

УДК 678.057:678.073

Рецензент:
 Лугоський О.Ф. — д.т.н., професор, зав. кафедри
 прикладної гідроаеромеханіки і механотроніки
 Національного технічного університету України
 “Київський політехнічний інститут”

І.І. Івіцький — аспірант, Національний технічний університет України
 “Київський політехнічний Інститут” (НТУУ “КПІ”)

О.Л. Сокольський — к.т.н., доцент, НТУУ “КПІ”

І.О. Мікульонок — д.т.н., професор, НТУУ “КПІ”

В.І. Сівецький — к.т.н., професор, НТУУ “КПІ”

ФОРМУВАННЯ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ КАНАЛІВ ОБЛАДНАННЯ НА ВЕЛИЧИНУ ПРИСТІННИХ ЕФЕКТІВ

Досліджено вплив геометричних параметрів типових каналів обладнання для перероблення полімерів і матеріалів з їх застосуванням на величину пристінних ефектів, а також вплив цих ефектів на перепад тиску вздовж каналів. Досліджено діапазон геометричних розмірів каналів, за яких доцільно застосовувати числове моделювання для розрахунку.

Исследовано влияние геометрических параметров типовых каналов оборудования для переработки полимеров и материалов с их применением на величину пристенных эффектов, а также влияние этих эффектов на перепад давления вдоль каналов. Исследован диапазон геометрических размеров каналов, при которых целесообразно применять численное моделирование для расчета.

Постановка проблеми та аналіз попередніх досліджень

Процес формування різноманітної продукції з полімерів і пластичних мас передбачає проведення розрахунків робочих каналів відповідного технологічного обладнання. Традиційний розрахунок при цьому здійснюється за допомогою апробованих аналітичних методів [1–4]. У той же час практика перероблення полімерних матеріалів показує, що в багатьох випадках такий підхід призводить до значних похибок, оскільки він не враховує можливі пристінні ефекти, що виникають під час руху потоку розплаву матеріалу крізь канали переробного обладнання [5–7].

Вплив пристінних ефектів на процес течії розплаву полімеру в каналах переробного обладнання натепер найбільш ефективно можна врахувати лише за допомогою числового моделювання. Безумовно, за незначного впливу пристінних ефектів типові канали переробного обладнання можуть бути розраховані аналітично, без застосування систем числового моделювання, що значно спрощує та скорочує час розрахунку. Тому важливо знати діапазони геометричних параметрів, для яких аналітичні методи розрахунку не придатні, а тому доцільно застосовувати числове моделювання.

Метою досліджень є визначення характеру та величини впливу геометричних параметрів

типових каналів переробного обладнання на величину пристінних ефектів під час течії розплаву полімерного матеріалу.

Виклад основного матеріалу

Під час моделювання процесу ізотермічної течії з урахуванням пристінних ефектів за основу взята узагальнена модель ньютонівського потоку [8, 9], що базується на розв’язанні рівнянь збереження імпульсу й нерозривності нестисливої рідини:

$$\frac{\partial \rho v_i}{\partial t} + \frac{\partial \rho v_i v_j}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_i} + \rho g_i;$$

$$\frac{\partial v_i}{\partial x_i} = 0,$$

де v_i , $i=1,3$ — компоненти вектора швидкості, м/с; x_i , $i=1,3$ — декартові координати, м; ρ — густина, кг/м³; t — час, с; p — тиск, Па; τ_{ij} , $i=1,3$, $j=1,3$ — компоненти тензора напружень, Па; g_i , $i=1,3$ — компоненти вектора прискорення вільного падіння, м/с².

Девіатор тензора деформації визначається залежністю

$$\tau_{ij} = \eta(\dot{\gamma}) \left(\frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \right),$$

де η — динамічна в’язкість, Па·с; $\dot{\gamma}$ — швидкість зсуву, с⁻¹.

Залежність в'язкості від швидкості зсуву виражена степеневим законом

$$\eta(\dot{\gamma}) = K(\lambda\dot{\gamma})^{n-1},$$

де K — коефіцієнт консистенції, Па·сⁿ; λ — період релаксації, с; n — індекс течії.

Пристінні ефекти на стінці описуються за допомогою узагальненого закону Нав'є [10]:

$$\tau = -F_{\text{slip}} |v_s - v_w|^{e_{\text{slip}}},$$

де v_s — тангенціальна швидкість течії, м/с; v_w — тангенціальна швидкість стінки каналу, м/с; F_{slip} та e_{slip} — параметри матеріалу.

Враховуючи, що пристінні ефекти можуть проявлятися за рахунок ковзання по стінці або за рахунок утворення біля стінки низькомолекулярного шару, встановлення параметрів матеріалу для узагальненого закону Нав'є відрізняється і залежить від природи пристінних ефектів. Методика визначення параметрів матеріалу для узагальненого закону Нав'є викладена в праці [11].

Для підтвердження адекватності обраної математичної моделі та параметрів матеріалу було проведено моделювання на каналі, геометрія якого збігається з геометрією одного з капілярів, що використовувалися під час натурального експерименту. Результати моделювання надані на рис. 1 (для експериментальної кривої на графік нанесені планки похибок 5% для оцінки розбіжності).

Як видно з рис. 1, дані, отримані під час моделювання, відрізняються від експериментальних не більше ніж на 5%, що свідчить про адекватність обраної математичної моделі.

Для оцінки впливу пристінних ефектів на параметри процесу течії було проведено моделювання без урахування пристінних ефектів (швидкість на стінці відсутня) та з урахуванням ковзання на стінці. Результати моделювання для діаметра каналу 0,5 мм зображені на рис. 2.

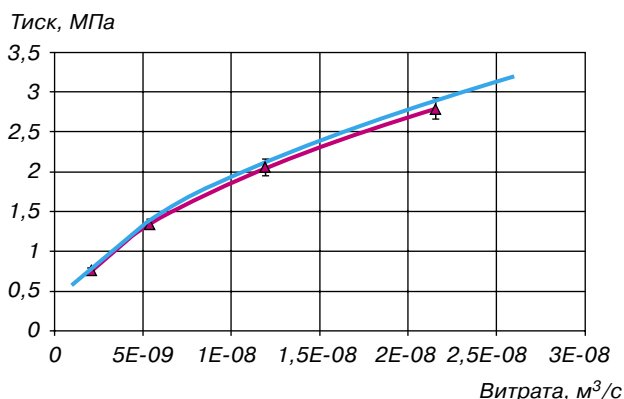


Рис. 1. Порівняння залежностей тиску від витрати розплаву полімеру, одержаних експериментально та моделюванням з урахуванням пристінних ефектів: \blacktriangle — експеримент; — моделювання

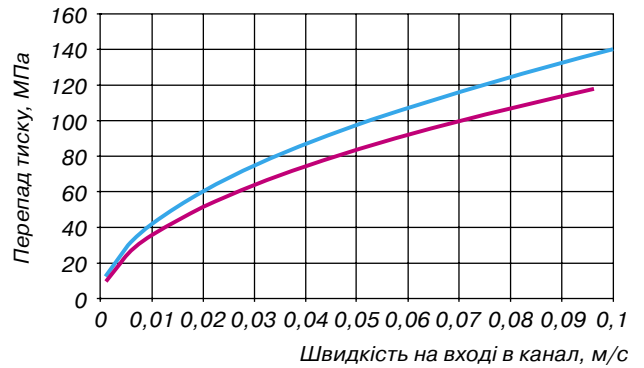


Рис. 2. Залежність перепаду тиску від витрати розплаву полімеру при різних варіантах граничних умов на стінці з діаметром каналу 0,5 мм: — без ковзання; — ковзання

Як видно з рис. 2, відсутність врахування пристінних ефектів призводить до похибки в значенні тиску порівняно з урахуванням пристінних ефектів до 14%, що може спричинювати істотні помилки під час моделювання переробного обладнання.

Для перевірки впливу діаметра каналу на величину похибки без урахування та з урахуванням пристінних ефектів було проведено моделювання для діаметра каналу 10 мм (рис. 3).

Як видно з рис. 3, значення перепаду тиску для варіантів течії без урахування пристінних ефектів та з їх урахуванням відрізняються не більше, ніж на 1%, що свідчить про зменшення впливу пристінних ефектів в разі збільшення діаметра каналу.

Для визначення величини впливу діаметра каналу на розбіжність у значеннях тиску без урахування пристінних ефектів та з їх урахуванням було проведено низку досліджень за різних величин діаметра каналу в діапазоні від 0,5 до 10 мм, що дало змогу побудувати криву залежності різниці перепаду тиску за відсутності та з урахуванням пристінних ефектів від діаметра каналу (рис. 4).

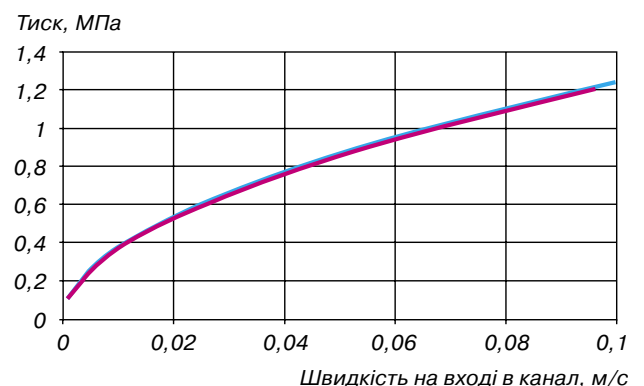


Рис. 3. Залежність тиску від витрати розплаву полімеру при різних варіантах граничних умов на стінці з діаметром каналу 10 мм: — без ковзання; — ковзання

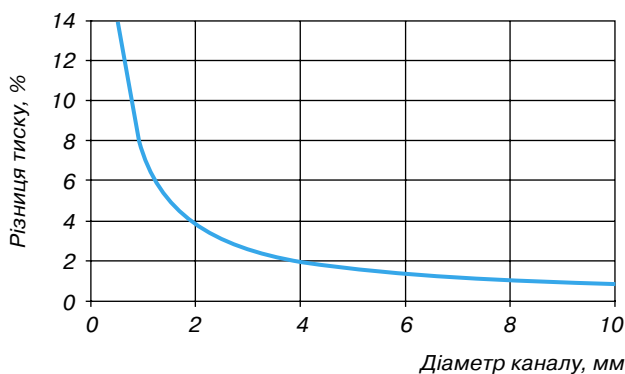


Рис. 4. Залежність різниці перепаду тиску за відсутності та з урахуванням пристінних ефектів від діаметра каналу

Як видно з рис. 4, залежність різниці тиску для випадків відсутності та врахування пристінних ефектів від діаметра каналу має вигляд степеневого закону.

Для визначення величини впливу довжини каналу на розбіжність у значеннях тиску для випадків без урахування пристінних ефектів та з їх урахуванням було проведено ряд досліджень за різних довжин каналу в діапазоні від 1 до 100 мм, що дало змогу побудувати криву залежності різниці перепаду тиску для випадків відсутності та врахування пристінних ефектів від довжини каналу (рис. 5).

Як видно з рис. 5, залежність різниці перепаду тиску для випадків відсутності та врахування пристінних ефектів від довжини каналу має експоненціальний характер.

Для визначення величини впливу відношення діаметрів входу та виходу каналу на розбіжність у перепадах тиску без урахування пристінних ефектів та з їх урахуванням був проведений ряд досліджень за різних співвідношень діаметрів входу та виходу каналу в діапазоні від 0,1 до 10. Дослідження показали, що характер кривих при розширенні та звуженні каналу на виході відрізняється, тому дані розраховувалися за двома залежностями (рис. 6, 7).

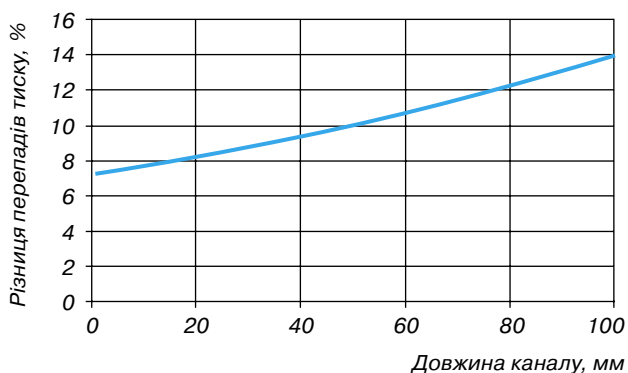


Рис. 5. Залежність різниці перепаду тиску за відсутності та з урахуванням пристінних ефектів від довжини каналу

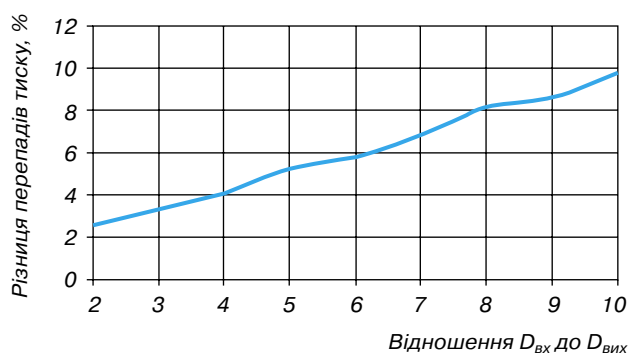


Рис. 6. Залежність різниці перепаду тиску за відсутності та з урахуванням пристінних ефектів від відношення діаметрів входу та виходу каналу при звуженні каналу

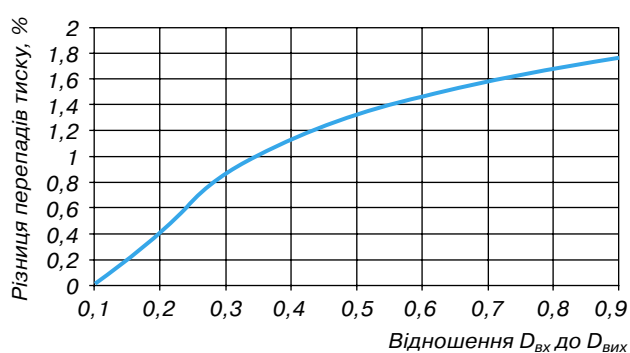


Рис. 7. Залежність різниці перепаду тиску за відсутності та з урахуванням пристінних ефектів від відношення діаметрів входу та виходу каналу при розширенні каналу

Як видно з рис. 6, залежність різниці перепаду тиску в разі відсутності та з урахуванням пристінних ефектів від відношення діаметрів входу та виходу каналу при звуженні каналу носить лінійний характер, тоді як при розширенні каналу вона має логарифмічний характер (рис. 7), проте значення різниці перепаду тиску не перевищує 2%.

Висновки

За результатами проведеного аналізу отриманих залежностей рекомендується застосовувати числове моделювання процесу течії полімерного матеріалу в типових каналах переробного обладнання за еквівалентних діаметрів каналів до 4 мм, у всьому діапазоні довжин каналів — при відношенні діаметрів входу та виходу каналу від 2 (звуження каналу). В інших діапазонах геометричних параметрів каналів доцільність використання числового моделювання не виправдана, а тому для його дослідження рекомендується застосовувати традиційні аналітичні методи розрахунку.

Перспектива подальших досліджень

Задача подальших досліджень полягає в проведенні числового моделювання екструзійних головок переробного обладнання з ме-

тою встановлення величини впливу пристінних ефектів на процес екструзії та величини впливу геометричних параметрів головок на вплив пристінних ефектів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Торнер Р.В.* Теоретические основы переработки полимеров (механика процессов) / Р.В. Торнер. — М. : Химия, 1977. — 464 с.
2. *Тадмор З.* Теоретические основы переработки полимеров / З. Тадмор, К. Гогос ; пер. с англ. под ред. Р.В. Торнера. — М. : Химия, 1984. — 632 с.
3. *Басов Н.И.* Расчет и конструирование оборудования для производства и переработки полимерных материалов : учеб. для вузов / Н.И. Басов, Ю.В. Казанков, В.А. Любартович. — М. : Химия, 1986. — 488 с.
4. *Мікульонок І.О.* Моделювання обладнання технологічних ліній для перероблення пластмас і гумових сумішей на базі валкових машин : монографія / І.О. Мікульонок. — К. : НТУУ “КПІ”, 2013. — 244 с.
5. *Сокольський О.Л.* Числове моделювання впливу пристінного шару на процес течії полімеру в переробному обладнанні / О.Л. Сокольський, І.І. Івіцький, В.І. Сівецький, І.О. Мікульонок // Хімічна промисловість України. — 2013. — № 6. — С. 34–37.
6. *Sokolskyi A.L.* Method of Accounting Wall Slip Polymer in Modeling Channel Processing Equipment / A.L. Sokolskyi, I.I. Ivitskyi // Modern Scientific Research and their Practical application. — 2014. — N 21410. — P. 136–140.
7. *Ivitskyi I.I.* Polymer Wall Slip Modelling / I.I. Ivitskyi // Technology Audit and Production Reserves. — 2014. — N 3. — P. 8–11.
8. *Barnes H.A.* An Introduction to Rheology / H.A. Barnes, J.F. Hutton, K. Walters. — Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1989. — 199 p.
9. *Bird R.B.* Dynamics of Polymeric Liquids / R.B. Bird, C.F. Curtiss, R.C. Armstrong, O. Hassager. — New York: Wiley-Interscience, 1987. — 672 p.
10. ANSYS Polyflow User's Guide — Canonsburg: ANSYS, Inc., 2013. — 790 p.
11. *Sivetskyi V.I.* Methods for Determining the Presence, Character and Value of Wall Effects in Flow of Polymer Material / V.I. Sivetskyi, O.L. Sokolskyi, I.I. Ivitskyi // Technology Audit and Production Reserves. — 2015. — № 4. — С. 48–52.

Стаття надійшла до редакції 31.07.2015 р.

ШАНОВНІ КОЛЕГИ!

**ДП “Черкаський НДІТЕХІМ” пропонує Вашій увазі
найновіші кон’юнктурно-аналітичні огляди:**

**Мінерально-органічні комплексні добрива
на основі субстрату торфу.
Аналіз стану виробництва в Україні
та перспективи внутрішнього товарного ринку**

Аналітичний огляд 2015 р.

*Обсяг – 155 с. Ціна – 3600 грн (з ПДВ) або договірна
Розробник: Соколенко Л.М. Тел./факс: (0472) 37-41-65*

Основні розділи огляду: загальна характеристика добрив на основі субстрату торфу, що містять переважну мінеральну складову; результати інформаційного пошуку щодо наявності наукових розробок у сфері їх виробництва і впровадження в Україні та світі; сировинні аспекти виробництва мінерально-органічних комплексних добрив на основі субстрату торфу; аналіз виробництва і споживання торфу (паливного і сільськогосподарського призначення) в Україні; сучасний стан виробництва мінеральних добрив в Україні, баланс попиту і пропозиції на ринку в 2014 р., короткий аналіз цінової кон’юнктури; сучасний стан ринку мінерально-органічних комплексних добрив в Україні; виробництво і зовнішня торгівля органо-мінеральними добривами в Україні; перспективи споживання органо-мінеральних добрив в Україні; технологічні аспекти виробництва та застосування мінерально-органічних комплексних добрив, що містять торф (торфоаміачних, торфомінерально-аміачних, торфомінеральних та нових видів комплексних торфомінеральних); гранулювання торфовмісних органо-мінеральних добрив; економічні аспекти використання мінеральних та органо-комплексних добрив.

E-mail: niitehim@uch.net

Вебсайт: http://niitehim.ck.ua