

*В статті пропонується метод приведення кривих течій полімерів, неінваріантних відносно гідравлічного радіусу каналу, до інваріантного виду, в особливості, для можливості використання віскозиметричних даних при розрахунку некруглих каналів*

*Ключові слова: поліетилен низької густини, гідравлічний радіус, канали некруглої форми*

*В статье предлагается метод приведения кривых течения полимеров, неинвариантных относительно гидравлического радиуса канала, к инвариантному виду, в частности, для возможности использования вискозиметрических данных при расчетах некруглых каналов*

*Ключевые слова: полиэтилен низкой плотности, гидравлический радиус, каналы некруглой формы*

*In article the method of the curves current polymers reduction, not invariant concerning hydraulic radius of the channel, to an invariant kind, in particular, for use possibility the viscosimetry data is offered at calculations of not round channels*

*Key words: polyethylene low density, hydraulic radius, nonround-form channels*

# ПОШУК КРИВОЇ ТЕЧІЇ ДЛЯ ПОЛІЕТИЛЕНУ НИЗЬКОЇ ГУСТИНИ ДЛЯ ПРЯМОКУТНОГО КАНАЛУ

**В.І. Сівецький**

Кандидат технічних наук, професор\*

Контактний тел.: (044) 454-92-77, 050-440-98-95

**Д.Д. Рябінін**

Кандидат технічних наук, доцент\*\*

Контактний тел.: 096-440-22-32

**О.Л. Сокольський**

Кандидат технічних наук, доцент\*

\*Кафедра хімічного, полімерного та силікатного машинобудування\*\*\*

Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут”

Контактний тел.: (044) 454-92-77, 066-218-64-76

E-mail: sokolkiev@ukr.net

**С.А. Кривко**

Аспірант\*\*

\*\*Кафедра прикладної гідроаеромеханіки і механотроніки\*\*\*

Контактний тел.: 093-346-37-22

E-mail: kryvkosergii@gmail.com

**М.С. Франкова\*\*\***

Контактний тел.: 098-786-38-45

\*\*\*Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут”

пр. Перемоги, 37, корпус 19, м. Київ, 03056

## 1. Вступ

В наш час поліетилену займають одне з лідируючих місць за обсягами виготовленої хімічною промисловістю полімерної продукції, тому постає питання проектування високоефективного обладнання, що могло б задовольняти потреби як промислових так і домашніх господарств.

Значна увага при проектуванні приділяється розрахунку параметрів потоку розплаву в каналах некру-

глої форми, що можуть бути зведені до каналів круглої форми.

Використання гідравлічного радіусу при розрахунку каналів як способу переходу від каналів прямокутного поперечного перерізу до круглих каналів при течії розплавів полімерів приводить до кривих течій, які неінваріантні відносно гідравлічного радіусу каналу [3]. Для пошуку кривих течій розплаву полімеру, які неінваріантні відносно гідравлічного радіусу каналу, запропоновано використовувати поряд з гідравлічним

радіусом реологічну змінну, яку умовно називають реологічним радіусом і яка залежить від реологічних властивостей неньютонівських рідин [2]. Розрахунок прямокутних каналів при течії розплавів полімерів являє значний практичний інтерес у зв'язку із розповсюдженням таких каналів у обладнанні для виготовлення виробів із полімерів та інших процесах хімічної технології [3].

**2. Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Для випадків течії розплавів полімерів в круглих і плоскощільних каналах в роботі [1] запропонований метод визначення швидкості ковзання і істинної кривої течії полімерів за неінваріантними реологічними характеристиками. Цей метод дозволяє визначити залежність швидкості ковзання на стінках круглого і плоскощільного каналів від напруження зсуву і істинну криву течії за неінваріантними відносно поперечних розмірів каналів залежностями ефективного градієнту швидкості від напруження зсуву, які були отримані звичайними методами, що дозволяє урахувувати специфічні властивості матеріалу типу композицій на основі ПВХ.

Для каналів з прямокутним поперечним перерізом в роботі [3] встановлено неінваріантність кривих течії розплавів полімерів відносно гідравлічного радіусу каналу, отримані співвідношення, які дозволяють визначити уточнений радіус каналу  $R_R$ , який умовно названо реологічним. Розміри досліджуваних каналів були вибрані сумірними із промисловими. Висоту прямокутних каналів було вибрано 2 мм, 4 мм, 6 мм, 8 мм, 16мм та 32 мм, а ширина залишається сталою і дорівнює 32 мм.

**3. Формулювання цілей статті**

Нерозв'язана раніше частина загальної проблеми є застосування реологічного радіусу каналу  $R_R$  для пошуку кривих течії полімерів, неінваріантних відносно гідравлічного радіусу каналу. Зокрема, це необхідно для забезпечення можливості використання даних капілярної віскозиметрії при гідравлічному розрахунку каналів з некругим поперечним перерізом.

Метою статті є застосування алгоритму розв'язання задачі пошуку кривих течії полімерів, неінваріантних відносно гідравлічного радіусу каналу.

Вирішення планується у два етапи. На першому етапі з використанням гідравлічного радіусу  $R_{Г\text{ік}32}$  отримуємо криві течії полімерів, неінваріантні відносно гідравлічного радіусу каналів. Другий етап проводиться з використанням реологічного радіусу каналу  $R_{R\text{ік}32}$  і завершується пошуком кривих течії, неінваріантних гідравлічного радіусу каналів.

**4. Виклад основного матеріалу дослідження**

На першому етапі для розрахунку гідравлічного радіусу  $R_{Г\text{ік}32}$ , напруження зсуву на стінці каналу  $\tau_{R\text{ік}32}$  та ефективного градієнту зсуву  $\Gamma_{R\text{ік}32}$  використаємо такі співвідношення [2]

$$R_{Г\text{ік}32} = \frac{S_{\text{ік}32}}{\chi_{\text{ік}32}}, \tag{1}$$

$$\tau_{R\text{ік}32} = \frac{\Delta P_{\text{ік}32} \cdot R_{Г\text{ік}32}}{L_{\text{ік}32}}, \tag{2}$$

$$\Gamma_{R\text{ік}32} = \frac{Q_{\text{ік}32}}{2\pi \cdot R_{Г\text{ік}32}^3}, \tag{3}$$

де  $S_{\text{ік}32}$  – площа нормального перерізу труби;  $\chi_{\text{ік}32}$  – змочений периметр;  $\Delta P_{\text{ік}32}$  – перепад тиску в трубі довжиною  $L_{\text{ік}32}$ ;  $Q_{\text{ік}32}$  – об'ємна витрата.

На другому етапі використаємо співвідношення наведені у роботі [2]. Алгоритм вирішення задачі складатиметься із наступних операцій.

1. З використанням співвідношення (1) для гідравлічного радіусу  $R_{Г\text{ік}32}$  із співвідношення (3) визначаємо ефективний градієнт швидкості  $\Gamma_{R\text{ік}32}$ .

2. З використанням ефективного градієнту швидкості  $\Gamma_{R\text{ік}32}$ , визначеного за рівнянням (3), на кривій течії каналу 2×32 знаходимо величину напруження зсуву  $\tau_x$ .

3. Знаходимо напруження зсуву на стінці i-го каналу, враховуючи, що  $\tau_{R\text{ік}32} = \tau_{R\text{ік}32}$

$$\tau_{R\text{ік}32} = \tau_x \left( \frac{R_{Г\text{ік}32}}{R_{R\text{ік}32}} \right)^{3n}, \tag{4}$$

де n – індекс течії.

4. Відмічаємо величину напруження зсуву  $\tau_{R\text{ік}32} = \tau_{R\text{ік}32}$  на кривій течії каналу 2×32.

5. Величину ефективного градієнту швидкості  $\Gamma_{R\text{ік}32}$  визначаємо за допомогою кривої течії 2×32 і перевіряємо її величину за співвідношенням роботи [2]:

$$\Gamma_{R\text{ік}32} = \Gamma_{R\text{ік}32} \sqrt[n]{\frac{\tau_{R\text{ік}32}}{\tau_x}}. \tag{5}$$

6. Шукана точка консистентної кривої течії i-го каналу знаходиться як точка перетину прямих, одна з яких перпендикулярна до осі ефективних градієнтів швидкості у точці  $\Gamma_{R\text{ік}32}$ , а друга пряма перпендикулярна до осі напружень зсуву у точці  $\tau_{R\text{ік}32}$ .

В табл. 1 наведені розрахункові дані для пошуку кривої течії розплаву поліетилену низької густини, неінваріантної відносно гідравлічного радіусу каналу 8×32.

**Таблиця 1**

Параметри течії поліетилену низької густини марки П-2010-В у каналі 8×32 за температури 150°С

Температура розплаву T, °С	Гідравлічний радіус $R_{Г\text{ік}32}$ см	Реологічний радіус $R_{R\text{ік}32}$ см	$\tau_{R\text{ік}32}$ н/см <sup>2</sup>	$\tau_x$ , н/см <sup>2</sup>	$\Gamma_{R\text{ік}32}$ с <sup>-1</sup>	$\Gamma_{R\text{ік}32}$ с <sup>-1</sup>	n
150	0,323	0,1972	2,2	1,07	9	39,42	0,4877
	0,323	0,1988	3,25	1,6	20	85,5	0,4877
	0,323	0,2013	3,85	1,93	30	123,63	0,4877
	0,323	0,2038	4,9	2,5	50	198,7	0,4877
	0,323	0,209	7	3,7	110	405,8	0,4877
	0,323	0,1962	10	5,3	225	1008	0,4245

На рис. 1 пунктирною та суцільною лініями показані консистентні криві течії для каналів 2×32 та 8×32 за температури 150°C, отримані в результаті дослідів, які порівнюються із розрахунковими даними.

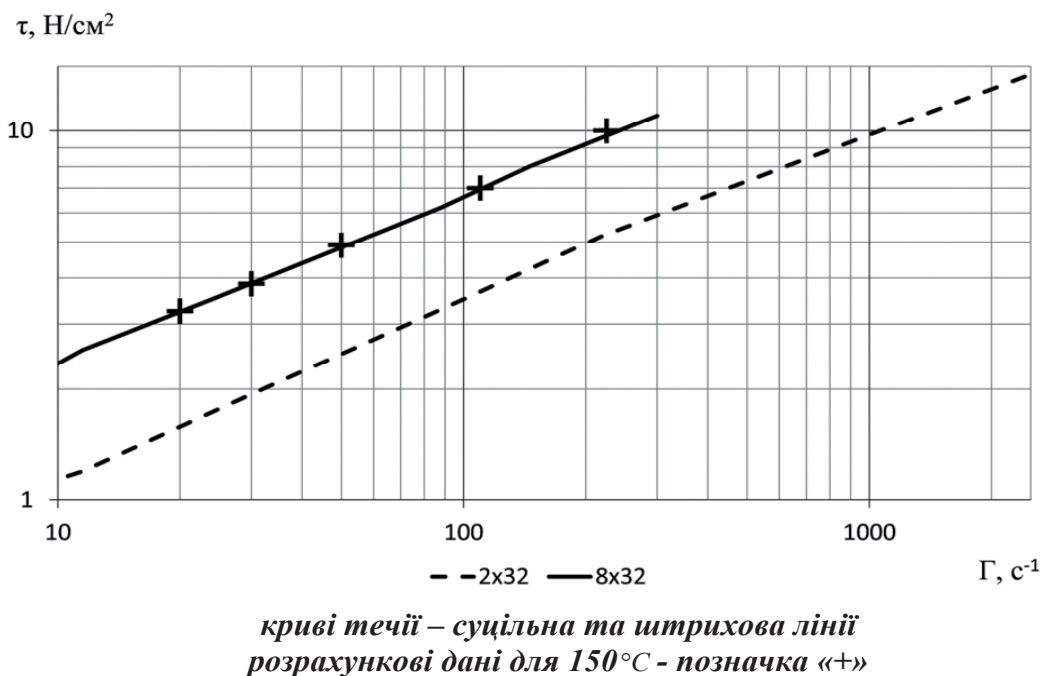


Рис. 1. Консистентні криві течії поліетилену низької густини марки П-2010-В для каналів 2×32 та 8×32 за температури 150°C

### Висновки

Наведений у статті метод пошуку кривих течії, інваріантних відносно гідравлічного радіуса каналу дає змогу підвищення точності визначення реологічних характеристик розплаву поліетилену низької густини і можливість використання результатів віскозиметричного експерименту для розрахунку опорів прямокутних каналів довільного перетину.

Перспективи подальших досліджень у цьому напрямку можуть бути направлені на виявлення впливу індексу течії на реологічні характеристики розплаву полімерів.

### Література

1. Жданов Ю.А., Иванова Л.А., Рябинин Д.Д. Метод определения скорости скольжения и истинной кривой течения полимеров по инвариантным реологическим характеристикам.- Респ. межв. научно-техн. сб. "Химическое машиностроение", вып. 18. -К: "Техніка", 1973.- с.50-57.
2. Рябинін Д.Д., Мотін А.М. Про реологічний аспект використання поняття гідравлічного радіуса. Вестник Национального технического университета Украины "Киевский политехнический институт". Машиностроение, вып.41. –К.: НУТУ «КПІ», 2001.- с.55-59.
3. Сівецький В.І., Сахаров О.С., Сокольський О.Л., Рябинін Д.Д. Пристинні ефекти в процесах переробки полімерних матеріалів. - К.: НТУУ "КПІ", 2009. – 140с.