

Моделирование процесса всплытия капли методом фазового поля¹

Загвозкин Т.Н., Любимова Т.П., Воробьев А.М.

Институт механики сплошных сред УрО РАН, Пермь

Полное и быстрое смешивание является частым предварительным требованием для химических взаимодействий, и поэтому очень желательно в большинстве химических технологических процессов. В частности, известно, что медленная и ограниченная смешиваемость газообразных частиц в жидкостях ограничивает скорость реакции и количество реагентов, участвующих в процессе, что приводит к интенсивному поступлению реагентов и, таким образом, к проблемам отделения продуктов от непрореагировавших исходных веществ. Для увеличения площади контакта фаз реагенты могут подаваться в заполненный жидкостью реактор в виде мелких включений жидкости. В связи с этим, вызывает интерес поведение малой капли жидкости погруженной в другую жидкость, при условии слабой смешиваемости данных жидкостей. Мы проводим прямое численное исследование поднимающейся капли с различными величинами сил поверхностного натяжения, чтобы понять минимальный уровень поверхностного натяжения для капли, при котором она остается стабильной. Численное исследование проводится с использованием двух альтернативных подходов. В первом подходе используется классическое (традиционное) представление для смешиваемых жидкостей, моделирующее гидродинамическую эволюцию смеси на основе уравнений однофазной жидкости с примесью. В рамках классического подхода вводится поле концентрации для выделения компонентов смеси и решаются гидродинамические уравнения с добавлением уравнения

переноса для отслеживания временной эволюции. В рамках этого подхода граница раздела представляется в виде диффузионной границы с нулевым поверхностным натяжением. Вторым подходом - это модель фазового поля, которая позволяет добавлять эффекты поверхностного натяжения даже для отслеживания динамики смешиваемых границ.

Моделирование проводится для насыщенной вязкой несжимаемой жидкостью вертикальной трубки, в которой помещена капля другой жидкости. Постановка задачи осесимметричная, капля находится на оси трубки. Система координат выбрана так, чтобы плоскость (r, z) была вертикальной, а нижней и верхней границам слоя соответствовали координаты $z = 0$ и $z = L$. Расчеты проводились с помощью программы, написанной на языке Fortran, уравнения аппроксимировались методом конечных разностей.

Поверхности раздела между смешиваемыми жидкостями характеризуются низкими (или нулевыми) межфазными напряжениями, которые, по-видимому, играют существенную роль в динамике капли, часто более существенную, чем эффекты, вызванные межфазной диффузией. Наши расчеты показывают, что поверхностное натяжение сохраняет форму капли сферической в течение всего подъема. Снижение сил поверхностного натяжения приводит к появлению капель и хвоста из материала, который соскользнул с передней кромки капли. Найдено также, что в течение короткого промежутка времени влияние поверхностного натяжения на динамику капли более существенно, чем роль межфазной диффузии

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант 18-01-00782).