

експериментальних досліджень із впливу пружних коливань на зміну швидкості фільтрації флюїду в нафтогазонасичених породах. Також важливим залишається питання впливу акустичного поля на реологічні властивості флюїду.

В даній роботі розглянутий вплив пружних коливань на властивості ньютонівських і неньютонівських рідин, які використовуються в нафтогазовидобувній промисловості.

Експериментально досліджено, що зміна реологічних параметрів пластичних флюїдів характеризується наявністю в'язкопружних і в'язкопластичних властивостей неньютонівських рідин.

Також зафіксовано зміну зсувної в'язкості нафти під дією пружних коливань. Встановлено, що зсувна в'язкість безпосередньо після впливу знижується на 20-30%, а через деякий час відновлюється повністю або частково (якщо дія проводиться в кавітаційному режимі).

Іншими експериментальними дослідженнями встановлено, що більший вміст асфальтосмолистих і парафінистих компонентів у нафтах призводить до суттєвіших змін в'язкості в докавітаційному режимі при низьких частотах впливу. Час відновлення в'язкості після такого впливу становив 5-6 год і більше.

Таким чином, можна стверджувати, що вплив акустичного поля може призводити до необоротного зниження в'язкості нафти при розвиненій кавітації, або до короточасного її зниження в докавітаційному режимі.

УДК 532.6.08

## **РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ОБЕРТОВОЇ КРАПЛІ ПРИ ВИМІРЮВАННІ МІЖ ФАЗНОГО НАТЯГУ НА МЕЖІ РОЗДІЛУ ДВОХ РІДИН**

*Шудравий В. А., Кісіль І. С. (науковий керівник)*

*Івано-франківський національний технічний університет нафти і газу, вул.  
карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, 76019*

Суть методу обертової краплі (ОК) полягає у тому, що горизонтально розміщену скляну трубку заповнюють більш важчою досліджуваною рідиною, наприклад, водним розчином ПАР, після чого вводять у цю рідину краплю більш легкої досліджуваної рідини, наприклад, нафти, і обертають трубку навколо її горизонтальної осі з певною кутовою швидкістю  $\omega$ . Вимірюють відповідні розміри ОК в залежності від вибраної методики визначення МН (наприклад, її найбільший діаметр, довжину, об'єм), а також різницю густин контактуючих рідин  $\Delta\rho$  і за допомогою відповідних залежностей розраховують значення МН  $\sigma$  [1÷4].

Розглянемо горизонтальну обертову трубку 1, усередині якої є рідина 2 з більшою густиною  $\rho_2$  і крапля рідини 3 з меншою густиною  $\rho_1$  (рис.1).

Нехай тиск на осі  $y$  усередині краплі (т.  $O$ ) буде рівним  $P_{01}$ , а ззовні краплі тиск  $P_{02}$ . При цьому впливом сили земного тяжіння знехтуємо, що дозволяє стверджувати, що осі обертання трубки 1 і краплі 3 співпадають.

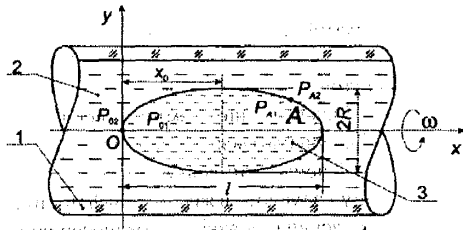


Рисунок 1 – Обертова трубка із досліджуваними важчою і легкою рідинами

Система рівнянь, що описують залежність геометричних розмірів ОК від розмірного параметра  $a = \sqrt[3]{\sigma / (\Delta\rho\omega^2)}$ , який пов'язує між собою фізико-хімічні параметри  $\sigma$  і  $\Delta\rho$  з кутовою швидкістю обертання краплі  $\omega$ , є такою [5]:

$$\frac{d\phi}{d(s/a)} = \frac{2}{R_0/a} - \frac{1}{2} \left( \frac{y}{a} \right)^2 - \frac{\sin\phi}{y/a}, \quad (1)$$

$$\frac{d(y/a)}{d(s/a)} = \cos\phi, \quad \frac{d(V/a^3)}{d(s/a)} = 2\pi \left( \frac{y}{a} \right)^2 \cdot \sin\phi, \quad \frac{d(x/a)}{d(s/a)} = \sin\phi. \quad (2)$$

де  $\phi$  - кут між віссю  $x$  і нормаллю до т.  $A$  на поверхні обертаної краплі (рис. 1);  $s$  - довжина дуги профілю ОК;  $R_0$  - радіус кривизни ОК у т.  $O$  (рис. 1);  $y, x$  - координати т.  $A$  (рис. 1);  $V$  - об'єм ОК.

Розв'язуючи (1) і (2) для різних заданих значень  $R_0/a$  в момент досягання куту  $\phi = 90^\circ$ , знаходимо відповідні геометричні параметри ОК.

Початковими умовами при цьому є такі:

$$y = x = s = V = \phi = 0, \quad (3)$$

а кінцевими такі:

$$R/a = 4^{1/3}, \quad R_0/a = 2 \cdot 4^{1/3}/3, \quad R/R_0 = 3/2. \quad (4)$$

В результаті розв'язку системи рівнянь (1) і (2) для  $1,05826519 \leq R_0/a \leq 1,05826736797879$  з урахуванням (3) і (4) методом Рунге-Кутта 4-го порядку були отримані такі безрозмірні параметри для  $\phi = 90^\circ$  ОК і  $l/(2R) \geq 4 \cdot a^3/V, l^3/V, l/(2R), R/r, cr^3, l/(2r)$ , де  $l$  - загальна довжина ОК,  $R$  - найбільший радіус ОК при  $\phi = 90^\circ$ ,  $r = \sqrt[3]{3V/(4\pi)}$  - радіус кулі об'ємом  $V$ ,  $c = l/(4a^3)$  - розмірний параметр ОК.

Отримані результати розрахунку  $a^3/V$  для діапазону  $l^3/V = 24 \div 120$ ,

що відповідає зміни  $l/(2R)$  в діапазоні  $4,0 \div 9,35$ , були використані для отримання апроксимаційної залежності  $a^3/V = f(l^3/V)$  такого виду:

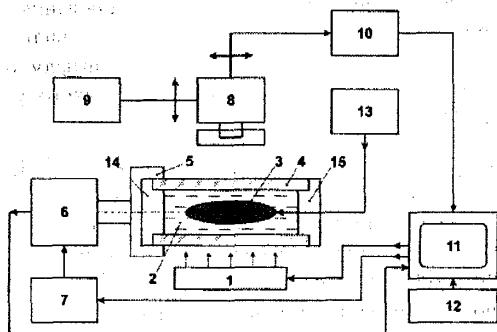
$$\frac{a^3}{V} = \frac{A(l^3/V)^2 + B(l^3/V) + C}{l^3/V + D}, \quad (5)$$

де  $A = -5,893 \cdot 10^{-6}$ ;  $B = 0,003261$ ;  $C = 0,259$ ;  $D = 3,648$ .

Тоді значення  $MH\sigma$  може бути розраховане таким чином:

$$\sigma = \Delta\rho\omega^2V \left( \frac{A(l^3/V)^2 + B(l^3/V) + C}{l^3/V + D} \right). \quad (6)$$

Структурна схема приладу, що реалізує запропоновану нами методику, приведена на рис. 2 і дозволяє здійснити процес вимірювання  $MH$  методом ОК.



1 - джерело монохромного світла; 2 - важка досліджувана рідина; 3 - обертова крапля із легшої досліджуваної рідини; 4 - скляна трубка; 5 - цанговий тримач; 6 - електронний двигун; 7 - блок зміни довжини обертової краплі; 8 - вимірювальний електронний мікроскоп; 9 - вузол переміщення; 10 - пристрій введення відеосигналу; 11 - електронно-обчислювальний блок; 12 - клавіатура; 13 - блок формування краплі заданого об'єму; 14, 15 - пробки

**Рисунок 2 – Структурна схема приладу для вимірювання міжфазного натягу методом обертової краплі**

1. Vonnegut B. Rotating Bubble Method for the Determination of Surface and Interfacial Tensions. *Rev.Sci.Instrum*, 1942, 13 (6). P. 6–9. 2. Princen H., Zia Y., Mason S. Measurement of Interfacial Tension from the Shape of a Rotating Drop. *Journal of Colloid and Interface Science*, 23, 1967. P. 99-107. 3. Slattery J., Chen J. Alternative Solution for Spinning Drop Interfacial Tensiometer. *Colloid Interface Science*, 1978, V64, №2, P. 371-373. 4. Torza S. The Rotating-bubble Apparatus. *Rev. Sci. Instr.* 1975, V46, №6. P. 778-783. 5. Rusanov A. I., Prokhorov V. A. *Interfacial Tensiometry*, Amsterdam: Elsevier, 1996.