

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ПОВЕРХНЕВОГО НАТЯГУ РІДИН ЗА МЕТОДОМ МАКСИМАЛЬНОГО ТИСКУ У БУЛЬБАШЦІ

Кухар В.В., Боднар Р.Т.

Визначення поверхневого натягу на границі розділу між повітрям і досліджуваною рідиною здійснюється на основі виміряного максимального тиску в газовому меніску під час утворення повітряної бульбашки із каліброваного отвору, який вертикально занурений в рідину на глибину H .

Строга залежність між значенням σ і вимірним тиском є такою [1]:

$$\sigma = 0,5R_0 \cdot (P_{\text{макс}} - \Delta\rho \cdot g(H + z_0)) \quad (1)$$

де R_0 і z_0 – відповідно радіус кривизни газового меніска в його вершині і відстань від неї до нижнього торця капіляра в момент максимального тиску; $\Delta\rho$ – різниця густин досліджуваної рідини і повітря в меніску; g – прискорення вільного падіння.

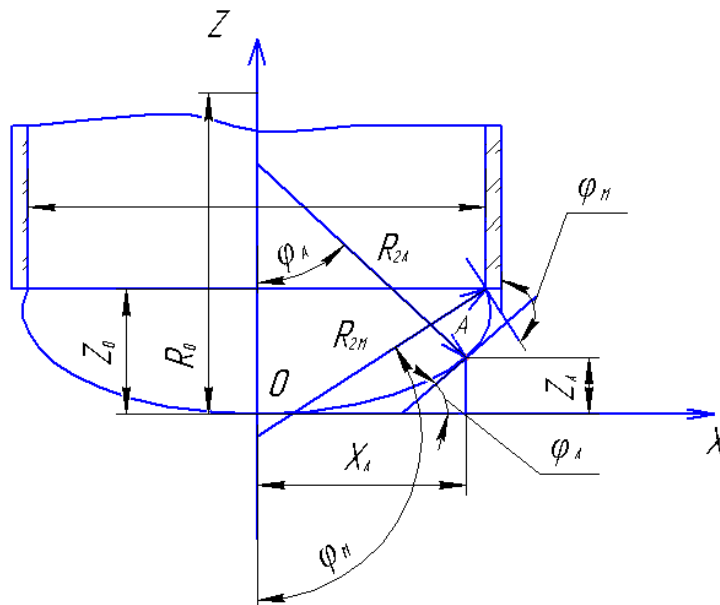


Рисунок 1 – Профіль меніска у момент максимального тиску

Оскільки значення параметрів R_0 і z_0 **R_0** **z_0** в момент максимального тиску в газовому меніску практично визначити неможливо, то залежність (1) потрібно замінити іншою, параметри якої піддавалися б або попередньому визначенню, або вимірюванню в момент максимального тиску. З цією метою проведено аналіз впливу різних чинників на значення параметрів R_0 і z_0 **R_0** і процесі утворення газового меніска на нижньому торці капіляра, а також відомих наближених залежностей для розрахунку значення поверхневого натягу σ **σ** на основі виміряного максимального тиску. У результаті встановлено, що на параметри R_0 і z_0 **R_0** впливають крайовий кут θ змочування досліджуваною рідиною матеріалу капіляра θ на границі з

повітрям, який є в меніску, радіус вихідного отвору каліброваного капіляра $r_{\text{вн}}$ та фізико-хімічні властивості досліджуваного розчину, які характеризуються капілярною сталою $a^2 = \frac{\sigma}{\Delta\rho \cdot g}$.

При використанні капілярів як з «ножевими», так і з «товстостінними» торцями необхідно перед проведенням вимірювань знати значення кута θ , γ – кута між дотичною до поверхні меніска в точці його контакту з торцем горизонтальною площиною торця капіляра через рідину в момент максимального тиску і α – кута гостроти нижнього торця «ножового» капіляру. Значення кута θ можна визначити за допомогою відомих засобів, кут α може бути заданим при виготовленні капіляра, але значення кута φ , яке може змінюватися в діапазоні $90^\circ > \gamma > 0^\circ$ і залежить від внутрішнього радіус капіляра $r_{\text{вн}}$, є наперед невідомим.

Щоб його знайти, розроблено математичний опис процесу утворення газового меніска із вихідного отвору вертикального капіляра, що торкається поверхні рідини, у вигляді такої систем диференціальних рівнянь:

$$\frac{d\varphi}{dS^*} = 2 + \beta \cdot z^* - \frac{\sin \varphi}{x^*}; \quad (2)$$

$$\frac{dx^*}{dS^*} = \cos \varphi; \quad \frac{dz^*}{dS^*} = \sin \varphi, \quad (3)$$

де $\beta = (R_0/a)^2$ – безрозмірний параметр, який характеризує форму меніска; $S^* = S/a$, $x^* = x/a$, $z^* = z/a$ – відповідно безрозмірні довжина дуги меніска, відстані від горизонтальної Ox та вертикальної Oz осей координат до відповідної точки A на поверхні меніска; φ – кут між віссю z і напрямом на $t.O$, R_0 – радіус кривизни меніска в його вершині ($t.O$).

Розв'язок системи рівнянь(2-3) здійснено методом Рунге-Кутта четвертого порядку. Задаючим параметром був параметр β ($0.001 < \beta < 500$), змінним – вибраний приріст дуги ΔS^* . Для визначення геометричних розмірів меніска в момент максимального тиску ньому розроблено відповідний алгоритм, суть якого полягає в тому, що одночасно розраховуються параметри поверхонь трьох менісків для $\beta - \Delta\beta$, β , $\beta + \Delta\beta$, що моделює три послідовні стани процесу росту одного меніска. Після $\varphi > 90^\circ$ для кожного приросту ΔS^* визначається безрозмірний надлишковий тиск у кожному із вказаних менісків:

$$\Delta P_i^* = \frac{\Delta P_i}{\Delta\rho \cdot g \cdot R_{0i}} = \frac{2}{\beta_i} + z_i^*, \quad (4)$$

де $i = 1, 2, 3$ – номер відповідного меніска.

Коли наступить момент $\Delta P_1^* < \Delta P_2^* > \Delta P_3^*$, то це означатиме, що меніску на даному етапі його росту матиме місце

максимальний надлишкові тиск, а отримані параметри φ_m, x_m, z_m характеризують цей меніск у даний момент для заданого значення β .

Результати розрахунків кутів φ_m і $\gamma = 180^\circ - \varphi_m$ у момент максимального тиску в меніску для різних β , а також значення безрозмірних параметрів $\Delta\rho g r_{вн}/P_{макс}$ і $\sigma/r_{вн} P_{макс}$ вигляді. Ці дані дають можливість після проведення вимірювання $P_{макс}$ розрахунку параметра як $\Delta\rho g r_{вн}/P_{макс}$ і знаходження за їх допомогою відповідного йому σ з урахуванням відомих значень кутів θ і α перевірити чи виміряне значення $P_{макс}$ можна взяти за основу для розрахунку значення σ . В іншому випадку необхідно змінити або форму нижнього торця капіляра, або використати капіляр з іншим радіусом вихідного отвору $r_{вн}$.

У процесі розрахунків були також отримані значення безрозмірних параметрів $R_0/r_{вн}$ і $Z/r_{вн}$ в момент максимального тиску в меніску, що дало можливість розрахувати такі безрозмірні параметри, як $\Delta\rho g r_{вн}/P_{макс}$ і $\sigma/r_{вн} P_{макс}$ які були апроксимовані у вигляді таких поліноміальних залежностей різного порядку ($n=1, \dots, 9$):

$$\frac{\sigma}{r_{вн} P_{макс}} = \sum_{i=0}^n C_i \left(\Delta\rho \cdot g \cdot \frac{r_{вн}}{P_{макс}} \right) \quad (5)$$

де C_i – постійні коефіцієнти, значення яких наведені в табл.1.

Таблиця 1 – Значення коефіцієнтів апроксимаційних залежностей та похибок апроксимації

| n | C_0 | C_1 | C_2 | C_3 | C_4 | C_5 | C_6 | ε |
|-----|-------|---------|---------|---------|--------|---------|--------|---------------|
| 3 | 0,5 | -0,3020 | -0,3144 | 0,3165 | | | | 0,0043 |
| 4 | 0,5 | -0,3417 | 0,0532 | -0,7697 | 1,0 | | | 0,0010 |
| 5 | 0,5 | 0,3415 | 0,0508 | -0,7574 | 0,975 | 0,0188 | | 0,0006 |
| 6 | 0,5 | -0,3268 | -0,2688 | 1,6793 | 7,5708 | 13,8172 | 8,3464 | 0,0002 |

В табл. 1 також подані отримані найбільші відносні похибки вказаних поліноміальних залежностей для $\Delta\rho g r_{вн}/P_{макс} < 0,58$.

$$\Delta\rho \cdot g \cdot \frac{r_{вн}}{P_{макс}} \leq 0,58$$

1. Література. Кісіль І.С., Кісіль Р.І. Дослідження поверхневих властивостей на межах розділу фаз / Івано-Франківськ: Видавництво Івано-Франківського університету нафти і газу, 2010.– 298 с.