

ДИНАМИКА КОАЛЕСЦЕНЦИИ КАПЕЛЬ

Федюшкин А.И., Рожков А.Н.

Институт проблем механики им. А.Ю. Ишлинского РАН, 119526, Москва

Исследование слияния капель имеют широкий диапазон приложений, например, в метеорологии, металлургии, энергетике, в микро- и в нано-технологиях, в электронной, атомной и авиационной промышленности, в процессах кипения, конденсации, сушки, сварки, пенообразования, при 3D печати и других областях. Динамика слияния капель существенным образом зависит от реологических свойств жидкости и окружения сливающихся капель [1-3]. Целью данной работы является изучение динамики изменения формы капель жидкостей при их слиянии в воздухе.

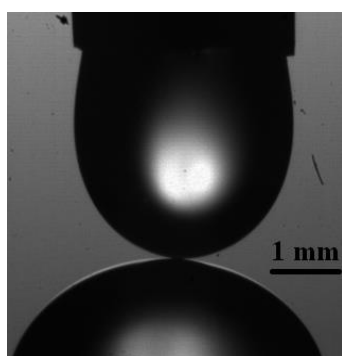


Рис. 1. Фотография начального расположения капель в эксперименте [2, 3]

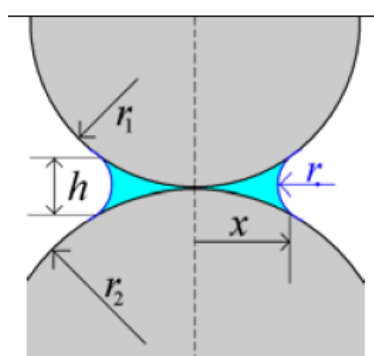


Рис.2 Схема мостика в начальный момент расположения капель в эксперименте [2, 3]

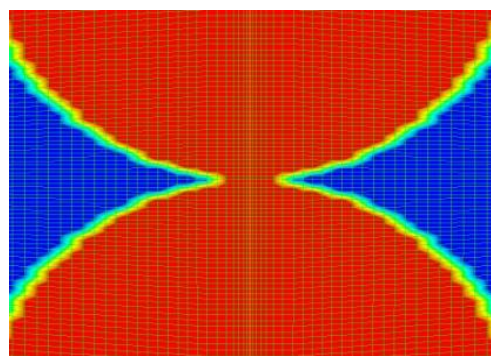


Рис.3. Схема начального расположения капель в математической модели

Постановка задачи и математическая модель. В начальный момент две капли жидкости соприкасаются в воздухе. и рассматривается динамика изменения формы капель и мостика между каплями. На рис. 1 и рис.2 показаны фотография начального расположения капель и в эксперименте и схема мостика в начальный момент расположения капель в эксперименте (рисунки взяты из работы [2]). Математическая модель основана на решении осесимметричных уравнений Навье-Стокса для двухслойных жидкостных систем «жидкость-воздух» без учета силы тяжести ($g=0$) [1]. На рис. 3 показан участок соприкосновения капель в начальный момент в математической модели. В математической модели предполагается, что мостик в начальный момент времени сформировался мгновенно и радиус начального мостика для капель с диаметром $d=1\text{мм}$ был равен $R_m=x=5 \cdot 10^{-4}\text{мм}$ (см. рис. 2,3). При моделировании рассмотрены случаи коалесценции двух одинаковых капель диаметром

1мм, расположенных в начальный момент времени, как показано на рис.3. Чтобы не было влияния внешних границ на динамику капель, размеры расчетной области были выбраны в 10-20 раз больше, чем диаметр капель и были равны 20мм * 10мм. Для увеличения точности расчетная сетка в центральной части области была прямоугольной и сильно измельченной. Подробнее модель описана в работе [1].

Результаты. На рис.4 представлены графики изменения безразмерного радиуса мостика ($r_m = R_m/d$) от времени при слиянии капель воды. На рис.4 линия 1 – численные результаты, максимальное значение радиуса мостика в сечении $x=0$, линия 2 – экспериментальные данные [2].

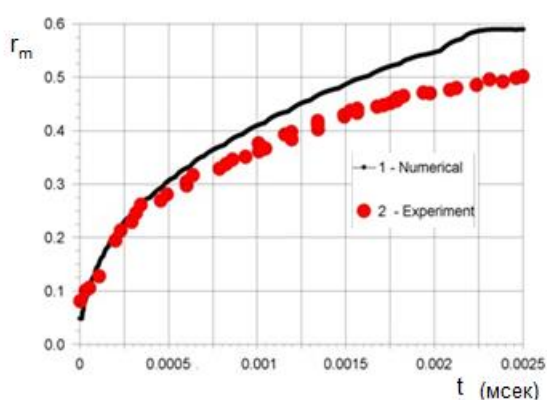


Рис. 4. Изменение радиуса мостика при слиянии капель воды от времени (1 – расчет, 2 – эксперимент)

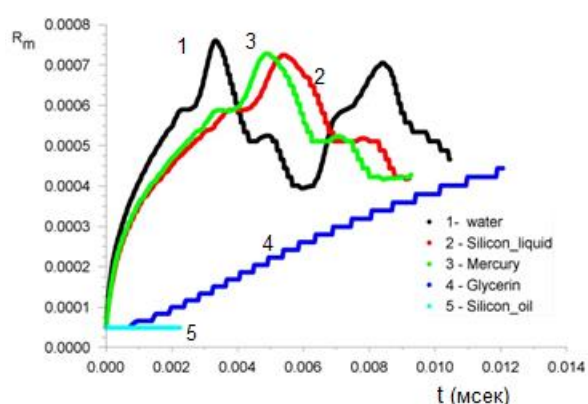
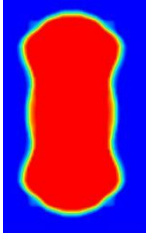
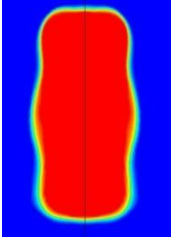
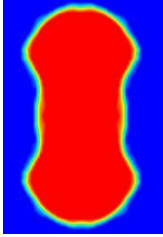
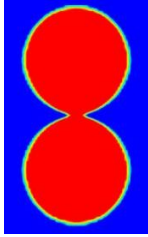
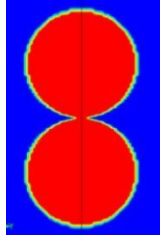
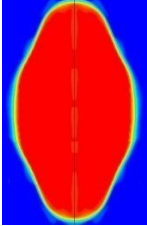
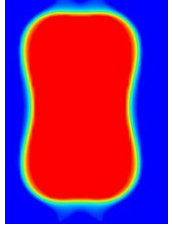
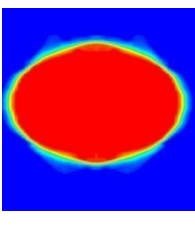
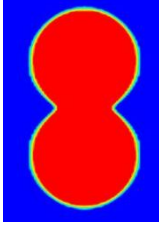
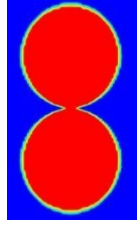
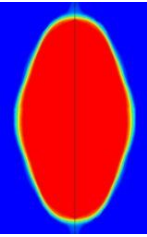
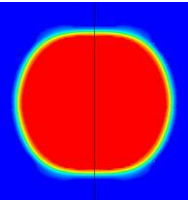
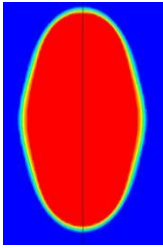
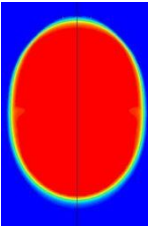
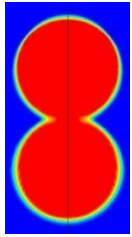


Рис.5. Изменение во времени радиуса мостика при слиянии капель разных жидкостей.

На рис.4 представлены графики изменения безразмерного радиуса мостика ($r_m = R_m/d$) от времени при слиянии капель воды. На рис.4 линия 1 – это численные результаты, максимальное значение радиуса мостика в сечении $x_1=0$, линия 2 – экспериментальные данные [2]. Результаты математического моделирования показали, что переход от начальной до конечной стационарной формы капель носит периодический затухающий характер (для жидкостей с небольшой вязкостью), что показано на рис.5 и в таблице. Изменение форм капель во времени представлено на рисунках в таблице (в первом столбце таблицы время указано в мсек). На рисунках в таблице представлены формы капель для различных жидкостей и в разные моменты времени. Из рисунков таблицы видно, что на поверхностях сливающихся капель жидкости с небольшой вязкостью образуются осциллирующие волны, которые приводят к колебательному характеру динамики формирования поверхностей результирующих капель, что иллюстрируется также графиками на рис. 5.

В р е м я (м с е к)	Р т у т ь	В о д а	С и л и к о н l i q u i d	Г л и ц е р и н	С и л и к о н o i l
t = 1					
t = 6					
t > 1 0	t=11 мсек 	t=12 мсек 	t=13 мсек 	t=20 мсек 	t=50 мсек 

Выводы. Для начальных моментов слияния капле воды проведено сопоставление численных и экспериментальных данных [2] изменения ширины мостика, показавшее хорошее согласие результатов. Изменение форм капле во времени для жидкостей с небольшой вязкостью имеет периодический характер и показаны картины изменения форм капле для разных жидкостей в процессе их коалесценции.

Литература

1. *А.И. Федюшкин, А.Н. Рожков.* Коалесценция капле ньютоновской жидкости. - Препринт ИПМех РАН, № 1087, Москва, 2014, 27с. ISBN 978-5-91741-127-9.
2. *A. Rozhkov, V. Mitkin, and T. Theofanous,* "The dynamics of visco-elastic bridges in drop coalescence," XXII International Congress of Theoretical and Applied Mechanics. Adelaide. Australia. 24–29 August, 2008, 2с, ISBN 978-0-9805142-0-9.
3. *Рожков А.Н., Mitkin V., Theofanous T.* Коалесценция упруговязких капле // 24 Симпозиум по реологии. Тезисы докладов. Карачарово. 3-7 июня 2008 г. С. 5.