

5. Течение полиэтилена высокой плотности в прямоугольных каналах. / Рябинин Д.Д. // Сб. "Химическое машиностроение". – 1976. – вып. 24. – С. 33 – 37.
6. Про реологічний аспект використання поняття гідравлічного радіуса. / Рябинин Д.Д. Мотін А.М. // Вестник Национального технического университета Украины "Киевский политехнический институт". – 2001. – № 41. – С. 55 – 59.

*Наводяться результати експерименту, проведеного на розплаві поліетилену високої густини в циліндричних каналах некруглої форми, мета якого полягала у визначенні впливу пристінних ефектів матеріалу на величину гідравлічного радіуса*

*Ключові слова: поліетилен, пристінний ефект, гідравлічний радіус*

*Приводятся результаты эксперимента, проведенного на расплаве полиэтилена высокой плотности в цилиндрических каналах некруглой формы, цель которого заключалась в определении влияния пристенных эффектов материала на величину гидравлического радиуса*

*Ключевые слова: полиэтилен, пристенный эффект, гидравлический радиус*

*Experiment results shown obtained from the flux of high density polyethylene in cylindrical non-round tubes, that object was – to find out wall's effects of material on hydraulic radius influences*

*Key words: polyethylene, out wall's effect, hydraulic radius*

УДК 678.057

# ВПЛИВ РЕОЛОГІЧНОЇ ПОВЕДІНКИ ПОЛІЕТИЛЕНУ НА ВЕЛИЧИНУ ГІДРАВЛІЧНОГО РАДІУСУ

**В.І. Сівецький**

Кандидат технічних наук, професор\*  
Контактний тел.: (044) 454-92-77, 050-440-98-95

**Д.Д. Рябинін**

Кандидат технічних наук, доцент  
Кафедра прикладної гідроаеромеханіки і механотроніки\*\*  
Контактний тел.: 096-440-22-32

**О.Л. Сокольський**

Кандидат технічних наук, доцент\*  
\*Кафедра хімічного, полімерного та силікатного машинобудування\*\*  
Контактний тел.: (044) 454-92-77, 066-218-64-76  
E-mail: sokolkiev@ukr.net

**О.О. Гордієнко\*\***

Контактний тел.: 099-791-97-86  
E-mail: Gordienko-s@yandex.ru

\*\*Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут”  
проспект Перемоги 37, корпус 19, м. Київ, 03056

## 1. Вступ

В наш час поліетилену широко використовуються в промисловості, як матеріали, що мають більш доцільне економічне використання, порівняно з матеріалами, що використовувались раніше. Внаслідок чого постає необхідність розрахунку параметрів технологічного процесу і обладнання, що здійснює виробництво продукції. При розрахунках найбільш суттєві помилки

виникають внаслідок відсутності врахування пристінних ефектів, які мають місце при течії поліетилену високої густини.

## 2. Постановка завдання

На реологічні характеристики поліетиленів впливав молекулярна маса полімеру, характер молеку-

лярно-масового розподілу, ступінь розгалуженості. Тому поліетилен високої густини марки П-4001-П із середньочисловою молекулярною масою 310000 являє собою складний об'єкт дослідження, тому що відомо, що із зростанням молекулярної маси лінійного поліетилену його течія на визначених режимах деформування супроводжується не тільки пристінними аномаліями, але і накопиченням по мірі розвитку течії високоеластичних деформацій [1, 2, 5]. При досягненні критичних режимів деформування лінійний полімер переходить із текучого до високоеластичного стану.

Для аналізу впливу реологічної поведінки поліетилену на величину гідравлічного радіусу була розглянута реологічна поведінка поліетилену на докритичних режимах деформування. Для наочного відображення наявності пристінних ефектів в розплавах поліетиленів високої густини були побудовані криві течії для каналів некруглої форми. Використання таких каналів включає в себе такі випадки, як течія матеріалу в щільних каналах та в різноманітних каналах прямокутного перерізу, включаючи і такі, що мають форму квадратів. Розміри каналів та значення гідравлічних радіусів вказані в табл. 1. Для аналітичної оцінки опору течії розплавів поліетилену в каналах прямокутного перерізу скористаємось поняттям гідравлічного радіусу [3, 4]. Експерименти проводили по вивченню залежності витрати розплаву від перепаду тиску по довжині каналу на установці, яка призначена для візкозиметричних досліджень та досліджень профілів швидкостей розплавів полімерів [6], за умов ізотермічного процесу.

**Таблиця 1**

**Геометричні параметри та гідравлічні радіуси**

Умовне позначення каналу	2 x 32	4 x 32	8 x 32	16 x 32	32 x 32
Висота H, мм	2	3,95	8,1	15,83	31,83
Ширина B, мм	32,3	32,05	32	31,99	32,1
Величина B / H	16,15	8,114	3,951	0,021	1,01
R <sub>Г</sub> , м·102	0,0942	0,176	0,323	0,53	0,799

Маючи дані візкозиметричних досліджень та розрахункові дані гідравлічного радіусу, визначали середнє за значенням напруження тертя, або, інакше, напруження зсуву на стінці каналу:

$$\tau_r = \frac{\Delta P \cdot R_{\Gamma}}{L},$$

де ΔP – перепад тиску на ділянці труби довжиною L, а гідравлічний радіус R<sub>Г</sub> дорівнює відношенню площі нормального перерізу S каналу до змоченого периметру χ:

$$R_{\Gamma} = \frac{S}{\chi}.$$

При цьому величина ефективного градієнту швидкості, що відкладається по осі абсцис обчислюється за наступною формулою:

$$\Gamma_R = \frac{Q}{2\pi R_{\Gamma}^2},$$

де Q – об'ємні витрати.

Згідно отриманих даних усереднення значень напружень зсуву на стінці каналу і величини ефективного градієнту швидкості течії поліетилену в каналах прямокутних перерізів будували консистентні криві течії.

Якщо отримані криві згідно вище описаного методу будуть накладатись одна на одну, то це свідчить про те, що при течії розплав поліетилену не проявляє пристінних ефектів будь-якого роду.

Експеримент по вивченню течії поліетилену високої густини марки П-4001-П було проведено за температур 170°C та 210°C. Для візкозиметричного дослідження були використані канали некруглого перерізу.

Криві течії розплаву поліетилену для температур 170°C та 210°C, які побудовані в подвійних логарифмічних координатах, не є інваріантними відносно гідравлічних радіусів. Тобто використання гідравлічного радіусу не дає змоги отримати для каналів прямокутної форми величини напружень і градієнтів швидкості, які забезпечили б інваріантність консистентних кривих течії відносно геометричних розмірів каналів, що свідчить про те, що напруження тертя не є однозначною функцією градієнта швидкості. Розв'язання цієї задачі запропоновано у роботі [7] і полягає у визначенні геометричного параметру каналу, який би також залежав і від реологічних характеристик полімеру. Таким параметром може бути радіус каналу R<sub>R</sub>, який умовно можна назвати реологічним.

Реологічний радіус R<sub>Rix32</sub> для і-го каналу можна визначити із рівняння:

$$R_{Rix32} = R_{\Gamma ix32} \sqrt[3n]{\frac{\tau_x}{\tau_{R_{\Gamma ix32}}}},$$

де R<sub>Гix32</sub> – гідравлічний радіус і-го каналу; n =  $\frac{d \ln \tau_{R_{ix32}}}{d \ln \Gamma_{R_{ix32}}}$  – тангенс кута нахилу логарифмічних кривих напруження зсуву на стінці каналу від ефективного градієнту швидкості; τ<sub>x</sub> – напруження зсуву, яке відповідає Γ<sub>Rix32</sub> на кривій течії каналу 2x32; τ<sub>Rix32</sub> – напруження зсуву і-го каналу.

**3. Реалізація завдання та аналіз результатів**

Розглянемо відхилення отриманих з використанням гідравлічного радіусу консистентних кривих течії від кривої течії у каналі 2 x 32 мм, яка є еталонною візкозиметричною кривою течії у плоскій щіліні. Значення відносної похибки розташування консистентних кривих течії за напруженнями зсуву на стінці каналу при сталих значеннях ефективного градієнту швидкості для каналів 4 x 32, 8 x 32, 16 x 32 і 32 x 32 мм при температурі 210°C наведені в табл. 2, а похибки за ефективним градієнтом швидкості для тих же умов – в табл. 3.

**Таблиця 2**

Значення відносної похибки розташування консистентних кривих течії за напруженнями зсуву, %

Розміри каналів, мм	Ефективний градієнт швидкості, 1/с					
	10	20	50	100	200	300
4 x 32	27,9	28,6	29,1	31,1	33,3	32,8
8 x 32		71,5	76,4	76,8	85,7	-
16 x 32	105,9	109,9	117,3	-	-	-
32 x 32	117,65	-		-	-	-

**Таблиця 3**

Значення відносної похибки розташування консистентних кривих течії за ефективного градієнту швидкості, %

Розміри каналів, мм	Напруження зсуву на стінці каналу, Н/м <sup>2</sup>							
	350	400	500	700	900	1100	1400	1600
4 x 32	44	42,86	49,06	50,76	50,76	50	52,87	54,33
8 x 32		72,14	73,59	77,27	77,69	76,91	79,31	80,32
16 x 32	84,5	83,93	84,91	84,85	86,15	86,19	87,62	-
32 x 32	83	83,21	84,91	88,46	88,46	-	-	-

В табл. 4 проведено порівняння гідравлічних радіусів  $R_{Г\text{х}32}$  і реологічних радіусів  $R_{\text{Рх}32}$  для прямокутних каналів.

**Таблиця 4**

Геометричні і реологічні параметри течії поліетилену високої густини марки П-4001-П у прямокутних каналах за температури 210°C

Розміри каналів, мм	Гідравлічний радіус $R_{Г\text{х}32}$ , м·10 <sup>2</sup>	$\tau_{\text{Рх}32}$ , Н/м <sup>2</sup> ·10 <sup>-4</sup>	$\tau_{\text{Х}}$ , Н/м <sup>2</sup> ·10 <sup>-4</sup>	Величина $n$	Реологічний радіус $R_{\text{Рх}32}$ , м·10 <sup>2</sup>
1	2	3	4	5	6
4 x 32	0,176	4,4	3,5	0,364	0,1428
	0,176	6,4	4,8	0,364	0,1352
	0,176	7,9	6,05	0,364	0,1379
	0,176	11	8,4	0,364	0,1375
	0,176	13	9,9	0,364	0,1372
	0,176	14,5	11	0,364	0,1367
	0,176	17	12,7	0,364	0,1347
8 x 32	0,323	5,9	3,5	0,364	0,2001
	0,323	8,3	4,8	0,364	0,1955
	0,323	10,07	6,05	0,364	0,2026
	0,323	15	8,4	0,364	0,1899
	0,323	20	11	0,364	0,1868
16 x 32	0,53	7	3,5	0,364	0,2809
	0,53	10	4,8	0,364	0,2706
	0,53	13	6,05	0,364	0,2628
32 x 32	0,799	7,6	3,5	0,364	0,393
	0,799	9,4	4,2	0,364	0,3822

Із табл. 4 випливає, що для кожного типорозміру прямокутного каналу гідравлічний радіус перевищує реологічний радіус.

**Висновки**

Для каналів малих поперечних перерізів неінваріантність консистентних кривих течії відносно гідравлічного радіусу каналу виявляється найбільш виразно. Консистентні криві течії для каналів великих поперечних перерізів суттєво зближуються і перетинаються.

Для кожного типорозміру прямокутного каналу гідравлічний радіус перевищує реологічний радіус і зі збільшенням типорозміру каналу ця відмінність значно зростає.

Напрямок подальших досліджень може бути розповсюдження розрахунків на різні типи полімерів і умови течії.

### Література

1. Влияние размеров формирующего канала на характер процесса течения линейного полиэтилена / Д.Д.Рябинин, Ю.В.Лотоцкий, Ю.А.Жданов. // Сб."Химическое машиностроение". – 1977. – вып. 26. – С. 16 – 19.
2. Влияние формы прямоугольного канала на параметры процесса течения полиэтилена высокой плотности / Д.Д.Рябинин, Ю.В.Лотоцкий, Ю.А.Жданов. // Сб."Химическое машиностроение". – 1977. – вып. 26. – с. 13 – 15.
3. Емцев Б.Т. Техническая гидромеханика: Учебник для вузов по специальности "Гидравлические машины и средства автоматизации" – М.: Машиностроение, 1978. – 463 с.
4. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. – 6-е изд. – М.: Наука, Гл. ред. физмат. лит., 1988. – 840 с.
5. О реологическом поведении полиэтилена высокой плотности / Ю.А.Жданов, Д.Д.Рябинин, Ю.В.Лотоцкий. // Химическая технология. – 1977. – № 5. – С.31 – 34..
6. Рябинин Д.Д. Исследование течения расплавов полимеров в формирующих каналах плоскощелевых экструзионных головок. Автореф. дис... канд. техн. наук. – Днепропетровск, 1974. – 30 с.
7. Про реологічний аспект використання поняття гідравлічного радіуса. / Рябінін Д.Д., Мотін А.М. // Вестник Национального технического университета Украины "Киевский политехнический институт". – 2001. – № 41. – С. 55 – 59.