

УДК 532.5/.6 [538.911 + 53.01]

ГИДРОДИНАМИКА ЖИДКОСТИ В НИЗКОРАЗМЕРНЫХ СИСТЕМАХ С УЧЕТОМ КВАНТОВО-МЕХАНИЧЕСКИХ ЭФФЕКТОВ

¹Алиев Г.Г., ²Алиев А.Г.

¹Институт математики и механики Национальной Академии Наук Азербайджана,
Баку, e-mail: gabil_aliyev@yahoo.com;

²Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности,
Баку, e-mail: azad_aliyev_asoa@yahoo.com

В последнее десятилетие в мире науке осуществлен большой прорыв в области нанотехнологии и в создании электронного приборостроения, которые позволили проводить глубокие научные исследования физических процессов на молекулярном и атомном уровне. К такой проблеме относится проблема влияния физических полей на реальные среды (жидкие, газообразные, твердые). Это продиктовано тем, что имеются в естествознании такие проблемы, которые не могут быть описаны в рамках классической физики и механики. В частности, проблема гидромеханики идеальной и вязкой жидкости в низкоразмерных системах ($10^{-9} \text{ м} \leq h \leq 10^{-4} \text{ м}$) связана с влиянием кванто-механических эффектов, имеющих место на границе контакта «твердое тело-жидкость» и его проникающего вглубь жидкости воздействия. К ним относятся: явление образования пустого пространства Δ в виде физического поля на границе между твердым телом и жидкостью; явление «прилипание-проскальзывание» жидкости по твердому телу; явление изменчивости физико-механических свойств жидкости (плотности и вязкости) под действием напряженности физического поля $\tilde{E}(x)$ возникающего на границе «твердое тело-жидкость».

Ключевые слова: наносистема, нанотрубка, низкоразмерная система, механизм пристеночного физического поля, пристеночное электронное поле, гидромеханика жидкости в наноразмерной системе, зависимость плотности жидкости от пристеночного физического поля

HYDROMECHANICS OF FLUID IN NANO-TYPE SYSTEMS WITH REGARD TO QUANTUM-MECHANICAL EFFECTS

¹Aliyev G.G., ²Aliyev A.G.

¹Institute of Mathematics and Mechanics Azerbaijan National Academy of Sciences,
Baku, e-mail: gabil_aliyev@yahoo.com;

²Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku, e-mail: azad_aliyev_asoa@yahoo.com

Mechanism of the parietal physical field effect existing between a solid and fluid in a lower-dimensional (nano-type) system is revealed; the dependence of the variability of the density of ideal fluid on the function of the electronic field in depth in a nano-type tube is suggested; the determining equations of hydromechanics of ideal fluid with regard the parietal physical field effect in lower-dimensional systems (nano-type) are established; the generalized Bernoulli equation with respect to parietal physical field effect is given; the essential quality and quantity effect of parietal physical field phenomenon on ideal fluid hydrodynamics in low dimensional systems was shown.

Keywords: nanosystem, nanotube, lower-dimensional system, mechanism of parietal physical field, parietal electronic field, hydrodynamics of fluid in nanotype system, dependence of fluid density on parietal physical field

Цель исследования

В статье установлена причинность явления превращения однородной жидкости в неоднородную в низкоразмерных системах, которая связана с величиной плотности воздействия проникающего вглубь напряженности физического поля $\tilde{E}(x)$. Предложена физико-математическая модель зависимости изменчивости механических характеристик плотности $\rho(x)$ и вязкости $\mu(x)$ от напряженности физического поля $\tilde{E}(x)$ в низкоразмерной системе в виде [1, 2]:

$$\rho(x) = \rho_0[1 - \tilde{E}(x)], \quad \mu(x) = \mu_0[1 - \tilde{E}(x)] \quad (1)$$

$$\text{где } \tilde{E}(x) = \frac{E(x)}{E_0}, \quad x_0 \leq x < \frac{h}{2} - \Delta, \quad 0 \leq \tilde{E}(x) < 1.$$

Учитывая вышеизложенные квантово-механические эффекты создана теория гидродинамики идеальной и вязкой жидкости в низкоразмерных системах ($10^{-9} \text{ м} \leq h \leq 10^{-4} \text{ м}$).

О качественном и количественном влиянии напряженности физического поля возникающего на границе «твердое тело-жидкость» в задачах гидромеханики в низкоразмерных системах

Рассмотрим низкоразмерную трубку радиусом R_0 заполняемую жидкостью объемом V_0 . Определим высоту на которую поднимется жидкость в трубке, а также, как изменится характеристика массы жидкости за счет образования пустого пространства между твердым телом и жидкостью и влияния изменчивости плотности жидкости.

За счет влияния пристеночного физического поля радиус жидкости $R_{ж}$, величина пустого пространства между стенкой и жидкостью Δ , а также, изменямость плотности жидкости будут равны [1-4]:

$$\frac{R_{ж}}{R_0} = 0,88, \Delta = R_0 - R_{ж} = 0,12 \cdot R_0,$$

$$\rho(x) = \rho_0[1 - \tilde{E}(x)] \quad (2)$$

При этих условиях нами установлены следующие новые механические эффекты:

– за счет образования только пустого пространства высота подъема жидкости в трубке будет $\Delta \ell_0 = 0,2913 \cdot \ell_0$, а соответствующая ей выдавленная масса – $\Delta m_0 = 0,23 \cdot m_0$,

– высота подъема жидкости в трубке, возникающая только за счет изменения плотности жидкости высота подъема жидкости в трубке будет $\Delta \ell_3 = 0,9685 \cdot \ell_0$, а со-

ответствующая ей выдавленная масса жидкости будет равна – $\Delta m_3 = 0,375 \cdot m_0$.

Таким образом, за счет суммарного влияния квантово-механических эффектов подъем жидкости по длине низкоразмерной трубки будет $\Delta \ell_{общ} = 1,2598 \cdot \ell_0$, а соответствующая ей выдавленная масса будет равна $\Delta m_{общ} = 0,605 \cdot m_0$.

Определяющие уравнения гидродинамики вязкой жидкости с учетом квантово-механических эффектов в низкоразмерных системах

Учитывая квантово-механические эффекты, имеющие место между твердой стенкой и жидкостью и их проникающую способность вглубь жидкости, предложены следующие обобщенные уравнения Навье-Стокса движения вязкой жидкости в низкоразмерных системах [1-2]:

– уравнения движения сжимаемой вязкой жидкости в декартовых координатах:

$$\begin{cases} \frac{dv_x}{dt} = X - \frac{1}{\rho_0(1-\tilde{E})} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} + v_0 \cdot [\Delta v_x + \frac{1}{3} \cdot \frac{\partial \text{div} \bar{v}}{\partial x}] + \frac{2}{3} \cdot \frac{v_0}{(1-\tilde{E})} \cdot \frac{\partial \tilde{E}}{\partial x} \cdot (\text{div} \bar{v} - 3 \frac{\partial v_x}{\partial x}) \\ \frac{dv_y}{dt} = Y - \frac{1}{\rho_0(1-\tilde{E})} \cdot \frac{\partial p}{\partial y} + v_0 \cdot [\Delta v_y + \frac{1}{3} \cdot \frac{\partial \text{div} \bar{v}}{\partial y}] - \frac{v_0}{(1-\tilde{E})} \cdot \frac{\partial \tilde{E}}{\partial x} \cdot (\frac{\partial v_x}{\partial y} + \frac{\partial v_y}{\partial x}) \\ \frac{dv_z}{dt} = Z - \frac{1}{\rho_0(1-\tilde{E})} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} + v_0 \cdot [\Delta v_z + \frac{1}{3} \cdot \frac{\partial \text{div} \bar{v}}{\partial z}] - \frac{v_0}{(1-\tilde{E})} \cdot \frac{\partial \tilde{E}}{\partial x} \cdot (\frac{\partial v_x}{\partial z} + \frac{\partial v_z}{\partial x}) \end{cases} \quad (3)$$

– уравнение неразрывности вида:

$$\frac{\partial \rho_0}{\partial t} + \rho_0 \cdot [\text{div} \cdot \bar{v} - \frac{1}{1-\tilde{E}(x)} \cdot \frac{\partial \tilde{E}(x)}{\partial x} \cdot v_x] = 0, \text{ для } x_0 \leq x \leq \frac{h}{2} - \Delta, 0 \leq \tilde{E}(x) \leq 1 \quad (4)$$

Здесь при $x = x_0, \tilde{E}(x) = 0$; при $x_0 \leq x \leq \frac{h}{2} - \Delta, \tilde{E}(x)|_{x \rightarrow \frac{h}{2} - \Delta} = 1$; $\tilde{E}(x)$ – экспериментально заданная линейная функция; $v_0 = \frac{\mu_0}{\rho_0}$ – коэффициент кинематической вязкости жидкости.

Движение несжимаемой вязкой жидкости между двумя параллельными пластинами в низкоразмерных системах

Граничная задача ламинарного течения несжимаемой вязкой жидкости между двумя неподвижными параллельными плоскими стенками, находящимися на расстоянии h друг от друга ($10^{-9} \text{ м} \leq h \leq 10^{-4} \text{ м}$) будет в виде [2]:

$$\begin{aligned} \frac{d^2 v_z(x)}{dx^2} - \frac{1}{1-\tilde{E}(x)} \cdot \frac{d\tilde{E}(x)}{dx} \cdot \frac{dv_z(x)}{dx} = \\ = -\frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{1}{1-\tilde{E}(x)} \cdot \frac{\Delta p}{\ell}, \end{aligned}$$

для $x_0 \leq x < \frac{h}{2} - \Delta$ (5)

$$\frac{d^2 v_z}{dx^2} = \frac{1}{\mu_0} \cdot \frac{dp}{dz}, \text{ для } 0 \leq x \leq x_0 \quad (6)$$

Граничные условия:

$$v|_{x \rightarrow \pm(\frac{h}{2} - \Delta)} = L \cdot \frac{\partial v}{\partial x} \Big|_{x \rightarrow \pm(\frac{h}{2} - \Delta)},$$

$$v_k^+ = v_k^- \text{ при } x = \pm x_0 \quad (7)$$

В этом случае распределение скорости движения вязкой жидкости в щели шириной h между двумя плоскими пластинами толщиной h будет в виде:

– в тонком слое ($0 \leq x \leq x_0$) в виде:

$$v(x) = \frac{\Delta p}{2\mu_0 \cdot \ell} \cdot h^2 \cdot \left[\frac{x_0^2 - x^2}{h^2} + 0,3881 \cdot \left(1 - 2,27 \cdot \frac{x_0}{h} \right) \cdot \left(1 + 2,27 \cdot \frac{x_0}{h} + 2,27 \cdot \frac{L}{h} \right) \right] \quad (8)$$

– в тонком слое ($x_0 \leq x < 0,44 \cdot h$) в виде:

$$v = 0,1941 \cdot \frac{\Delta p}{\mu_0 \cdot \ell} \cdot h^2 \cdot \left(1 - 2,27 \cdot \frac{x_0}{h} \right) \cdot \left(1 + 2,27 \cdot \frac{x}{h} + 2,27 \cdot \frac{L}{h} \right), \quad (x_0 \leq x < 0,44 \cdot h). \quad (9)$$

Выводы

Отсюда видно, что течение вязкой жидкости в щели представляет собою течение стратифицированной жидкости. Установлен, также, характер распределения скорости по высоте в виде:

$$v(x_0) = 0,8573 \cdot v(0) < v(0) < v(0,44h) = 1,1434 \cdot v(0). \quad (10)$$

Во-вторых, установлено, что кванто-механические эффекты в низкоразмерной щели увеличивают среднюю скорость движения жидкости в два раза по сравнению с классическим его значением, т.е. $\tilde{v} = 2,049 \cdot \tilde{v}_{\text{кл}}$.

Список литературы

1. Алиев Г.Г. Теоретические основы гидродинамики в низкоразмерных системах (гидромеханика с учетом влияния квантово-механических эффектов). LAMBERT Academic Publishing. – Германия, 2016. – 260 с.
2. Aliyev G.G., Aliyev A.G. «Fundamentals of Hidromechanics of Ideal Fluid in Nanotube Systems». Internation Journal of Applied and Fundamental Research. – 2016. – № 4, Deutschland/Германия. URL: www.science-sd.com/466-25058.
3. Lauga E., Brenner M.P. Store H.A. Microfluidics: the no-slip boundary condition / Springer in Handbook of Experimental Fluid Mechanics (edited by Tropea C., Yarin A.L., Foss J.F.). New York: Springer, 2007. – 1557 p.
4. Kotsalis E.M., Walther J.H. Koumoutsakos P. Multiphase water flow inside carbon nanotubes. Internation Journal of Multiphase Flow, 30, 2004, p. 995–1010.