

Соколенко А.І.,
Піддубний В.А.,
Якимчук М.В.,
Лензійон С.В.,
Шевченко О.Ю.,

Національний університет харчових технологій

ІНТЕНСИФІКАЦІЯ МАСООБМІННИХ ПРОЦЕСІВ В СИСТЕМАХ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

Поєднання режимів транспортування і масообміну в рідинних, газорідних системах або в системах з домішками твердих фракцій відповідає значній кількості харчових технологій.

Підвищення інтенсивності масообміну при цьому шукають на шляху розміщення в трубопроводах різних вставок, турбулізаторів, пристроїв закручування потоків тощо. Однак таке додаткове улаштування має свої недоліки [1–3]. Разом з цим існує можливість досягати позитивних результатів за рахунок використання масових сил [4].

Опис реалізації такого напрямку вибрано завданням цього дослідження.

Ідея генерування силових впливів в потоці за рахунок його власної кінетичної енергії є цілком досяжною для лінійних трубопроводів. При цьому пропонується поверхню трубопроводу виконати у формі, за якої в поперечних напрямках з заданим кроком чергуються еліптичні перерізи, повернуті один відносно іншого на 90° (рис. 1).

Основні параметри еліптичних перерізів наведені на рис. 2.

Перехід від кругового поперечного перерізу трубопроводу до еліптичного

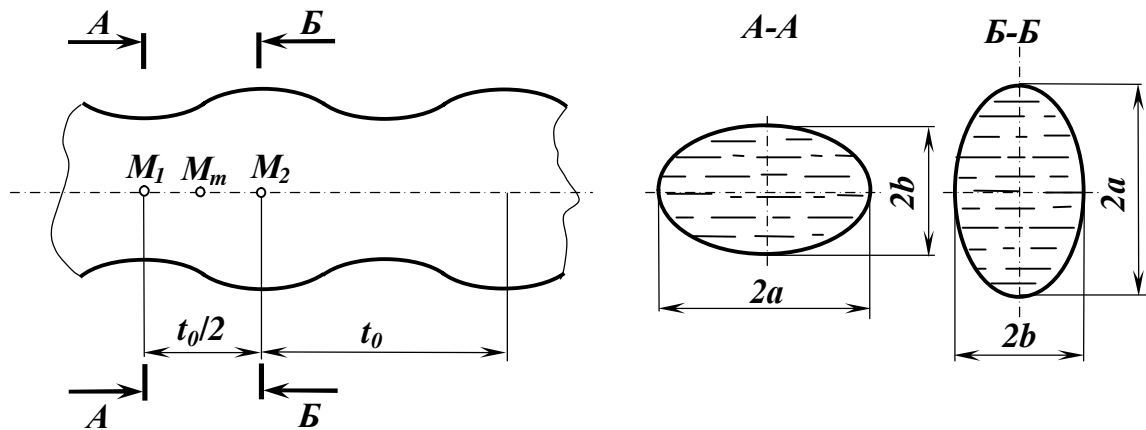


Рис. 1. Схема трубопроводу зі змінними перерізами

означає зменшення площі його поперечного перерізу. Найбільшим таким змінам відповідають перерізи А-А та Б-Б, а на відстані $t_0/2$ будуть мати місце перехідні перерізи. Оскільки в нашому дослідженні важливою є оцінка геометричних параметрів перерізів, звернемося до наступної інформації.

Еліпс відноситься до кривих 2-го порядку, які визначаються як криві, що є геометричним місцем точок, для яких відношення відстаней до заданої точки F (фокуса) і до заданої прямої (директриси) є величиною сталою, рівною e (ексцентриситету). За $e < 1$ формується еліпс, при $e = 1$ – парабола, при $e > 1$ – гіпербола. Еліпсом називається множина точок $M = (x, y)$, для яких сума відстаней до двох фіксованих точок $F_1 = (+c, 0)$ і $F_2 = (-c, 0)$ (фокусів) стала (дорівнює $2a$). Відстані $r_1 = |\overline{F_1M}|$ і $r_2 = |\overline{F_2M}|$ обчислюються за формулами

$$r_1 = a - ex; \quad r_2 = a + ex.$$

Елементами еліпса є більша вісь $AB = 2a$; менша вісь $CD = 2b$; вершини A, D, C і B ; $c = \sqrt{a^2 - b^2}$; ексцентриситет $e = c/a$; фокальний параметр $p = b^2/a$.

Радіус кривини R в точці M

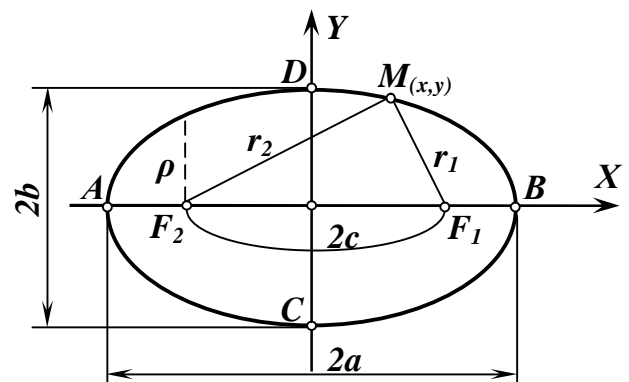


Рис. 2. Схема до визначення геометричних параметрів еліптичного перерізу трубопроводу

(x_0, y_0)

$$R = a^2 b^2 \left(\frac{x_0^2}{a^4} + \frac{y_0^2}{b^4} \right)^{3/2} = \frac{(r_1 r_2)^{3/2}}{ab}. \quad (1)$$

Для вершин А та В маємо

$$R = \frac{b^2}{a} = p, \quad (2)$$

а для вершин С та D

$$R = \frac{a^2}{b} = p. \quad (3)$$

Площа перерізу

$$F_{\text{пер}} = \pi ab, \quad (4)$$

а довжина контуру перерізу

$$L = 4aE(e) = 2\pi a \left[1 - \left(\frac{1}{2} \right)^2 e^2 - \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{3}{4} \right)^2 \frac{e^4}{3} - \left(\frac{1}{2} \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{5}{6} \right)^2 \frac{e^6}{5} - \dots \right] \quad (5)$$

де $E(e) = E(e, \pi/2)$ – повний еліптичний інтеграл.

Якщо вважати, що утворення еліптичних перерізів на трубопроводі здійснюється деформацією труби сталого перерізу без залишкових деформацій, то за таких умов

$$L = 2\pi r_{\text{тр}} \quad \text{і} \quad r_{\text{тр}} = a = b. \quad (6)$$

Наближена формула по визначенню L має вид

$$L \approx \pi [1,5(a+b) - \sqrt{ab}]. \quad (7)$$

Для оцінки у зміні $F_{\text{пер}}$ за деформації початкової форми труби необхідно встановити співвідношення між величинами a та b . Позначимо відношення цих параметрів

$$k = \frac{a}{b} \quad \text{або} \quad a = kb. \quad (8)$$

Підстановка параметра a у рівняння (7) приводить до форми

$$L \approx \pi \left[1,5(kb+b) - \sqrt{kb^2} \right] = \pi b \left[1,5(k+1) - \sqrt{k} \right]. \quad (9)$$

Звідси визначаємо

$$b = \frac{L}{\pi[1,5(k+1) - \sqrt{k}]}; \quad (10)$$

$$a = \frac{kL}{\pi[1,5(k+1) - \sqrt{k}]}. \quad (11)$$

Тоді площа поперечного перерізу визначиться залежністю

$$F_{\text{пер}} = \frac{kL^2}{\pi[1,5(k+1) - \sqrt{k}]^2}. \quad (12)$$

Отже, задаючись значеннями k та L , одержуємо можливість вирахувати площу поперечного перерізу трубопроводу. Виконаємо розрахунки стосовно початкового розміру $L = 0,1595\text{м}$ для труби з $d_{\text{тр}} = 2''$ При цьому $L^2 = 0,0254\text{м}^2$. Результати розрахунків відображені у таблиці.

Результати розрахунків по визначенню $F_{\text{пер}}$

k	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2,0
$F_{\text{пер}}, \text{м}^2$	0,00202	0,00201	0,001998	0,00197	0,00194	0,0019	0,00186	0,00182	0,00178	0,00174	0,0017

За вибраного діапазону зміни параметрів, як видно з таблиці 3.5, площа поперечного перерізу зменшується на 15 %. Це означає, що на таку ж величину в ньому збільшується швидкість і зменшується тиск, створюючи пульсацію останнього. Проте головною перевагою при цьому слід вважати активне перемішування потоку в поперечному напрямку. Завдяки останньому виникає можливість суттєво підвищити показники інтенсивності тепло- і масообміну як в потоці, так і теплообміну з зовнішнім середовищем. При цьому частота циклів силових дій, тисків і переформувань потоку залежить від його швидкості і кроку розміщення однаково розташованих аналогічних перерізів:

$$v = \frac{w}{t_0}, \text{с}^{-1}. \quad (13)$$

Переформування потоку у положенні більшої осі, яка «повертається» на

90° відбувається на відстані $t_0/2$ і час переформування складає

$$\tau_{\text{пер.}} = \frac{t_0}{2w_c}, \text{ с,} \quad (14)$$

де w_c – середня швидкість потоку.

За цей час поздовжня швидкість потоку у своєму значенні зміниться від w_{max} до w_{min} і знову до w_{max} і при цьому

$$w_c = \frac{w_{\text{min}} + w_{\text{max}}}{2} \quad (15)$$

Середній швидкості w_c відповідає також умова $a = b$. Елементарні часточки потоку, координати розташування яких близькі до точок А, В, С і D (рис. 3.16) за час переформування потоку перемістяться на величину $(a - b)$. У першому наближенні за цією величиною визначимо швидкість складових частинок потоку у поперечному напрямку

$$w_{\text{с.поп.}} = \frac{a - b}{\tau_{\text{пер.}}} \quad (16)$$

При цьому середнє прискорення становитиме

$$a_{\text{с.поп.}} = \frac{w_{\text{max}} - w_{\text{min}}}{\tau_{\text{пер.}}} = \frac{2(w_{\text{max}} - w_{\text{min}})w_c}{t_0} \quad (17)$$

Наявність прискорень у поперечному русі складових потоку означає додаткові силові впливи, які генеруються за рахунок енергії потоку і його взаємодії з трубопроводом.

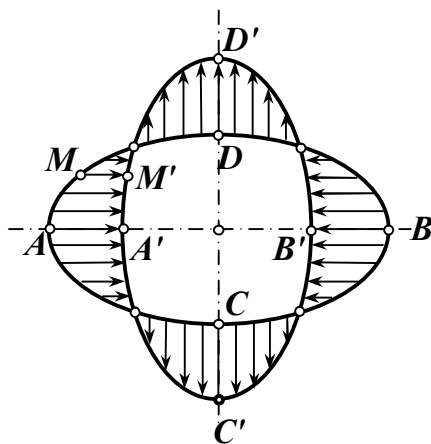


Рис. 3. Схема до пояснення процесу переформування потоку

На рис. 3 наведено схему з виділеними сегментами і зображеними епюрами напрямків переміщень складових частин потоку. Оскільки вказані переміщення здійснюються в однакових межах часу, то це означає наявність різних швидкостей елементарних потоків і присутність тертя між ними, а рівно і перемішування середовища потоку в поперечному напрямку. Ефектив-

ність перемішування суттєво підсилюється тим, що на наступному пів етапі напрямки елементарних потоків змінюються на протилежні.

З умови (12) видно, що її частина у вигляді функції

$$F(k) = \frac{k}{[1,5(k+1) - \sqrt{k}]^2} \quad (18)$$

є характеристикою співвідношень площ поперечних перерізів, а рівно і кінематичних та динамічних параметрів, що характеризують потік. За залежністю (18) виконано розрахунки, результати яких наведено на графіку (рис. 4). Як і належало очікувати, найбільшому значенню $F(k)$ і максимальному перерізу $F_{\text{пер max}}$ відповідає умова $a = b$ і координата точки M_m (рис. 1) яка розташована на середині ділянки з позначкою $t_0/2$.

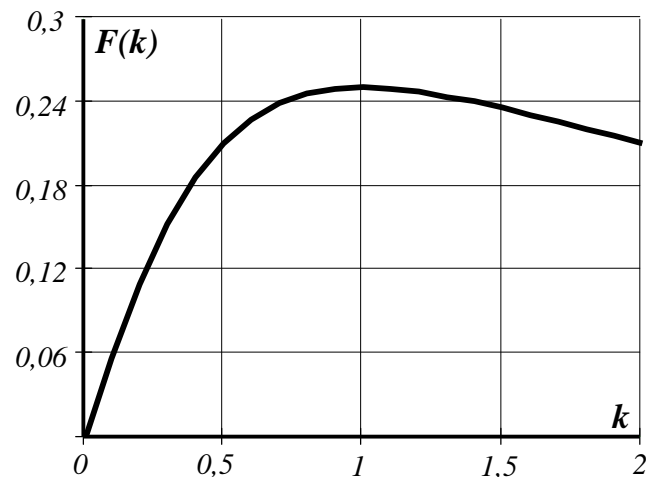


Рис. 4. Графік залежності

$$F(k) = \frac{k}{(1,5(k+1) - \sqrt{k})^2}$$

З наведених даних видно, що значенням $k = 0,5$ і $k = 2,0$ відповідають значення функції

$F(k) = 0,21$, що відповідає асиметричному розташуванню найменших поперечних перерізів за зміни величини k у вказаних межах.

Між цими крайніми позиціями відбувається безперервна зміна величин k , $F(k)$ і $F_{\text{пер}}$, що означає безперервну зміну швидкості і тиску в потоці. При цьому в межах змін від $k = 0,5$ до $k = 1$ має місце зменшення швидкості і збільшення тиску, а на ділянці від $k = 1$ до $k = 2$ швидкість потоку зростає, а тиски зменшуються.

Висновки. 1 Генерування масових сил в рідинних, газових або газорідинних потоках за рахунок використання спеціальної геометрії трубопроводів дозволяє досягати різних частот і значень силових впливів.

2. Трубопроводи з еліптичними перерізами, повернутими почергово на

90° забезпечують активне перемішування середовищ в поперечному напрямку і інтенсивний масообмін.

Література

1. Соколенко А.И., Українець А.И., Яровой В.Л. и др. Справочник механика пищевой промышленности. – К.: АртЭк, 2004. – 304 с.
2. Піддубний В.А. Наукові основи і апаратурне оформлення перехідних процесів харчових і мікробіологічних виробництв. Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня докт. техн. наук. – К.: НУХТ. – 2008. – 47 с.
3. Соколенко А.І., Васильківський К.В., Бут С.А. та ін.. Патент України на корисну модель № 33523 «Масообмінний пристрій». Опубл. 25.06.2008. Бюл. № 12.