

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

ВСПЛЫТИЕ ОДИНОЧНОГО СФЕРИЧЕСКОГО ПУЗЫРЬКА В ПРИСУТСТВИИ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ RISING OF A SINGLE SPHERICAL BUBBLE IN THE PRESENCE OF SURFACE ACTIVE SUBSTANCES

А.С. Усанина, М.А. Пахомов

A.S. Usanina, M.A. Pakhomov

Национальный исследовательский Томский государственный университет

Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН

National Research Tomsk State University

Kutateladze Institute of thermophysics RAS

Usaninaanna@mail.ru, pakhomov@ngs.ru

При движении пузырьков в двухфазной среде существенную роль играют свойства границы раздела фаз, в частности коэффициент поверхностного натяжения. Одним из физических факторов, влияющих на граничные условия, является наличие поверхностно-активных веществ (ПАВ), которые могут на порядок изменить критериальные зависимости для движения частицы дисперсной фазы. На свободной границе пузырька, движущегося в жидкой среде с ПАВ, возникают тангенциальные капиллярные силы Марангони, способствующие увеличению коэффициента сопротивления частицы.

В настоящей работе представлены результаты экспериментального исследования влияния ПАВ на динамику всплытия одиночного сферического пузырька воздуха в вязкой жидкости (глицерине). В качестве ПАВ использовалось обычное жидкое мыло.

Исследование проводилось на установке, состоящей из вертикально установленной прозрачной кюветы с плоскопараллельными стенками, наполненной раствором жидкости, устройства для генерации пузырьков и системы визуализации процесса всплытия одиночного пузырька [1]. Эксперименты проведены в следующем диапазоне параметров: диаметр пузырька $D=(3.22-6.27)$ мм, плотность жидкости $\rho_l=1260$ кг/м³, коэффициент динамической вязкости жидкости $\mu_l=(2.13-2.44)$ Па·с, стационарная скорость всплытия пузырька $u_0=(0.35-1.6)$ см/с; число Рейнольдса $Re=(7 \cdot 10^{-3}-0.05)$; содержание ПАВ $z=(0.01-0.13)$ %; коэффициент поверхностного натяжения $\sigma=42.3 \cdot 10^{-3}$ Н/м.

Анализ экспериментальных данных показал, что время оседания частиц ПАВ на поверхность пузырька t зависит от содержания ПАВ в глицерине. Для проведенных экспериментов при $z < 0.037$ % время оседания составляет $t \sim 10$ с. При $z > 0.091$ % оседание частиц ПАВ происходит практически сразу при образовании пузырька.

Обнаружено, что при $z > 0.091$ % происходит деформация пузырька; он принимает каплевидную форму с образованием «хвоста» в тыловой части пузырька. При этом формирование «хвоста» происходит постепенно по

мере всплытия пузырька. Минимальный диаметр пузырька, начиная с которого происходит деформация, уменьшается по мере увеличения содержания ПАВ.

В классических работах по всплытию одиночного пузырька воздуха в чистой жидкости [2] показано, что его деформация проявляется в виде появления «каверны» в нижней части пузырька, и выделяют три основные конфигурации пузырька при всплытии – эллипс, сферический сегмент с секущей плоскостью, расположенной ниже и выше диаметральной плоскости. Приобретение пузырьком каплевидной формы в жидкости с высоким содержанием ПАВ, по-видимому, объясняется утолщением пограничного слоя за счет добавки ПАВ и его «стеканием» с поверхности пузырька под действием силы тяжести.

Для исследованного диапазона чисел Рейнольдса $Re=7 \cdot 10^{-3}-0.05$ получена уточненная зависимость для коэффициента сопротивления $c_D=24.06/Re$ с коэффициентом детерминации, равным $R^2=0.99$. Полученная зависимость близка к закону сопротивления Стокса ($c_D=24/Re$) для твердых сферических частиц [3]. Таким образом, в присутствии ПАВ характер всплытия пузырька совпадает с характером осаждения твердого шарика того же размера в жидкости, не содержащей ПАВ. Представляется целесообразным проведение исследований динамики всплытия пузырька в области больших чисел Рейнольдса в присутствии ПАВ.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 14-38-50151 мол_нр).

Литература

1. *Архипов В.А., Васенин И.М., Усанина А.С.* Экспериментальное исследование нестационарных режимов всплытия одиночного пузырька // Инженерно-физический журнал. 2013. Т. 86, № 5. С. 1097–1106.
2. *Bhaga D., Weber M.B.* Bubbles in viscous liquids: shape, wakes and velocities // Journal of Fluid Mechanics. 1981. Vol. 105. P. 61–85.
3. *Низматулин Р.И.* Динамика многофазных сред. М.: Наука, 1987.