

МИНОБРНАУКИ РФ
Российский фонд фундаментальных исследований
Национальный исследовательский Томский государственный университет
НИИ прикладной математики и механики Томского государственного университета
Физико-технический факультет
Механико-математический факультет
Совет молодых учёных ТГУ

Международная молодежная научная конференция
«Актуальные проблемы современной механики
сплошных сред и небесной механики»
17–19 ноября 2014 г., Томск

International Youth Scientific Conference
«Current issues of
continuum mechanics and celestial mechanics – 2014»,
17–19 November, 2014



Томск-2014

**МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСТЕКАНИЯ КАПЛИ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ
ПО ТВЕРДОЙ СТЕНКЕ В ПЛОСКОЙ ПОСТАНОВКЕ
МЕТОДОМ VOF
SIMULATION OF TWO-DIMENSIONAL VISCOUS DROP
SPREADING ON A SOLID WALL USING VOF METHOD**

**А.В. Десятник, М.А. Пономарева, В.А. Якутенюк
A.V. Desyatnik, M.A. Ponomareva, V.A. Yakutenok**

Национальный исследовательский Томский государственный университет
National Research Tomsk State University
desyatnik@litecfd.net

Исследование динамики вязких капель является фундаментальной проблемой гидродинамики и представляет интерес для многих технологических и природных процессов. Важной характеристикой такого течения является форма свободной поверхности капли и динамика изменения ее геометрических размеров. Исследованию процесса взаимодействия капель жидкости с твердой стенкой посвящено значительное число работ, например [1, 2].

Рассматривается процесс растекания капли вязкой жидкости по горизонтальной твердой стенке при различных значениях числа Рейнольдса без учета поверхностных эффектов. При формулировке задачи используется плоское приближение, тем самым, фактически рассматривается растекание цилиндрического объема жидкости, который условно называется каплей. В начальный момент времени граница области, занимаемой жидкостью, имеет форму окружности радиуса R . Течение вязкой несжимаемой жидкости описывается уравнениями Навье–Стокса совместно с уравнением неразрывности, которые в безразмерных переменных записываются в виде

$$\text{Re} \left(\frac{\partial \mathbf{V}}{\partial t} + (\mathbf{V} \cdot \nabla) \mathbf{V} \right) = -\nabla p + \nabla^2 \mathbf{V} + \mathbf{W},$$

$$\nabla \cdot \mathbf{V} = 0,$$

где $\text{Re} = \rho UR / \mu$ – число Рейнольдса; ρ – плотность жидкости; R – радиус капли; $U = \rho g R^2 / \mu$ – масштаб скорости течения; μ – коэффициент динамической вязкости; $\mathbf{W} = \{0, -1\}$; g – сила тяжести; $\mathbf{V} = \{u, v\}$ – вектор скорости; u, v – компоненты вектора скорости в направлении осей x, y декартовой системы координат соответственно; p – безразмерное давление, отнесенное к масштабу давления $\rho g R$; t – безразмерное время, отнесенное к масштабу времени $\mu / \rho g R$. На твердой стенке выполняется условие

прилипания $V = 0$. Граничные условия на свободной поверхности заключаются в отсутствии касательного напряжения и равенстве скачка нормального напряжения внешнему давлению.

Основной сложностью моделирования течений вязкой несжимаемой жидкости со свободной поверхностью является наличие меняющейся во времени области решения. Для расчета динамики свободной поверхности используется технология, предлагаемая в методе VOF (Volume of Fluid) [3, 4]. Ее основная идея заключается во введении специальной функции $F(x, y)$, которая определяет относительный объём, занятый жидкой фазой в ячейке сетки. Эта функция описывается уравнением

$$\frac{\partial F}{\partial t} + u \frac{\partial F}{\partial x} + v \frac{\partial F}{\partial y} = 0.$$

Функция F принимает значение единицы в ячейке сетки полностью заполненной жидкостью, и нулевое значение в пустой ячейке. Ячейки, в которых $0 < F < 1$, содержат свободную поверхность.

Расчеты показали, что без всяких затруднений возможно моделирование процесса растекания для $1 < Re < 800$. Представлены формы свободной поверхности, а также графики, демонстрирующие характер изменения высоты капли и радиуса пятна контакта с твердой стенкой от времени, для различных значений числа Re ($Re = 5, 10, 80, 250, 800$).

Достоверность полученных результатов подтверждается совпадением расчетных форм свободной поверхности для $Re = 1$ с формами, полученными методом граничных элементов в [5] в приближении ползущего течения.

Исследование выполнено при поддержке РФФИ (проект № 12-08-00313а) и Гранта Президента РФ (МК-3687.2014.1).

Литература

1. Bonn D., Eggers J., Indekeu J., Meunier J., Rolley E. Wetting and spreading // Reviews of modern physics. 2009. Vol. 81, 739.
2. Eddi A., Winkels K.G. Short time dynamics of viscous drop spreading // Physics of fluids. 2013. Vol. 25, 013102.
3. Hirt C.W., Nichols B.D. SOLA: A Numerical Solution Algorithm for Transient Fluid Flows // Los Alamos National Laboratory Report LA-5852. 1975.
4. Hirt C.W., Nichols B.D. Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries // Journal of Computational Physics. 1981. Vol. 39. P. 201–225.
5. Пономарева М.А., Якутенок В.А. Моделирование растекания капли вязкой жидкости в плоской постановке при больших числах Бонда / Вестн. Том. гос. ун-та. Сер. Математика и механика. 2007. №1. С. 79–83.