

2. Гивлюд М.М., Свідерський В.А., Ілляв В.В. Композиційне антикорозійне покриття // Проблеми корозії та протикорозійного захисту конструкційних матеріалів. – Львів, 1996. – С. 182-184.
3. Гивлюд М.М., Пона М.Г., Вахула О.М. Хімічна стійкість захисних композиційних покриттів до дії агресивних середовищ. – Вісник НУ «Львівська політехніка», Хімія, технологія речовин та їх застосування. - №488. – Львів, 2003. – С.352-355.
4. Ємченко І.В., Гивлюд М.М. Шляхи регулювання властивостей оксидної кераміки, одержаної із наповнених силіцій органічних композицій // Науковий журнал Донецького державного університету економіки і торгівлі ім. Туган-Барановського. Серія: технічні науки. – №1(29), 2006. – С.148-152.
5. Гивлюд М.М., Ємченко І.В., Топилко Н.І. Шляхи регулювання фазового складу та структури цирконвмісної кераміки // Будівельні матеріали, вироби та санітарна техніка: Науково-технічний збірник. – Київ, 2006. – Вип. 22. – С.21-24.

УДК 532.516

В.І. Желяк, к.т.н., доцент, А.Я. Регуш, М.З. Лаврівський (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)

ГЕОМЕТРИЧНІ ТА ДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВОШАРОВОЇ ТЕЧІЇ РІДИН НА ПОЧАТКОВІЙ ДІЛЯНЦІ ПЛОСКОГО КАНАЛУ

Наведені дані експериментальних досліджень двошарової течії водних розчинів полівінілового спирту та карбоксиметилцелюлози в плоскому каналі. Показано, що на формування геометричних, кінематичних та динамічних параметрів двошарової течії впливають фізико-механічні параметри досліджуваних рідин, витрати в кожному з шарів, а також кут зустрічі потоків на початку ділянки сумісної течії

Багатошарові течії рідин достатньо широко розповсюджені в різних технологічних процесах, наприклад в процесах добування та транспортування нафти, виробництві багатошарових виробів з полімерних матеріалів методом співекструзії, при селективному заборі води. При пожежогасінні двошарова течія зустрічається при сумісній течії води та піноутворювача для отримання піногасної суміші, а також сумісній подачі в джерело пожежі струменів піни різної кратності. Схему двошарової течії подано на рис. 1.

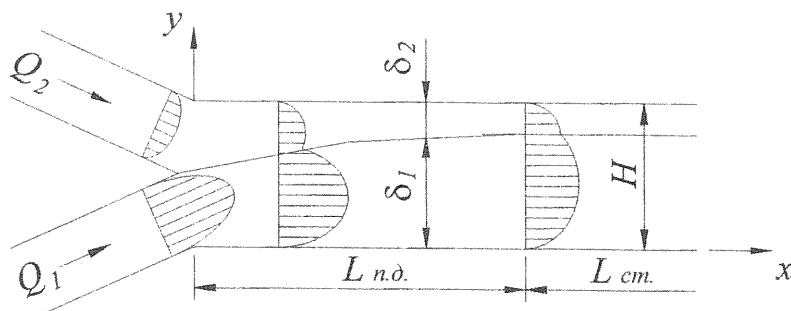


Рис. 1. Схема двошарової течії рідин

Область сумісної течії можна представити двома ділянками: гідродинамічною початковою ділянкою довжиною $L_{n.d.}$ та ділянкою стабілізованої течії - $L_{cm.}$. По довжині

початкової ділянки відбувається формування геометричних, кінематичних та динамічних параметрів двошарової течії. Товщина шарів δ змінюється від деякого початкового значення в області зустрічі потоків до значення, яке відповідає стабілізованій течії рідин. Поле швидкостей формується від двох парабол в області зустрічі потоків рідин до епюри, яка відповідає стабілізованому руху. В залежності від відмінностей в реологічних властивостях рідин та об'ємних витрат можлива наявність яскраво вираженого максимуму швидкості в одному з шарів рідин. Швидкість на границі контакту шарів змінюється від значення, близького до "нуля" в точці зустрічі потоків до значення, яке відповідає стабілізованій течії рідин. Внаслідок інтенсивного формування на гідродинамічній початковій ділянці поля швидкостей, тиск по її довжині розподіляється за нелінійним законом і перепад тиску є більшим, ніж на ділянці стабілізованого руху аналогічної довжини. Наявність гідродинамічної початкової ділянки суттєво впливає на характеристики стабілізованої течії рідин і тому необхідно її враховувати, особливо при течії високов'язких рідин в коротких каналах, які в основному й використовуються в пожежному устаткуванні. Двошарову течію узагальнених ньютонівських рідин на початковій ділянці плоского каналу можна описати системою рівнянь руху рідини в напруженнях та рівняння нерозривності, записаних для двовимірного випадку течії рідини. Для кожного з шарів система рівнянь буде мати вигляд:

$$\begin{aligned} U_i \frac{\partial U_i}{\partial x} + V_i \frac{\partial U_i}{\partial y} &= -\frac{1}{\rho_i} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{\rho_i} \left(\frac{\partial \tau_{xx_i}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx_i}}{\partial y} \right), \\ U_i \frac{\partial V_i}{\partial x} + V_i \frac{\partial V_i}{\partial y} &= -\frac{1}{\rho_i} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{1}{\rho_i} \left(\frac{\partial \tau_{xy_i}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy_i}}{\partial y} \right), \\ \frac{\partial U_i}{\partial x} + \frac{\partial V_i}{\partial y} &= 0, \end{aligned} \quad (1)$$

де: U та V – складові швидкості в проекції на осі "x" та "y" відповідно; ρ – густина рідини; p – тиск, τ – складові тензора напружень, для визначення яких використовується реологічний закон, який відповідає типу рідини в течії. При цьому є необхідним використання таких граничних умов:

$$U_1 = V_1 = 0 \text{ при } y = 0; \quad U_2 = V_2 = 0 \text{ при } y = H; \quad U_1 = U_2 = U_k \text{ при } y = \delta_1;$$

$$\tau_{yx_i} = \tau_{xy_i} \text{ при } y = \delta_1 \text{ де } U_k - \text{швидкість на границі контакту шарів.}$$

Для ділянки стабілізованої течії система рівнянь (1) спрощується і набуває вигляду

$$\frac{1}{\rho_i} \frac{\partial \tau_{yx_i}}{\partial y} = \frac{1}{\rho_i} \frac{\partial p}{\partial x}, \quad (2)$$

величиною $\frac{\partial p}{\partial y}$ часто нехтують, особливо при течії тонких шарів рідини. Основні теоретичні результати досліджень багатошарових течій отримано для ділянки стабілізованого руху [1, 2, 3, 4, 6]. Що ж стосується течії на початковій ділянці, то внаслідок складності системи рівнянь руху (1), при дослідженнях переважно використовувалось фізичне моделювання течії [5, 7, 8].

Для уточнення відомих результатів, а також визначення впливу на параметри двошарової течії кута зустрічі потоків, було проведено експериментальне дослідження двошарової течії на початковій ділянці. Схему експериментальної установки показано на рис. 1.

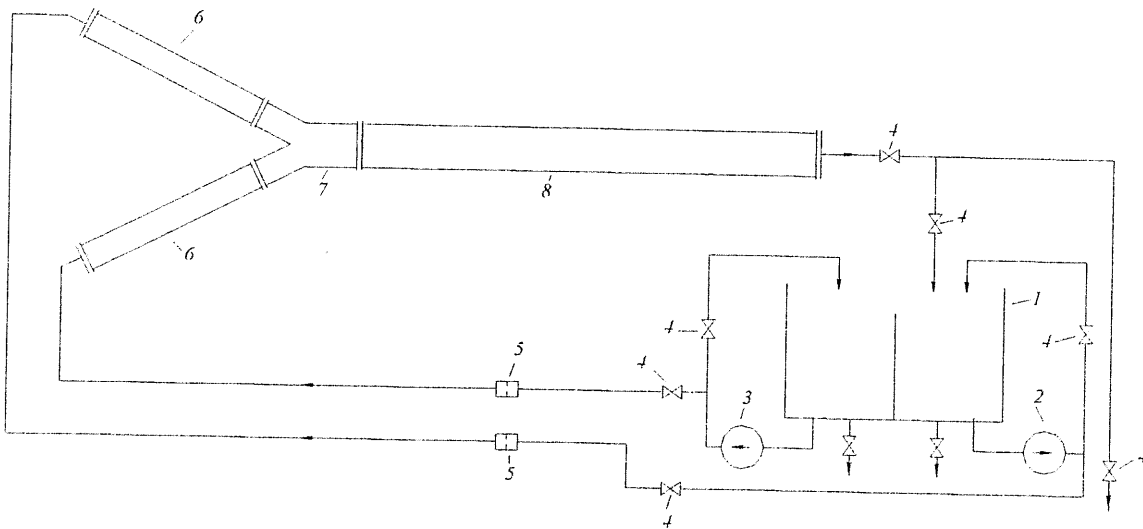


Рис. 2. Схема експериментального стенда для моделювання двошарової течії рідин. 1 – двосекційний резервуар; 2, 3 – насоси; 4 – вентилі; 5 – вимірювальні діафрагми; 6 – підвідні канали; 7 – вставка зі змінним кутом зустрічі потоків; 8 – канал сумісної течії рідин

Довжини підвідних каналів 6 та каналу сумісної течії рідин 8 забезпечували отримання стабілізованої течії рідин, а набір вставок 7 дозволяв змінювати кут зустрічі потоків від 0° до 120° , що дало можливість визначити його вплив на формування геометричних та динамічних параметрів двошарової течії на початковій ділянці.

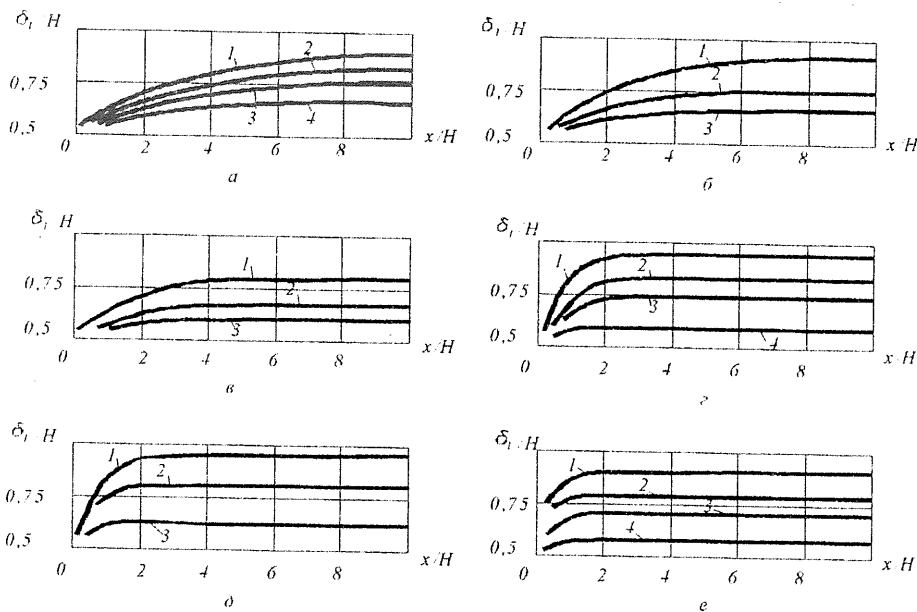


Рис. 3. Зміна товщини шару по довжині потоку при двошаровій течії 1% розчину карбоксиметилцелюлози при кутах зустрічі потоків α рівних а) 0° ; б) 15° ; в) 30° ; г) 60° ; д) 90° ; е) 120° ; а – 1 - $Re_1/Re_2=5,67$, $Re=260$; 2 - $Re_1/Re_2=5,12$, $Re=241$; 3 - $Re_1/Re_2=3,43$, $Re=164$; 4 - $Re_1/Re_2=1,91$, $Re=118$; б – 1 - $Re_1/Re_2=7,14$, $Re=318$; 2 - $Re_1/Re_2=3,39$, $Re=154$; 3 - $Re_1/Re_2=1,87$, $Re=102$; в – 1 - $Re_1/Re_2=5,18$, $Re=102$; 2 - $Re_1/Re_2=1,87$, $Re=95$; 3 - $Re_1/Re_2=1,53$, $Re=65$; г – 1 - $Re_1/Re_2=7,23$, $Re=193$; 2 - $Re_1/Re_2=5,26$, $Re=105$; 3 - $Re_1/Re_2=3,51$, $Re=91$; 4 - $Re_1/Re_2=1,22$, $Re=32$; д – 1 - $Re_1/Re_2=7,05$, $Re=198$; 2 - $Re_1/Re_2=5,06$, $Re=154$; 3 - $Re_1/Re_2=1,54$, $Re=48$; е – 1 - $Re_1/Re_2=7,23$, $Re=201$; 2 - $Re_1/Re_2=5,07$, $Re=91$; 3 - $Re_1/Re_2=2,62$, $Re=107$; 4 - $Re_1/Re_2=1,27$, $Re=83$

В процесі проведення експерименту вимірювалося положення лінії розділу шарів, довжина початкової ділянки та розподіл тиску по довжині двошарового потоку. Тиск вимірювався за допомогою п'єзометрів, встановлених на відстані через 5 см один від одного по довжині вставки 7 та каналу сумісної течії рідин 8.

Довжина гідродинамічної початкової ділянки визначалася на підставі дослідження формування границі розділу шарів, оскільки формування розподілу тиску по довжині потоку закінчувалося раніше. Вимірювання положення лінії контакту шарів по довжині потоку при різних співвідношеннях витрат рідин в шарах Q_1 / Q_2 дало можливість визначити характер її формування при різних кутах зустрічі потоків α на вході в канал сумісної течії. Як показано на рис. 3, лінія контакту шарів на гідродинамічній початковій ділянці має вид кривої. Найбільш інтенсивна зміна її положення відбувається в області зустрічі потоків, а далі лінія контакту шарів асимптотично наближається до положення при стабілізованій течії. При збільшенні кута зустрічі потоків α довжина ділянки формування контакту шарів зменшується, що пояснюється інтенсивнішою дисипацією енергії кожного з шарів після їх входу в канал сумісної течії.

При збільшенні загального числа Рейнольдса і кута зустрічі потоків α на межі контакту шарів може виникати нестійкість. Так при течії 2 % водного розчину полівінілового спирту при куті зустрічі потоків $\alpha \geq 15^\circ$ та числі Рейнольдса $Re > 348$ на межі розділу шарів з'являється легка хвилястість регулярного характеру. При течії 1 % процентного розчину карбоксиметилцеллюлози при куті зустрічі потоків, числі Рейнольдса $Re > 514$ і товщині першого шару $\delta_1 / H \geq 0,60$ на деякій віддалі від точки зустрічі потоків спостерігається розмив межі контакту шарів і утворення тонкого шару перемішування товщиною 3...4 мм. При збільшенні числа Рейнольдса до значення $Re > 643$ турбулізація потоку відбувається вже безпосередньо в області зустрічі потоків. Якщо течія відбувалася в зоні ламінарного режиму і товщина шарів по довжині потоку залишається незмінною, тобто $Q_1 = Q_2$ та $\delta_1 / H = 0,50$ то спостерігається чітко виражена межа контакту шарів. Таким чином турбулізацію двошарового потоку можна пояснити динамічною взаємодією шарів рідин в області входу потоків в канал і по довжині потоку.

У зоні зустрічі потоків можуть утворюватися вторинні течії. Інтенсивність і розміри вихороутворень залежать від числа Рейнольдса, кута зустрічі потоків α співвідношення витрат в шарах Q_1 / Q_2 і при їх збільшенні зростають. В області зустрічі потоків можуть спостерігатися вихороутворення двох видів (рис. 4). При $Re < 2500$ та $\alpha > 15^\circ$ вихороутворення спостерігаються в зоні 1, що приводить до підвищення інтенсивності перемішування рідини в області розділу шарів. При $Re > 10000$ та $\alpha \geq 15^\circ$ вихори з'являються біля двох або одній із стінок каналу в результаті відриву від неї шарів рідини.

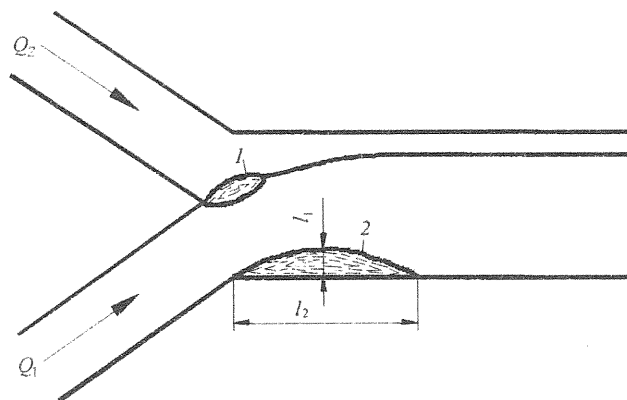


Рис. 4. Зони вихороутворень в двошаровій течії рідин

Із збільшенням числа Рейнольдса ширина вихору l_1 і його довжина l_2 збільшуються (рис. 5).

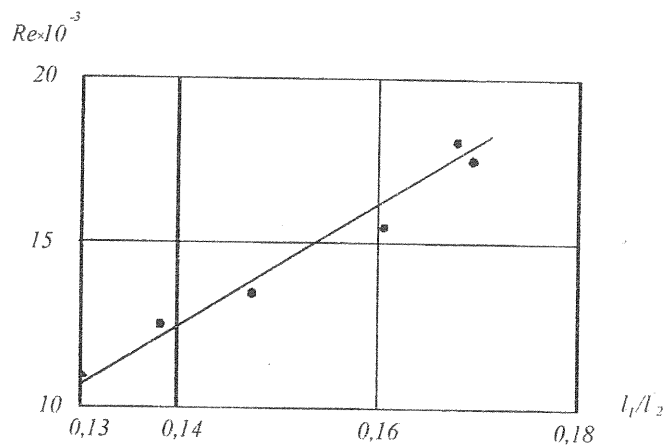


Рис. 5. Залежність розмірів вихору l_1/l_2 від числа Рейнольдса

Наявність вихроутворень істотно впливає на динамічні параметри потоку і приводить до збільшення втрат тиску.

На рис. 5 представлено отримані дослідним шляхом криві зміни тиску по довжині нестабілізованої двошарової течії. Як видно з представлених даних, тиск змінюється за нелінійним законом. На деякій довжині потоку градієнт тиску dP/dx більший, ніж вниз за течією. Такий збільшений, в порівнянні із стабілізованою течією, перепад тиску викликаний переформовуванням поля швидкостей в двошаровому потоці. Наближення розподілу тиску до такого, який відповідає стабілізованій течії відбувається асимптотично. Наявність двох екстремумів на кривій 4 розподілу тиску свідчить про наявність зони вихроутворень в області зустрічі потоків, що викликає додаткове падіння тиску.

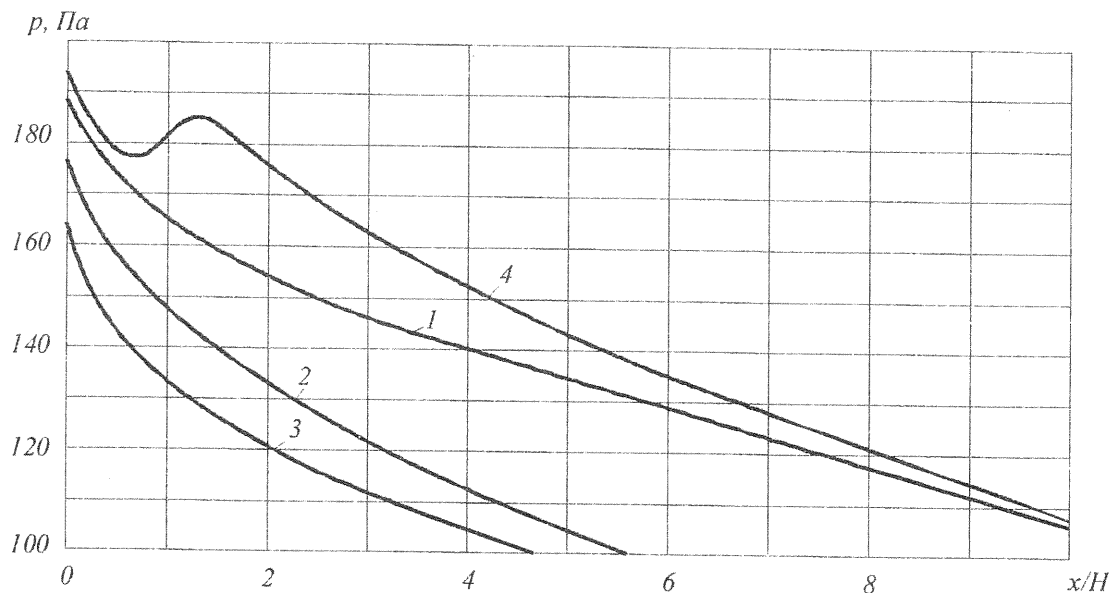


Рис. 6. Розподіл тиску по довжині двошарового потоку при течії 2% розчину карбоксиметилцелюлози: 1 - $Re = 89$, $\delta_1/H = 0,5$; 2 - $Re = 131$, $\delta_1/H = 0,6$; 3 - $Re = 127$, $\delta_1/H = 0,7$; 4 - $Re = 942$ (4 - 1% розчин полівінілового спирту). Кут зустрічі потоків $\alpha = 15^\circ$

На рис. 7 наведено дані про формування межі контакту шарів для фіксованого кута зустрічі потоків $\alpha = 0^\circ$ і сталого числа Рейнольдса.

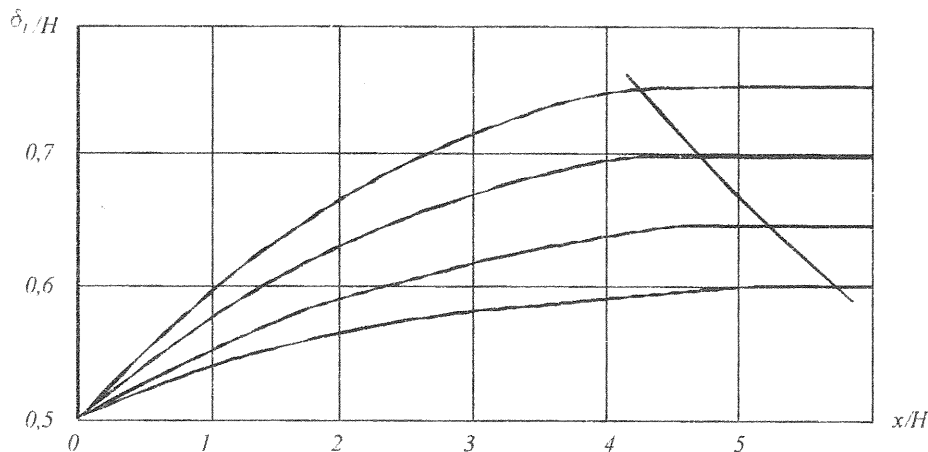


Рис. 7. Формування границі контакту шарів при різних співвідношеннях Re_1/Re_2 та рівних Re ($\alpha = 15^\circ$, $Re = 94-101$, 2% розчин карбоксиметилцелюлози)

Збільшення співвідношення Re_1/Re_2 викликає зменшення довжини гідродинамічної початкової ділянки. Таку ж закономірність виявлено і для залежності довжини ділянки стабілізації потоку від зміни кута зустрічі потоків α (рис. 8).

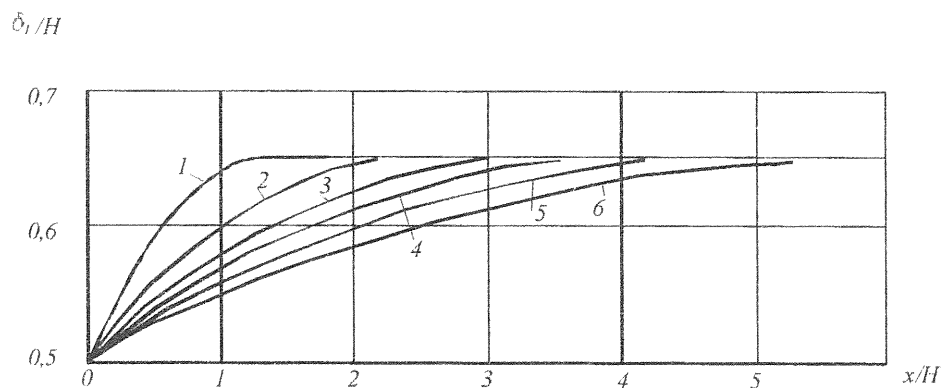


Рис. 8. Формування границі контакту шарів при різних кутах зустрічі потоків. $\alpha =$: 1 - 120° , 2 - 90° , 3 - 60° , 4 - 30° , 5 - 15° , 6 - 0° . $Re = 98-115$, 2% розчин карбоксиметилцелюлози)

Зменшення довжини гідродинамічної початкової ділянки при збільшенні співвідношення Re_1/Re_2 та кута зустрічі потоків α пояснюється інтенсивнішою дисипацією кінетичної енергії кожного з шарів в області зустрічі потоків внаслідок їх взаємодії. Для визначення довжини початкової ділянки двошарового потоку можна використати формулу (3), яка застосовується для визначення довжини ділянки стабілізації потоку при звичайній одношаровій течії рідини.

$$L_{n.o.} = C_H \times H \times Re. \quad (3)$$

Коефіцієнт пропорційності C_H в формулі (3) для визначення довжини початкової ділянки у разі двошарової течії залежить від величини Re_1/Re_2 або δ_1/H , а також кута α і його значення можна визначати за даними таблиці 1.

Значення коефіцієнта C_H для різних значень δ_1 / H і кута α

$\delta_1 / H \backslash \alpha$	0°	15°	30°	60°	90°	120°
0,5	0,065	0,059	0,049	0,033	0,023	0,013
0,6	0,061	0,055	0,046	0,030	0,021	0,012
0,7	0,051	0,045	0,038	0,025	0,018	0,012
0,8	0,037	0,033	0,033	0,019	0,013	0,011

Подібно до геометричних параметрів відрізняються від звичайної одношарової течії і динамічні характеристики двошарового нестабілізованого потоку. При двошаровій течії, коли лінія контакту шарів має вид прямої лінії, втрати тиску мають більшу величину, ніж при одношаровій течії з такими ж характеристиками потоку. Дана відмінність викликана більшою деформацією епюри розподілу швидкостей на гідродинамічній початковій ділянці. При збільшенні співвідношення Re_1 / Re_2 і кута зустрічі потоків α перепад тиску в області зустрічі потоків зменшується, що викликане зменшенням довжини гідродинамічної початкової ділянки. Проте із збільшенням Re_1 / Re_2 також збільшується і градієнт тиску dP/dx , що свідчить про більш інтенсивні процеси дисипації в кожного з шарів потоку. Вказану залежність ΔP та dP/dx від δ_1 / H та α можна спостерігати на графіках, наведених на рис. 6. Перепад тиску на початковій ділянці можна визначити з залежності, яка використовується для звичайної течії рідини і містить додаткову складову - коефіцієнт C , який враховує вплив на перепад тиску товщини шару δ_1 / H та кута α :

$$\frac{2\Delta P_{n.o.}}{\rho V^2} = \frac{24 l_{n.o.}}{Re H} + C. \quad (4)$$

Величину C як функцію δ_1 / H та α можна визначити за даними таблиці 2.

Таблиця 2

Залежність C від співвідношення чисел Рейнольдса в шарах і кута зустрічі потоків

$\delta_1 / H \backslash \alpha$	0°	15°	30°	60°	90°	120°
0,5	1,36	1,22	1,10	0,91	0,77	0,65
0,6	1,18	1,02	0,94	0,82	0,70	0,61
0,7	0,88	0,82	0,79	0,70	0,61	0,55
0,8	0,58	0,57	0,56	0,55	0,54	0,52

Висновки.

Проведене фізичне моделювання нестабілізованої двошарової течії рідин в плоскому каналі дозволило з'ясувати закономірності формування межі контакту шарів, залежності довжини гідродинамічної початкової ділянки та перепаду тиску в залежності від співвідношення чисел Рейнольдса в шарах Re_1 / Re_2 , загального числа Рейнольдса двошарового потоку Re і кута зустрічі потоків α .

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ:

1. Ануфрієв В.А. Исследование соэкструзии расплавов в процессах производства многослойных пленок из термопластов: Дис... канд. техн. наук - Киев, 1978. - 255 с.

2. Ануфриев В.А., Яхно О.М., Петухов А.Д. К характеру двухслойного течения расплавов полимеров // Тез. докл. Всесоюзн. симпозиум по реологии. - Гомель, 1974. - Ч. I. - С. 218 -228.
3. Ануфриев В.А., Яхно О.М., Петухов А.Д. Регулирование потоков при двухслойном течении неньютоновских жидкостей в формирующем инструменте //Хим. машиностроение: Респ. межвед. науч. - техн. сб. - 1977. - Вып. 26. - С. 70 - 74.
4. Воронцов Е.Г., Яхно О.М. Исследование нестабилизированного многослойного пленочного течения //Хим. машиностроение: Респ. межвед. науч. - техн. сб. - 1985. - Вып. 41.- С. 23 -28.
5. Хан Ч.Д. Реология в процессах переработки полимеров. - М.: Химия, 1979. - 365 с.
6. Экспериментальные исследования начального участка при двухслойном течении вязких жидкостей / В.А.Ануфриев, Ю.Е.Лукач, А.Д.Петухов, О.М.Яхно // Гидравлика и гидротехника: Респ. межвед. науч. - техн. сб. - 1977. - Вып. 24. - С. 85-90.
7. Sornberger G., Vergnes B., Agassant J.F., Coextrusion flow of two molten polymers between parallel plates: non isothermal computation and experimental study //Polym. Eng. and Sci., - 1986. - v. 26. - № 10. - P. 682-689.
8. Wei E.He, Malone M.F., Winter H.H. Simulation of welding flows in a slit. Part 1: Kinematics // Polym. Eng. and Sci., - 1986. - v. 26. - 16 14. - P. 1012-1019.

УДК: 539.213, 539.216.2

В.О. Балицька, к.ф.-м.н., с.н.с. (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності), М.В. Шпотюк, О.Й. Шпотюк, д.ф.-м.н., професор (Науково-виробниче підприємство „Карат”)

КОНФІГУРАЦІЙНО-КООРДИНАТНА МОДЕЛЬ ДЛЯ ОПИСУ ДЕГРАДАЦІЙНО-РЕЛАКСАЦІЙНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ В ХАЛЬКОГЕНІДНИХ СКЛАХ, ЗУМОВЛЕНИХ ВИСОКОЕНЕРГЕТИЧНИМИ ТЕРМОРАДІАЦІЙНИМИ ВПЛИВАМИ В ЕКСТРЕМАЛЬНИХ ПОЖЕЖОНЕБЕЗПЕЧНИХ УМОВАХ

Розвинуто універсальну конфігураційно-координатну модель для опису екстремальних деградаційно-релаксаційних структурних перетворень в халькогенідних напівпровідникових склах. В рамках цієї моделі припускається, що структурні вузли матриці скла в залежності від високо-енергетичних терморадіаційних впливів можуть перебувати в одному з трьох станів: основному, збудженому і метастабільному, між якими можливі випромінювальні та безвипромінювальні переходи

Сучасний науково-технічний прогрес і розширення виробничої діяльності людини з використанням енергомістких технологій збільшують ризик аварійних і екстремальних ситуацій. В цих умовах особливого значення набуває своєчасний моніторинг навколишнього середовища, забезпечення точності і надійності приладів та обладнання, що використовуються при його проведенні і, як наслідок, пошук та дослідження матеріалів з високим рівнем стабільності, що використовуються при цьому.

Одними з таких матеріалів є халькогенідні склоподібні напівпровідники (ХСН), що широко використовуються в системах оптичного запису інформації та дозиметрії високоенергетичного іонізуючого випромінювання. Унікальною властивістю ХСН є, насамперед, їх аномальна чутливість до дії зовнішніх факторів, серед яких домінуюче місце займають «міжщільніне» фото- та радіаційне експонування [1-3]. Вважається, що ця особливість зумовлена: 1) стеричною гнучкістю, властивою склоподібній сітці з низькою