виходу матеріалу з головки, коли перестав діяти обмежувачий вплив стінок каналу [1].

Дослідженню зміни профілю екструдату після виходу з формувальної головки присвячено багато праць, більшість з яких спрямовано на визначення форми вихідного отвору формувального пристрою та дослідженню розбухання екструдату під час перероблення монолітних полімерів.

© Войцеховська Є. М., Рудакова В. А., Швед Д. М., Лукашова В. В., 2012

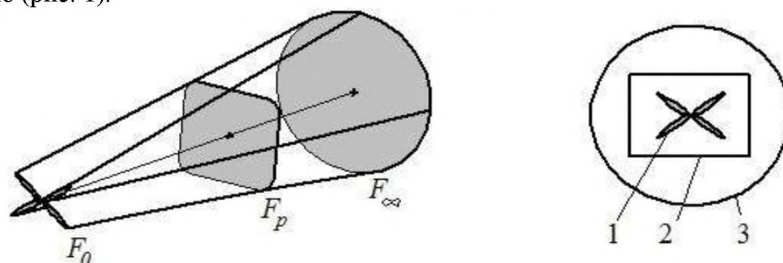
В одержані спінених полімерів, форма й розміри вихідної щілини формувальної головки суттєво відрізняються від профілю готового виробу й залежать від ступеня спінювання  $\beta$ , що в свою чергу визначається природою спінювального агенту, його концентрацією, тиском і температурою у формувальній головці тощо. Якщо визначити геометрію круглого й трубного перерізів нескладно, то для інших профілів, ця задача вимагає професіоналізму проектувальника [2].

Існуючі моделі визначення форми вихідної щілини спрямовані, як правило, на пошук деформування монолітного полімерного виробу внаслідок розбухання екструдату та не придатні для визначення геометрії за умови значної зміни форми профілю внаслідок спінювання. Тому проблема визначення конфігурації й розмірів форми вихідної щілини формувальної головки під час екструзійного перероблення спінених полімерів є актуальною.

**Метою** статті є вирішення проблеми визначення конфігурації вихідної щілини формувальної головки під час екструзійного перероблення спінених полімерів.

#### Викладення основного матеріалу

Для розв'язання вказаної задачі запропоновано новий підхід, що базується на поступовому змінненні конфігурації перерізу: від вихідного отвору площею  $F_0$  до круглого площею  $F_\infty$ , що відповідає «ідеальному» спінюванню (рис. 1).



1 – профіль щілини головки; 2 – заданий профіль виробу; 3 – профіль «ідеального» спінювання

**Рис. 1 – Зміна профілю виробу під час спінювання**

«Ідеальне» спінювання передбачає, що процес не обмежено міцністю плівки й поверхневим натягом розплаву. Отже, під час спінювання погонажних виробів будь-якої початкової конфігурації перерізу, остаточний переріз за ідеальних умов має набувати форми кола з максимально можливою за цих умов площею  $F_\infty$ . Переріз виробу, що утвориться після спінювання, буде мати площу  $F_p$ , що відповідає реальному ступеню спінювання. При цьому припускаємо, що спінювання відбуватиметься рівномірно від центру мас розглянутого перерізу.

Ступінь спінювання за реальних умов [3]:

$$\beta_l = \left[ \frac{22,4\rho}{M} \frac{p}{p_f} \left( 1 + \frac{t}{273} \right) \right]^{\frac{1}{3}}, \quad (1)$$

де  $\rho$  – густина спінювального агенту в рідкому стані,  $\text{кг/м}^3$ ;  $M$  – молекулярна маса спінювального агенту;  $t$  – температура, за якої відбувається випаровування рідини,  $^\circ\text{C}$ ;  $p$  – атмосферний тиск, Па;  $p_f$  – тиск спінювального агенту в замкненій комірці під час формування, Па [4]:

$$p_f = p_0 + 2\sigma_{\text{гж}}/r,$$

$p_0$  – тиск розплаву, Па;  $\sigma_{\text{гж}}$  – поверхневий натяг на межі газ – розплав, Н/м;  $r$  – радіус бульбашки комірчастої структури.

Проте визначити поверхневий натяг  $\sigma_{\text{гж}}$  досить складно, тому, щоб визначити  $p_f$ , використано підхід, запропонований у праці [5], де тиск у комірці визначали з умови міцності сферичної бульбашки  $p_f < 2S[\sigma]/r$ , де  $S$  – товщина комірки, м;  $r$  – радіус комірки, м;  $[\sigma]$  – міцність на розрив, Па.

За ідеальних умов  $p_f = p$ . Тоді

$$\beta_\infty = \left[ \frac{22,4\rho}{M} \left( 1 + \frac{t}{273} \right) \right]^{\frac{1}{3}}. \quad (2)$$

Площа перерізу за ідеальних умов (коло):

$$F_{\infty} = \beta_{\infty}^2 F_0 = \left[ \frac{22,4\rho}{M} \left( 1 + \frac{t}{273} \right) \right]^{\frac{2}{3}} F_0, \quad (3)$$

за реальних умов:

$$F_p = \left[ \frac{22,4\rho}{M} \frac{p}{p_f} \left( 1 + \frac{t}{273} \right) \right]^{\frac{2}{3}} F_0, \quad (4)$$

де  $F_0$  – площа перерізу вихідної щілини, м<sup>2</sup>.

Обчислено коефіцієнти зміни геометричних параметрів спінених виробів із використанням промислових спінювальних агентів за температури 20 °С (табл. 1).

Таблиця 1 – Коефіцієнти зміни геометричних параметрів під час спінювання

Спінювальні агенти	Коефіцієнт спінювання $\beta_1$	Коефіцієнт зміни площі перерізу	
		$\beta_2$	$\beta_{\infty}^2$
Хладон 22	4,79	22,94	47,92
Бутан	4,28	18,31	38,27
Ізобутан	4,41	14,74	37,21
Пропан	4,52	20,43	42,57
Ізопентан	4,11	16,89	35,15
Хладон 11	4,87	23,71	49,39

Таким чином, можна розв'язати пряму задачу: визначити профіль перерізу, що буде утворено за певної геометрії щілини. Запропоновано таку методику: за заданим профілем щілини визначають площу  $F_0$  (коли переріз задано растровим зображенням визначають кількість пікселів); визначають центр мас фігури (у разі програмної реалізації поверхневу густину, тобто масу одиниці площі поверхні, вважають сталою для всіх частин фігури); визначають діаметр кола, що відповідає «ідеальному» спінюванню:

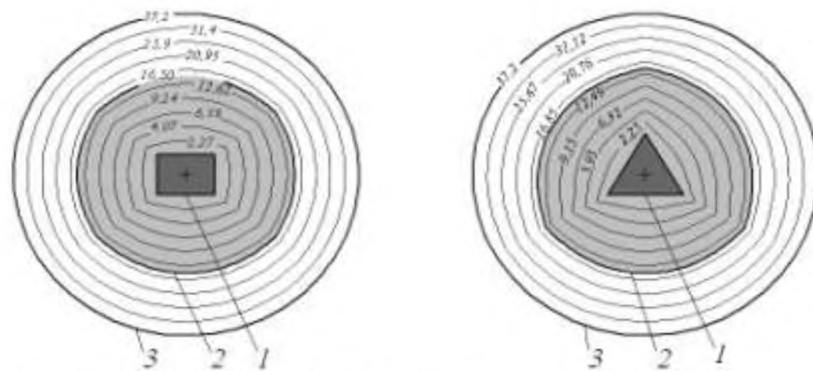
$$D_{\infty} = \sqrt{\frac{4F_{\infty}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4}{\pi} \left[ \frac{22,4\rho}{M} \left( 1 + \frac{t}{273} \right) \right]^{\frac{1}{3}} F_0}; \quad (5)$$

Щоб знайти переріз виробу, слід дослідити змінення конфігурації від вихідного перерізу до кола діаметром  $D_{\infty}$ , розбивши цей процес на  $n$  кроків за моделлю пропорційного розподілу (центри мас фігур суміщено). Цей підхід можна проілюструвати так: відстані між контуром перерізу щілини й кола  $D_{\infty}$  розбито на  $n$  відрізків; поєднання відрізків певного порядку дозволить прослідкувати змінення конфігурації (промені, за якими заміряно відстані, виходять із центра мас фігур). Конфігурація перерізу площею  $F_p$ , що утвориться після спінювання, відповідатиме тому з обчислених профілів, у якого площа збігатиметься з обчисленою. У програмній реалізації використовують послідовні наближення: якщо розрахована площа обчислюваного перерізу стає більшою, ніж кінцева, але не відповідає збігові із заданою точністю,  $n$  зменшують, а розрахунок повторюють із попереднього кроку.

Задачу можна розв'язати для перерізів опуклої форми без отворів. Як приклад, одержано коефіцієнти зміни площі  $\beta_2$  для прямокутного й трикутного перерізів формувального отвору під час спінювання полістиролу ізобутаном (рис. 2). Експериментальне моделювання змінення форми виробу під час спінювання за стаціонарних умов та обмеженого об'єму виробу свідчить, що запропонований підхід можна використовувати для інженерних розрахунків (рис. 3).

Для практичних цілей актуальнішою є зворотна задача: визначення геометрії вихідної щілини за заданим профілем. Геометрію можна визначати багатоваріантними розрахунками, але такий підхід є занадто громіздким.

Доцільніше розв'язувати зворотну задачу так: за заданим профілем виробу визначають площу  $F_p$ ; визначають центр мас фігури; з урахуванням умов спінювання за рівняннями (1) і (2) визначають коефіцієнти  $\beta_1$ ,  $\beta_{\infty}$ ; за рівнянням (4) визначають площу щілини  $F_0$ ; за рівнянням (5) визначають діаметр кола  $D_{\infty}$ ; досліджують профілі, що утворюються пропорційним збільшенням відстаней між колом діаметром  $D_{\infty}$  і контуром перерізу виробу. При цьому відстані збільшують від контуру кола в напрямку центра фігури. Шуканим перерізом щілини буде той, в якого площа відповідатиме площі  $F_0$  із заданою точністю.



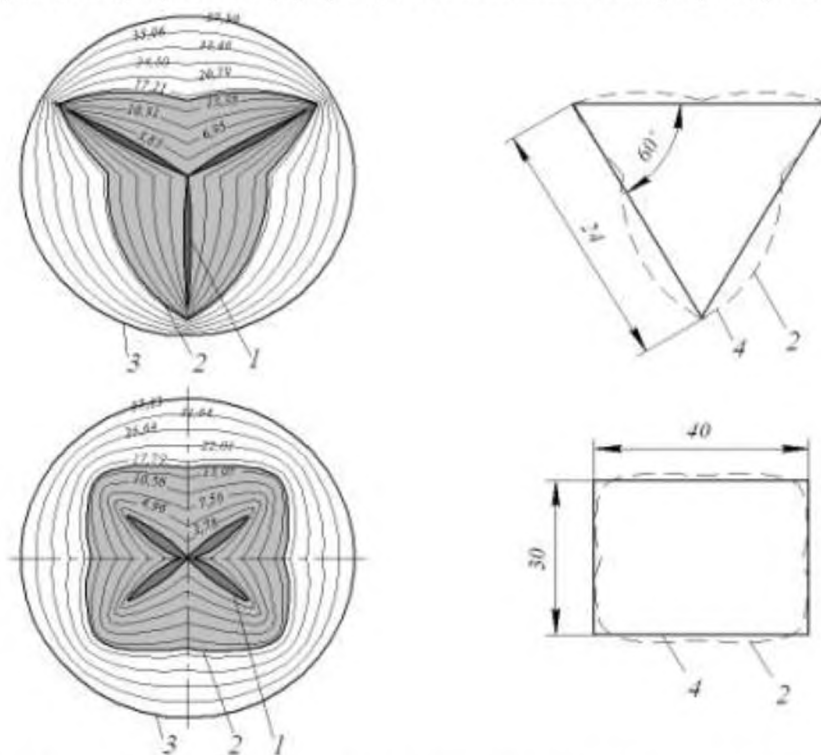
1 – профіль формувального отвору; 2 – профіль піненого виробу; 3 – профіль за «ідеального» спінювання

Рис. 2 – Визначення профілю піненого виробу



Рис. 3 – Моделювання змінення форми виробу під час спінювання

За наведеною методикою визначено конфігурації формувальних отворів для виготовлення пінистих профілів прямокутного й трикутного перерізу під час спінювання полістиролу ізобутаном (рис. 4).



1 – профіль формувального отвору; 2 – перерахований профіль піненого виробу;  
3 – профіль за «ідеального» спінювання; 4 – заданий профіль піненого виробу

Рис. 4 – Визначення формувальних отворів для піненого виробу

#### Висновки

Пропонований підхід дозволяє з достатньою точністю визначати конфігурацію вихідного отвору формувального пристрою за заданим профілем погонажних пінополімерних виробів.

#### Список використаної літератури

1. Микаэли, В. Экструзионные головки для пластмасс и резины: Конструкции и технические расчеты [Текст] / В. Микаэли ; пер. с англ. – СПб. : Профессия, 2007. – 472 с.
2. Петухов, А. Д. Експериментальне дослідження виготовлення спінених полімерів методом екструзії [Текст] / А. Д. Петухов, Т. М. Новицька, Л. П. Гоженко, В. В. Лукашова // IV міжнар. наук.-техн. конф. «Композиційні матеріали» (Київ, 2009) : зб. матер. – К. : НТУУ «КПІ», 2009. – С. 94-98.
3. Энциклопедия полимеров [Текст] / под ред. В. А. Каргина. – М. : Сов. энцикл., 1977. – Т. 1. – 1224 с.
4. Ефремов, В. А. Пенообразование при производстве упаковочных материалов [Текст] / В. А. Ефремов, П. А. Кузнецов, О. Л. Мороз, В. И. Дудинский // Упаковка. – 2005. – № 4. – С. 6-9.
5. Лукашова, В. В. Экструзия пінополімерів [Текст] : монографія / В. В. Лукашова, І. О. Мікульонок, Л. Б. Радченко. – К. : НТУУ «КПІ», 2011. – 222 с.

*When you receive a foamed polymer, shape and geometric dimensions of the exit slit of the forming head differ significantly from the profile shape of the finished product. To determine the configuration of the output gap proposed a new approach, which is based on the idea of a gradual change in the configuration section, from section of the outlet to a circular cross section, which corresponds to the condition of the "ideal" foaming. There were the results of determining the configuration of forming holes for the manufacture of foamed profiles of rectangular and triangular cross-section.*

**Keywords:** foaming head shape, foaming agent.

Надійшла до редакції 15.01.2012

---

УДК 66.047.541

**МАРЧЕВСЬКИЙ В. М., к.т.н., проф.; УЛІТЬКО Р. М., асп.; ГАЛСТЯН А. С., магістрант**  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

## ДЕГІДРАТАЦІЯ КРИСТАЛІЧНОГО БІШОФІТУ

*Експериментально визначено залежність ступеня дегідратації кристалогідратів бішофіту від часу та енергії активації.*

**Ключові слова:** бішофіт, кристалогідрат, дегідратація.

#### Постановка проблеми

Під час сушіння бішофіту за певних температур його кристали втрачають кристалізаційну воду, що зменшує якість і вихід висушеного продукту та, відповідно, прибуток виробника, тому дослідження кінетики дегідратації з метою зменшення втрат під час сушіння, є актуальним.

Для зневоднення бішофіту рекомендовано використовувати апарати киплячого шару [1]. У них одержують продукт із 18...20 % води, що відповідає півтораводному кристалогідрату. За температур 90...95 °С бішофіт зневоднювали до чотириводного, 125...130 °С – двоводного, 160...165 °С – одноводного кристалогідрату [2].

**Метою** статті є знаходження кінетичних закономірностей процесу та його технологічних параметрів, що забезпечать підвищення якості й збільшення виходу продукту після сушіння.

#### Виклад основного матеріалу

Процес дегідратації кристалогідратів бішофіту  $MgCl_2 \times 6H_2O$  супроводжується значною втратою кристалізаційної води, тому кінетичні закономірності вивчали гравіметричним методом, що дозволяє неперервно вимірювати втрату маси зразка, одночасно обробляючи дані на ПК.

© Марчевський В. М., Улітько Р. М., Галстян А. С., 2012