

забрудненості атмосфери на кожній з ділянок. У результаті застосування методики була отримана оцінка ризику для кожної ділянки розбивки. На основі отриманих оцінок індексу ризику було проранжовано всі ділянки і виділено ділянки з найбільшим індексом ризику. Відповідно в цих зонах необхідно приділяти підвищену увагу своєчасному виявленню шкідливих викидів та засобам швидкого реагування для запобігання шкоди здоров'ю населення.

Наведені результати можуть свідчити про те, що стан атмосфери на оцінюваній території навколо ТЕЦ буде в нормі і не є небезпечним, та визначені ділянки з підвищеною небезпекою, на яких рекомендується встановлення точок постійного моніторингу атмосферного повітря.

Використання теорії нечіткої логіки, на нашу думку, є дуже перспективним у випадках з обмеженістю вихідних даних, недостатністю даних та за складності алгоритмів оброблення даних з використанням інших математичних підходів, зокрема методів теорії ймовірності та статистичних методів. Методи теорії ймовірності окрім зазначених вище недоліків також потребують складних математичних підрахунків. Статистичні методи, своєю чергою, значно залежать від кількості необхідних накопичених статистичних даних. З огляду на це, методи нечіткої логіки є універсальнішими, зручнішими та простішими у реалізації з погляду математичного апарата.

1. Статюха Г.О., Бойко Т.В., Бендюг В.І., Абрамов І.Б. Алгоритм прийняття рішень при оцінці впливів на навколишнє середовище // Вісн. Вінницьк. політехн. ін-ту. – Вінниця, 2006. – №5. – С.119–123. 2. Бойко Т.В., Статюха Г.О., Бендюг В.І., Іцишина А.О. Проблеми визначення потенційно небезпечних об'єктів при їх ідентифікації // Вісн. Одеськ. держ. акад. будівн. та арх. – Одеса: Зовнішрекламсервіс, 2007. – Вип. №27. – С. 27–36.

УДК 678.05

Д.Е. Сідоров, О.Є. Катунін

Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”

## **ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТ ВТОРИННОЇ СИРОВИНИ ПІД ЧАС ФОРМУВАННЯ ТРИШАРОВИХ ПОЛІМЕРНИХ ТРУБ**

© Сідоров Д.Е., Катунін О.Є., 2009

**Наведено методику визначення витрат вторинного полімеру під час екструзії тришарових труб. Наведено результати розрахунку для виготовлення труби діаметром 200×230 мм**

**The quantifying technique of a reuse of polymeric scraps for pipes which consist of three stratum during manufacturing is represented. The outcomes of calculations for a pipe's manufacturing process by a diameter 200×230 mm are shown.**

Трубні полімерні вироби використовують у сучасних напірних та зливних магістралях побутових і промислових систем водопідводу та водовідведення. Вони не піддаються корозії, не заростають відкладеннями, практично не вимагають витрат на експлуатацію, мають термін служби більше 50 років. Застосування таких труб дає змогу знизити тепловтрати більш ніж у 10 разів порівняно з традиційною прокладкою, а також повністю позбутися від витоків теплоносія. У країнах європейської співдружності полімерні труби застосовуються скрізь, де це можливо за умовами експлуатації. Кожен рік світові виробники виготовляють більше ніж 10 млн. т полімерних

труб. Вартість труби можна знизити майже на третину, якщо в її конструкцію закладено шар вторинної полімерної сировини. У цьому разі вторинна сировина розміщується всередині труби і ізолювана з двох сторін шарами первинного полімеру. Таку тришарову систему можна використовувати також і там, де за умовами експлуатації (медичними або екологічними) неприпустима присутність вторинного полімеру.

Тришарові полімерні труби виготовляють методом співекструзії. У разі виготовлення трубної заготовки у формуючому каналі реалізуються умови стратифікованого руху шарів розплаву.

Рівняння руху, яке потрібно записати для кожного шару, має вигляд:

$$\frac{\partial p}{\partial z} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r t_{rz}), \quad (1)$$

де  $p$  – функція тиску;  $z, r$  – координати циліндричної системи координат.

Рівняння (1) необхідно доповнити залежністю напружень від швидкості (швидкості зсуву):

$$t_{rz} = h \frac{\partial v_z}{\partial r}, \quad (2)$$

де  $h$  – в'язкість;  $v_z$  – компонента вектора швидкості.

Вирази (1, 2) отримано для таких припущень: система координат циліндрична ( $ZRq$ ); рушійною силою процесу є градієнт тиску, причому  $\frac{\partial p}{\partial z} \gg \frac{\partial p}{\partial r}$ ,  $\frac{\partial p}{\partial z} \gg \frac{\partial p}{\partial q}$ ; масові сили малі порівняно із силами в'язкого тертя; рух сталий; задача співекструзії має симетрію відносно осі  $OZ$ ; виконуються вимоги нерозривності течії  $\nabla v = 0$ ; формуючий канал гладкої циліндричної форми  $\frac{\partial v_r}{\partial z} = 0$ .

Граничні умови стратифікованої тришарової течії виглядають так.

На внутрішній границі  $R_0$  діють умови прилипання:

$$v_z^{(1)}(R_0) = 0. \quad (3)$$

На границі шару 1 та 2 діють умови рівності швидкостей:

$$v_z^{(1)}(R_1) = v_z^{(2)}(R_1). \quad (4)$$

На границі шару 2 та 3 діють умови рівності швидкостей:

$$v_z^{(2)}(R_2) = v_z^{(3)}(R_2). \quad (5)$$

На зовнішній границі  $R_3$  діють умови прилипання:

$$v_z^{(3)}(R_3) = 0. \quad (6)$$

Тут позначено:  $v_z^{(j)}(R)$  – швидкість течії в точці із координатою  $R$   $j$ -го шару.

Тришарова конструкція труби передбачає можливість її виготовлення із трьох різних матеріалів (співекструзією). Для подальших перетворень по суті не важливо, яким способом буде задано в'язкість для кожного шару: степеневим законом, табличними функціями, в інший спосіб.

У зв'язку з тим, що найширшого застосування набув степеневий закон в'язкості із поправкою Арреніуса на температуру розплаву [1], використовуватимемо залежність в'язкості  $h^{(i)}$  від швидкості зсуву та температури  $T$  для полімерів кожного  $j$ -го шару у вигляді

$$h^{(j)} = \begin{cases} h_0^{(j)} \exp\left(\frac{A^{(j)}}{T}\right), & g \leq g_0; \\ h_0^{(j)} \left| \frac{\partial v_z}{\partial r} \right|^{n-1} \cdot \exp\left(\frac{A^{(j)}}{T}\right), & g_0 \leq g \leq g_m; \\ h_m^{(j)} \exp\left(\frac{A^{(j)}}{T}\right), & g \geq g_m; \end{cases} \quad (7)$$

де  $g_0, g_m, h_0^{(j)}, h_m^{(j)}$  – нижнє та верхнє значення швидкостей зсуву зони «степеневий» поведінки розплаву і відповідні значення в'язкості  $j$ -го шару;  $A^{(j)}, n$  – реологічні константи.

Підставимо вираз для напружень (2) у рівняння (1), скористаємось методом кінцевих різниць [2]. Задача визначення поля швидкостей є нелінійною, тому вимагає ітераційної процедури розв'язання. Для застосування методу ітерацій розв'яжемо рівняння відносно вузлового значення швидкості  $v_i$ :

$$v_i = \frac{h_- h_+}{2h} \left( \frac{1}{r} \frac{\partial(rh)}{\partial r} \frac{\partial v_z}{\partial r} - \frac{\partial p}{\partial z} \right) + \frac{1}{2} \left( \frac{h_-}{h_+} v_{i+1} + \frac{h_+}{h_-} v_{i-1} \right), \quad (8)$$

де  $h_-, h_+$  – крок сітки за незалежною координатою перед вузлом  $i$  та після нього відповідно.

Похідні в'язкості та швидкості відповідно матимуть вигляд

$$\frac{\partial v_z}{\partial r} = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{h_+} v_{i+1} + \frac{h_- - h_+}{h_- h_+} v_i - \frac{1}{h_-} v_{i-1} \right), \quad (9)$$

$$\frac{1}{r} \frac{\partial(rh)}{\partial r} = \frac{1}{2R_i} \left( \frac{1}{h_+} R_{i+1} h_{i+1} + \frac{h_- - h_+}{h_- h_+} R_i h_i - \frac{1}{h_-} R_{i-1} h_{i-1} \right), \quad (10)$$

де  $R_i$  – радіус-координата  $i$ -го вузла,  $h_i$  – вузлове значення в'язкості за рівнянням (7).

Витрата полімера у другому шарі труби, що містить вторинну полімерну сировину визначається інтегралом

$$Q^{(2)} = 2p \int_{R_1}^{R_2} (rv) dr. \quad (11)$$

Витрати (11) можна отримати числово, наприклад, в такий спосіб:

$$Q^{(2)} = 2p \sum_{i=1}^{k_2} h_i v_i R_i, \quad (12)$$

де  $k_2$  – кількість вузлів сітки другого шару труби.

Залежність витрат від градієнта тиску можна отримати за методом послідовного навантаження: циклічно визначаючи поле швидкостей (8), витрати (12) за значеннями  $\frac{\partial p}{\partial z}$ , що задаються із необхідним кроком.

На рис. 1 наведено приклад розрахунків для процесу екструзії труби з поліетилену (формуєча головка  $\emptyset 200 \times \emptyset 230$ , висота формуєчого зазору для внутрішнього шару із суміші вторинних поліолефінів дорівнює 5 мм).

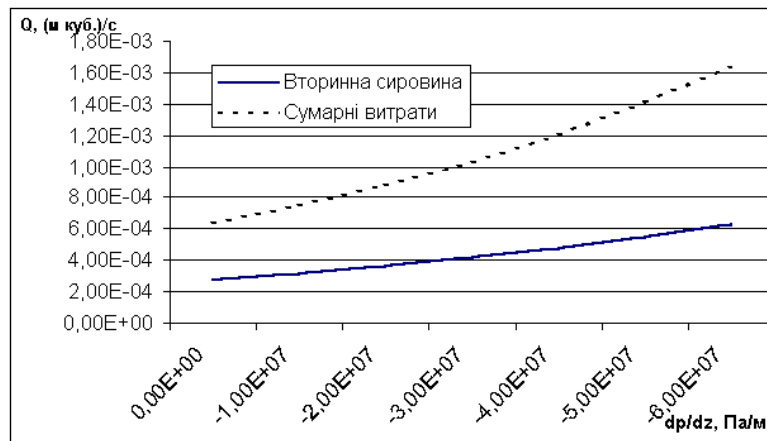


Рис. 1. Залежність витрат вмісту вторинного полімеру від градієнта тиску в формуючому каналі

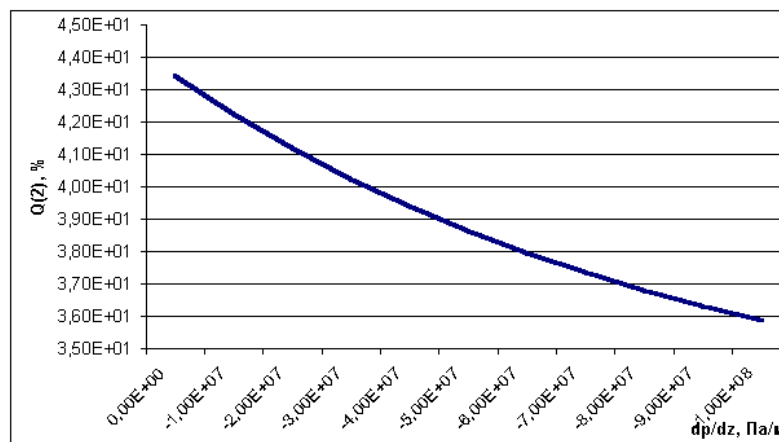


Рис. 2. Вплив градієнта тиску на вміст вторинного полімеру у разі формування тришарової труби

Із рис. 2 добре видно, що навіть за умови формування другого шару тільки на 1/3 геометричної товщини трубної заготовки, витрати вторинного матеріалу становлять 36–43 % від загальної кількості матеріалу труби. Варто відзначити, що інтенсифікація процесу співекструзії за рахунок підвищення градієнта тиску в формуючій головці в 10 разів призводить до зменшення вмісту вторинного полімеру у кінцевому виробі тільки на 7 %.

1. Сідоров Д.Е., Сівецький В. І., Сокольський О. Л. Комп'ютерне моделювання та проектування екструзійного полімерного устаткування. – К.: Екмо, 2007. – 188 с. 2. Волков Е.А. Численные методы. – М.: Наука, 1987/ – 248 с.