

А.М. СВІТЛИК,
О.М. ПРОХОРОВ

Національний університет харчових технологій

СНАРЯДНИЙ РУХ ГАЗОРІДИННОЇ СУМІШІ В КАПІЛЯРІ

Розглянуто циліндричний капіляр, в якому рухається двухфазне середовище в снарядному режимі. Теоретично описується руху газорідинної суміші в снарядному режимі для випадку спливання бульбашки у гравітаційному полі. Провівши ряд математичних перетворень отримали рівняння витратам рідині в газі, яке дорівнює витрати рідини у плівці плюс витрати в пузирі: $q_f + q_b = q_g$. Дана стаття може бути використана при розробці обладнання для сатурації рідини.

Ключові слова: снарядний рух, газорідинна суміш, циліндричний капіляр, рівняння об'ємних потоків речовин, рівняння нерозривності.

Мікротехнології знаходять інтенсивне впровадження в харчову промисловість. Особливе впровадження знаходять вони при перемішуванні, тепло-масообмінних процесах, а також при мікрофільтруванні. Дані процеси проводяться в мікро- і мініканалах, які мають капілярну структуру. Велика увага приділяється газорідинним процесам, які представляють собою блоки паралельно з'єднаних капілярів з радіусом 2 – 5 мм. Найбільш перспективним режимом проведення газорідинних процесів являється снарядний. При снарядному режимі руху газорідинної суміші бульбашки відділені одна від іншої рідинним снарядом (пробкою). Особливістю даного режиму являється: добре перемішування рідинного снаряду за рахунок тейлоровських вихрів; незначний дифузійний шлях для молекул газу, що проникають через плівку рідини між бульбашкою та перфорованою стінкою капіляру.

Питанням формування бульбашок, рух їх в стиснених умовах приділялося багато уваги. Огляд даного питання викладено в роботі [1].

В багатьох роботах описування руху газорідинних систем в капілярах проводилося як динаміка руху газорідинної системи в трубах $\varnothing 50 - 70$ мм. Не рідко сприймалося, що швидкості фаз однакові, а газоміст та витрати газу зв'язувалися простими співвідношеннями.

Одна із перших класичних робіт, присвячена динаміці руху газорідинної суміші в капілярі, виконана Тейлором [2].

Теоретичне описування руху газорідинної суміші в снарядному режимі дано для випадків: спливання бульбашки у гравітаційному полі; витискаєма бульбашкою рідина витікає в низ, так і для протитічного капіляру.

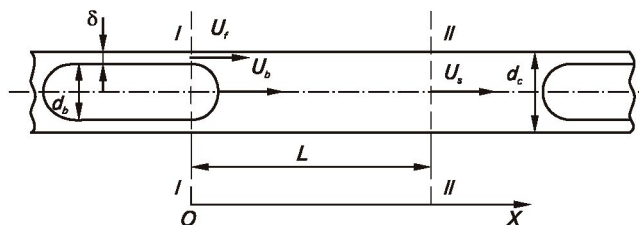


Рис. 1. Рух двухфазного середовища в циліндричному капілярі

Багато питань гідродинаміки газорідних систем при русі по капілярах потребує ретельного вивчення і не дозволяє встановити оптимальні умови, які підвищують ефективність процесу масообміну в системі газ-рідина.

Розглянемо циліндричний капіляр в якому відбувається рух двухфазного середовища в снарядному режимі. Виділимо об'єм, обмеженим січеннями I і II. Січення I – I проходить через циліндричну частину бульбашки, а січення II – II – через рідинний снаряд, значно віддалений від кінців бульбашок.

У випадку, коли розміри частинок співставленні з поперечним січенням снаряду, наприклад для снарядного руху двухфазних систем в капілярі, об'ємна доля i -ї фази не рівна долі площі, яку займає i -а фаза виділеного об'єму багатозфазної суміші V . Поверхнева доля i -ї фази.

$$\alpha_i = S_i / S. \quad (1)$$

Для фіксованого об'єму можна отримати рівняння нерозривності в загальній формі.

$$\frac{\partial(\rho_i \varepsilon_i)}{\partial t} + \operatorname{div}(\rho_i \alpha_i U_i) = q_{vi}, \quad (2)$$

де: ρ – густина, кг/м³; ε_i – об'ємна доля i -ї фази, відн. од.; q – об'ємні конвективні витрати, м³/с;

Для об'ємних далей фаз можна записати

$$\sum_{i=1}^N \varepsilon_i = 1. \quad (3)$$

Визначимо витрати фази:

для бульбашки

$$q_2(x=0) = q_B = \int_{A_B} U_2 dA_B = 2\pi \int_0^{R_B} U_2(r) dr, \quad (4)$$

$$U_2(x=0) = U_B = \frac{q_B}{A_B}, \quad (5)$$

для плівки рідини навколо бульбашки

$$q_1(x=0) = q_f = \int_{A_f} U_1 dA_f = 2\pi \int_{R_B}^R U_1(r) dr, \quad (6)$$

$$U_1(x=0) = U_f = \frac{q_f}{A_f}, \quad (7)$$

для рідинного снаряду

$$q_1(x=L) = q_s = \int_{A_s} U_1 dA_s = 2\pi \int_0^R U_1(r) dr, \quad (8)$$

$$U_1(x=L) = U_s = \frac{q_s}{A_s}, \quad (9)$$

Провівши ряд математичних перетворень можна отримати

$$q_f + q_B = q_s. \quad (10)$$

Вираз (10) – це рівняння об'ємних потоків речовин, в лівій частині рівняння сумуються об'ємні потоки речовин, які входять у фіксований об'єм V , або які виходять із нього через січення $x=0$, в правій частині потоки речовин, які входять у фіксований об'єм V , або виходять із нього через січення $x=L$.

Відомо, що швидкість руху бульбашки більша швидкості руху рідини в пробці $U_B > U_s$. Тому в залежності від площі поперечного січення бульбашки, рух плівки може бути направлений як в сторону руху бульбашки (коли її площа незначна) так і в зворотньому напрямку (коли бульбашка займає значну частину січення капіляра).

Висновки. При дослідженні снарядного руху газорідної системи в капілярі багато уваги приділялося питанню формування бульбашок та їхньому руху в стиснених умовах. Було проведено ряд математичних перетворень, з яких випливає, що в залежності від площі поперечного січення бульбашки, рух плівки може бути направлений як в сторону бульбашки, так і в зворотному напрямку.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Multiphase monolith reactors: Chemical reaction engineering of segmented flow in microchannels* / [Kreuter M.T., Kapteijn F., Monlajan I.A., Heiszwolf I.I.] // *Chemical Engineering Science*. — 2005. — V. 60. — P. 58 – 95.
2. *Taylor G.I. Deposition of viscous fluid on the wall of a tube* / Taylor G.I. — *I. Fluid Mech.* 1961. — N 10. — P. 161.

Рассмотрено цилиндрический капилляр, в котором движется двухфазная среда в снарядном режиме. Теоретически описано движение газожидкостной смеси в снарядном режиме для случая сплывающего пузырька в гравитационном поле. Проведя ряд математических преобразований получили уравнение расхода жидкости в газе, равное расхода жидкости в плёнке плюс расходы в пузыре: $q_f + q_b = q_s$. Данная статья может быть использована при разработке оборудования для сатурации жидкости.

Ключевые слова: снарядное движение, газожидкостная смесь, цилиндрический капилляр, уравнение объемного потока веществ, уравнение неразрывности.

A.M. Svitlyk, A.M. Prokhorov

Fast regime movement gas-liquid mixture in the capillary

The cylindrical capillary has been studied in which a two-phase medium movement in the fast regime takes place. The most promising mode of gas-liquid process is fast regime takes. Feature of this regime is: good mixing liquid shell small diffusion path for gas molecules. Theoretical description of gas-liquid mixture in the fast moving regime has been given for the case of bubbles emerging in the gravitational field. After a series of mathematical transformations were fluid flow equations in the gas, which is fluid flow in the film plus the cost of bubbles: $q_f + q_b = q_s$. This article may be used to develop equipment for fluid saturation.

Key words: fast regime movement, gas-liquid process, cylindrical capillary, volumetric flow equation substances, the equation of continuity.

Одержано редколегією 7.05.2012 р.