

УДК 663.059

В.В. Черній

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна

ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ГІДРОДИНАМІЧНОГО ОПОРУ В КІЛЬЦЕВОМУ КАНАЛІ ПРИ РОЗЛИВІ ГАЗОВАНИХ РІДИН

V.V. Chernij

HYDRODYNAMIC FEATURES OF THE GAS FLUID CURRENCY IN THE CELL CHANNEL IN LUBRICANTS

У харчовій промисловості при розливі шампанського, пива та інших газонаповнених рідин широко поширений випадок ізотермічного руху нестисливої рідини в кільцевому зазорі між двома концентричними трубами (рис.1). Труднощі у вдосконаленні виробництва газонаповнених напоїв з точки зору підвищення ресурсозбереження створює стадія їх розливу. З одного боку, неконтрольовані швидкості і газовміст призводить до несанкціонованого підвищення тиску і «виплеску» напоїв. З іншого боку, занижені швидкості розливу зменшують продуктивність процесу. Одним із шляхів подолання даних проблем є зменшення стрибків надлишкового тиску за рахунок вдосконалення фасувального пристрою.

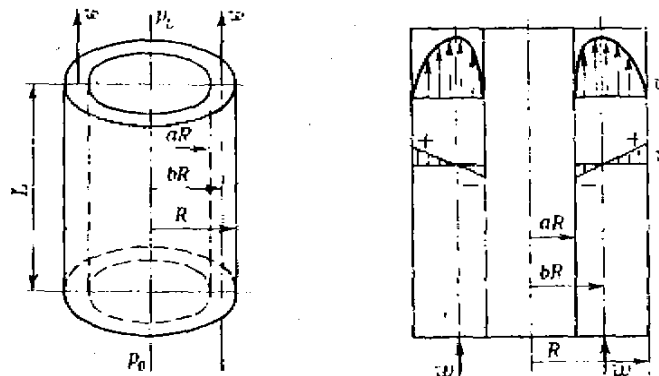


Рисунок 1. Рух рідини в кільцевому зазорі між двома концентричними трубами

При вирішенні завдань, пов'язаних з визначенням режиму транспортування рідин або газів в трубопроводах, зазвичай користуються залежністю між відношенням w/w_{max} і значенням критерію Рейнольдса:

$$w_{cp} = 0.817 w_{max}.$$

Коефіцієнт опору λ при турбулентному режимі руху в межах зміни значень критерію Re від $4 \cdot 10^3$ до 10^5 для гідравлічно-гладких труб зазвичай визначають за формулою Блазіуса:

$$\lambda = \frac{0.316}{Re^{0.25}}.$$

Більш точна залежність (для великих значень Re) між коефіцієнтом опору λ і режимом руху може бути отримана при використанні логарифмічного закону розподілу швидкостей. При виведенні логарифмічного профілю Re прямує до 0, оскільки нехтують молекулярної в'язкістю μ в порівнянні з в'язкістю при турбулентній течії μ_t . Для значень $Re > 10^5$ коефіцієнт опору можна розрахувати за формулою:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \lg \cdot (Re \cdot \sqrt{\lambda}) - 0.8.$$

Дослідженнями Нікурадзе, Шіллера та інших вчених встановлено, що коефіцієнт опору λ в значній мірі залежить також і від шорсткості труб:

$$\lambda = f(Re, e),$$

де e - ефективна висота виступів на внутрішній поверхні труби. Зазвичай для характеристики шорсткості використовують так звану відносну шорсткість e/d або d/e (де d - діаметр труби).

Якщо висота виступів e в трубі менша товщини ламінарного підшару δ , то шорсткість стінок не впливає на величину коефіцієнта опору λ при турбулентному режимі руху потоку. При великій висоті виступів ($e > \delta$) турбулентність потоку збільшується, і опір зростає. Для рівномірно зернистої шорсткості стінки труби можна приймати гідравлічно гладкою в тих випадках, коли відносна шорсткість менше граничного значення

$$\left(\frac{e}{d}\right)_{np} = 17.85 Re^{-0.875}$$

При ламінарному режимі руху вплив шорсткості стінок труби на опір дуже незначний і ним зазвичай нехтують. У перехідній області від ламінарного до турбулентного режиму величина відносної шорсткості майже не впливає на коефіцієнт опору λ . Область, в якій коефіцієнт λ залежить тільки від відносної шорсткості і не залежить від Re , носить назву області квадратичної залежності опору від швидкості потоку. Наведені вище формули для визначення гідродинамічного опору справедливі як для труб з круглим перетином, так і з не круглим, якщо в критерій Рейнольдса ввести замість діаметра труби еквівалентний гідравлічний діаметр d . Так, наприклад, для перетину міжтрубного простору дозуючої ємкості типу «труба в трубі» еквівалентний діаметр

$$d_e = \frac{4\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4\pi \cdot (D + d)} = D - d .$$

Щоб простежити залежність об'ємної витрати і газовмісту від шорсткості поверхні внутрішніх стінок дозатора слід розглядати область розвиненої турбулентності чи область квадратичної залежності. В області квадратичної нерівності течія рідини описується рівнянням Прандтля-Нікурадзе:

$$\lambda = \frac{1}{\left(1.14 + 2 \lg \frac{d}{k}\right)^2} .$$

Залежність газоутримування від шорсткості внутрішньої поверхності можна розраховується за формулою:

$$\varepsilon'_G = \frac{p'' \cdot \varepsilon_G''}{p'' \varepsilon_G'' + p' \varepsilon_H''} ,$$

де ε'_G , ε_G'' , ε_H'' - об'ємні частки газу в рідині або газовміст розлитого напою в ємкості; газу в рідкій фазі або газоскупчення в рідині в баці розливу; рідкої фази в двохфазній суміші в баці розливу. З врахуванням коефіцієнта опору λ , перепад тиску буде:

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{l \cdot w_{cp}^2 \cdot \rho}{d \cdot 2} .$$

Таким чином прослідковується залежність газовмісту, точності дозування, а, отже, і якості продукту, від внутрішньої шорсткості стінок розливного пристрою.