ПРИНЦИПИ ПРОЕКТНО-РОЗРАХУНКОВИХ ОПРАЦЮВАНЬ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ РІЗАННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ ВОДОПОЛІМЕРНИМ СТРУМЕНЕМ

[★]Погребняк А. В., доктор техн. наук, доц.
Перкун І. В., канд. техн. наук, доц.
Погребняк В.Г., доктор техн. наук, проф.

[★]Університет митної справи та фінансів
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Проведене комплексне вивчення реакції водних розчинів поліетеленоксиду (ПЕО) на гідродинамічний вплив дало змогу з'ясувати закономірності прояву деформаційних ефектів під час течії розчинів ПЕО у гідрорізальній струменеформуючій голівці. Комплексність наукового підходу стала необхідною умовою успішного вирішення поставлених завдань не лише наукових, але і технічних, полягала у тому, що процес формування надмолекулярних утворень під дією гідродинамічного поля, а отже, і властивостей водних розчинів ПЕО, розглянутий з урахуванням (і виділенням) внеску всіх стадій взаємного впливу водного розчину ПЕО і структури гідродинамічного поля. При цьому динаміка макромолекул ПЕО у вхідній ділянці сопла струменеформуючої голівки вивчалася з використанням оригінальних методичних прийомів. Це дало можливість сформулювати деяку нову структурну концепцію, «спільним знаменником» якої є прояв суттєвої деформівної дії гідродинамічного поля на макромолекулярні клубки ПЕО (з їх розгортанням до 70%), що миттєво породжує прояв каучукоподібних властивостей, а утворюванні асоціати незалежно від природи – свого роду гумоподібну високоеластичність [1]. Науково обґрунтований шлях розроблення науково-теоретичних основ процесу різання харчових продуктів водополімерним струменем і є шлях, пов'язаний з використанням гумоподібних властивостей водних розчинів ПЕО, які можуть проявитися за певних умов протікання крізь струменеформуючу голівку.

Розрахунок режимів протікання водного розчину ПЕО крізь гідрорізальну голівку ґрунтується на використанні встановленого критерію, що характеризує початок переходу «клубок-розгорнутий ланцюг» та виникнення динамічного структуроутворення у полімерному розчині [2]. Отже, технологічні показники слід розраховувати, виходячи з умови виконання нерівності:

$$\dot{\varepsilon} \cdot \theta_c \geq De_{кр} . \qquad (1)$$

Співвідношення (1) слід трактувати як число Дебора, оскільки обернена величина повздовжнього градієнта швидкості є часовим масштабом течії [3]. Таким чином, розрахунок зводиться до визначення часу релаксації θ_c розчину

ПЕО і повздовжнього градієнту швидкості $\dot{\varepsilon}$, що реалізовується, при течії розчину у вхідній ділянці сопла струменеформуючої голівки.

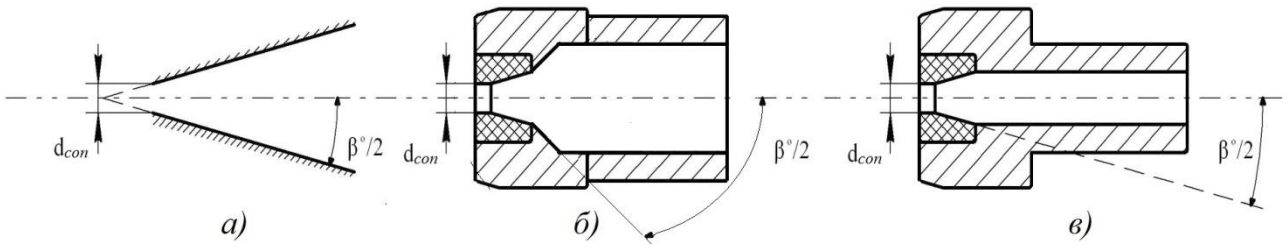
Час релаксації можна визначити експериментально, використовуючи результати наведені в роботі [1] . Час релаксації також піддається обчисленню, для чого отримано в аналітичному вигляді вираз, що пов'язує θ_c з концентрацією, температурою і молекулярними характеристиками ПЕО:

$$\theta_c = \begin{cases} \theta_0 e^k & \text{при } k < 1 \\ \theta_0 \dfrac{e^{k^{2/3}}}{k^{1/3}} & \text{при } k > 1 \end{cases}, \qquad (2)$$

де $k = [\eta]_0 \cdot C_{ПЕО}$.

Експериментальні точки для молекулярних мас $4 \cdot 10^6$ і $2 \cdot 10^6$ задовільно лягають на розрахункову за виразом (2) криву. Вплив температури у цьому виразі враховується температурною залежністю θ_0 і k.

Визначення *повздовжнього градієнта швидкості* можна звести до розв'язання рівняння руху ньютонівської рідини в конфузорі, яким і є вхідна ділянка сопла (рис. 1). Природним обмеженням використання співвідношення для градієнта швидкості, отриманого під час розв'язання задачі про течію ньютонівської рідини в конфузорі, для розрахунку $\dot{\varepsilon}$ під час течії водного розчину ПЕО, є витратні швидкості і кути входу, з яких проявляється надкритичний режим витікання з сопла струменеформуючої голівки. Критичне число $De_{кр}$ у цьому випадку відрізнятиметься від теоретично отриманого Петерліном значення $De_{кр}$= 0,5 [4], тому визначається експериментально. Так, за критичне (уявне) число Дебора береться число, починаючи зі значення якого у водополімерного струменя починає проявлятися вища, ніж у водяного струменя різальна здатність.



а) – схема сопла; б) – сопло дослідного зразка машини МОВПС-100;

в) – сопло промислової гідрорізальної установки УКГ-3020

Рис. 1. Поперечний розріз вхідної ділянка соплової частини гідрорізальної струменеформуючої голівки

З гідромеханіки відомий розв'язок рівняння руху ньютонівської рідини в конфузорі [5]. Для повздовжнього градієнта швидкості у вхідній ділянці сопла

для не занадто великих $\beta^{o}\left(\beta^{o}<\frac{\pi}{2}\right)$ можна записати вираз: $\dot{\varepsilon}\approx 2Q\cdot tg\frac{\beta^{\circ}}{2}\Big/A\cdot d_{соп}$, де Q – швидкість витікання розчину полімеру, A – коефіцієнт проникливості сопла, $d_{соп}$ – діаметр сопла, β° – кут, відлічуваний вказаним на рис. 1 чином.

Враховуючи вище наведене, умова формування динамічних надмолекулярних структур у водних розчинах ПЕО при їх витіканні з сопла, яка повинна виконуватися при проектуванні конфігурації (форми) сопла гідрорізальної струменеформуючої голівки, має вигляд за $[\eta]_0\cdot C_{ПЕО}\le 1$:

$$\frac{\theta_0 \exp\{([\eta]_0\cdot C_{ПЕО})\}\cdot 2Q\cdot tg(\beta^{\circ}/2)}{d_{соп}^3}\ge De_{кр},\ \text{при}\beta^{\circ}<\frac{\pi}{2}. \qquad (3)$$

Оскільки критичне число Дебора визначається експериментально, то $A\cdot d_{соп}$ замінили на $d_{соп}^3$. Відповідно до отриманих експериментальних даних, критичне число Дебора прийнято рівним 1,0. Зі співвідношення (3) випливає, що прояв аномально високої різальної здатності водополімерного струменя при $\bar{u}\ge u_{кр}$ збільшується зі збільшенням кута входу в сопло, швидкості струменя, концентрації і молекулярної маси ПЕО, а також зі зменшенням діаметра соплового отвору.

Література:

1. Pogrebnyak A., Chudyk I., Pogrebnyak V., Perkun I. Coil-uncoiled chain transition of polyethylene oxide solutions under convergent flow // Chemistry and Chemical Technology. 2019. Vol. 13, No.4. Pp. 465–470.

2. Pogrebnyak V. G., Pogrebnyak A. V., Perkun I. V. Maxwell fluid flow in system supplying hydrodynamically active polymer to boundary layer of streamlined object // Mathematical Modeling and Computing. 2021. Vol. 8, No.1. Pp. 58–68.

3. Астарита Дж., Маруччи Дж. Основы гидромеханики неньютоновских жидкостей. М.: Мир, 1978. 309 с.

4. Peterlin A. Hydrodinamics of macromolecules in a velocity field with longitudinal gradient // J. Polym. Sci. Pt. Polym. Letters. 1966. Vol. 4, № 4. Pp. 287–291.

5. Бойко Б. Б., Инсарова Н. И. Течение вязкой ньютоновской среды в плоскости гиперболического цилиндра и однополостного гиперболоида вращения // Инж.–физ. журн. 1975. Т. 29, № 4. С. 675–681.