

Скорость одиночной капли в щели в магнитной жидкости

Баштовой В.Г., Ковалев М.В., Рекс А.Г.

Белорусский национальный технический университет

Эксперимент направлен на выяснение характера влияния магнитного поля на скорость всплывающих капель жидкости (дистиллированной воды) в щели. В экспериментальной установке задействована щель, образованная двумя стеклянными пластинами с зазором 1,3 мм, в дне которой установлены штуцеры из немагнитного материала для подачи немагнитной среды. В щель залита магнитная жидкость МК-44 (высота заливки составляет 125 мм), в качестве системы подачи воды или воздуха использована композиция микрометра и шприца, позволяющая точно (с погрешностью до 1%) измерять объем порции среды.

Процесс всплывания капель и пузырей фиксируется подсоединенной к компьютеру видеокамерой, поэтому для улучшения условий видимости используется подсветка при помощи источников света. В эксперименте в продольном поле (линии магнитной индукции параллельны плоскости щели) задействована система зеркал. В качестве источника однородного магнитного поля используются катушки Гельмгольца. Для измерения магнитной индукции – тесламетр универсальный 43205

Для поперечного горизонтального поля, линии магнитной индукции которого перпендикулярны плоскости щели, эксперимент показывает стабильное линейное уменьшение скорости капли в процессе повышения напряженности поля. При этом капля меньшего объема движется медленнее, но сохраняя тенденцию к уменьшению скорости при возрастании поля. Графически эти рассуждения проиллюстрированы на рис. 2. Объяснить такое поведение капли можно, воспользовавшись теорией неустойчивости капли, сформулированной Цеберсом. Она описывает явление деформации капли в условиях рассматриваемого эксперимента. В магнитном поле капля приобретает форму горизонтального эллипса, отношение малой

и большой осей которого уменьшается с ростом напряженности поля. В случае движения тела подобной формы в направлении, параллельном малой оси эллипса, за кормой капли возникает турбулентность, создающая разрежение. Поэтому коэффициент лобового сопротивления капли возрастает и ее скорость падает. Примечателен тот факт, что за верхним пределом приведенной на рис.2 зависимости (в полях свыше 13 кА/м) возникает особый вид неустойчивости капли. В результате спонтанного, неравномерного перераспределения среды между правой и левой частями эллипса в некоторой точке пути (чем выше поле, тем раньше) капля принимает форму «головастика», переворачивается «головкой» вверх и продолжает всплытие по широкой криволинейной траектории со значительным увеличением скорости.

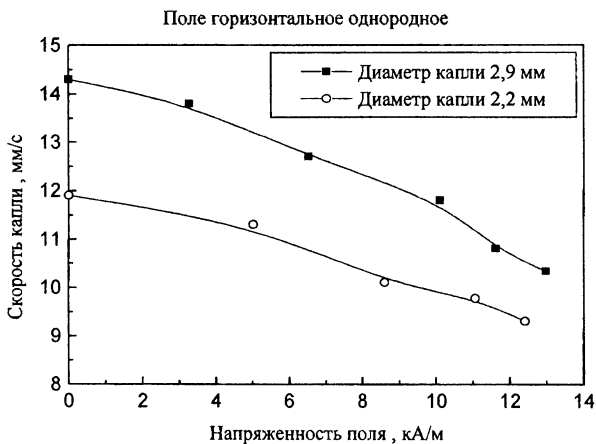


Рис.2. Зависимость скорости капли от напряженности однородного горизонтального поля

Данные эксперимента по выяснению влияния продольного однородного горизонтального поля (линии магнитной индукции параллельны плоскости щели) приведены на рис.3. Мы видим, что скорость водяной капли при повышении напряженности поля также снижается, но характер ее снижения

экспоненциальный. Уровень влияния поля на начальном участке (0-10 кА/м) намного выше и далее при определенном значении зависимость выходит на насыщение, где скорость всплытия практически не зависит от напряженности поля. Объяснить столь кардинальное отличие результатов от вышеописанных для поперечного поля можно различием в механизме формообразования капли в этих условиях. В продольном поле капля вытягивается вдоль линий поля, что приводит к значительно более существенной деформации под действием магнитного поля. То есть отношение малой и большой осей получаемого при этом горизонтального эллипса меньше аналогичного в случае неустойчивости Цеберса. Механизм снижения скорости из-за повышения коэффициента лобового сопротивления аналогичен описанному выше. Кроме указанных различий необходимо отметить отсутствие неустойчивости траектории движения в области сильных полей, что объясняется невозможностью неравномерного распределения среды в сформированном полем эллипсе.

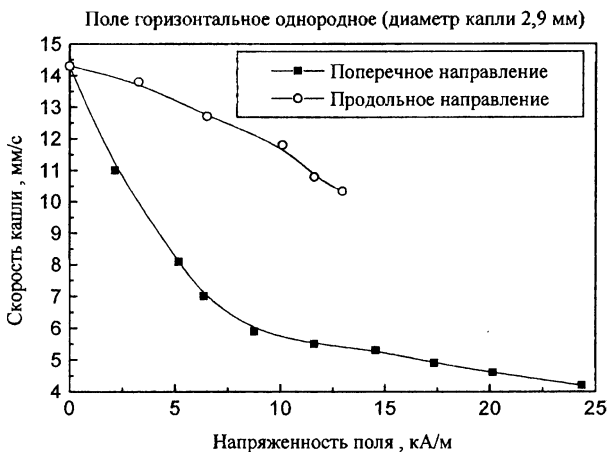


Рис.3. Сравнение влияния поперечного и продольного поля на скорость процесса всплытия

При исследовании скорости всплывания капли в щели в условиях приложения однородного вертикального поля получена зависимость, отражающая линейное увеличение скорости при повышении напряженности поля. Эта зависимость представлена на рис. 4. В случае вертикального поля капля вытягивается вдоль линий поля, принимая форму вертикального эллипса, что с ростом соотношения размеров осей приводит к уменьшению коэффициента лобового сопротивления. В исследуемом диапазоне полей 0-12 кА/м зависимость не выходит на насыщение, но дальнейшее увеличение поля приводит к уменьшению малой оси эллипса и невозможности визуальной фиксации процесса.

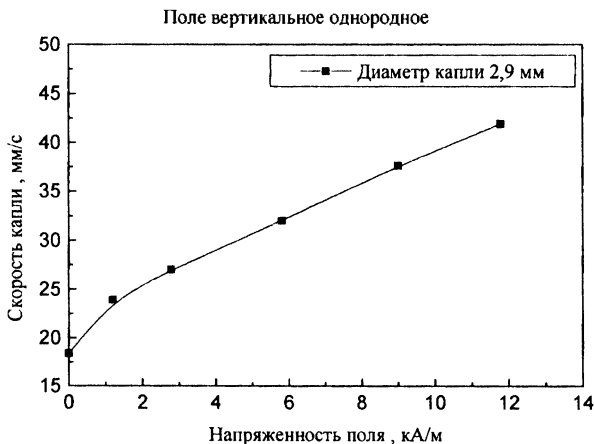


Рис. 4. Зависимость скорости капли от напряженности вертикального однородного поля

Работа выполнена при поддержке Фонда фундаментальных исследований Республики Беларусь.