

**Гидродинамика падающей капли магнитной жидкости
в однородном магнитном поле**

Тайнова А.А., Цвирко М.И.

Научный руководитель:

профессор, д-р физ.-мат. наук, доцент Рекс А.Г.

Белорусский национальный технический университет

Исследование формы капель и их движения в другой среде является важной составляющей частью изучения теплообменных процессов в капельных потоках применительно к смесительным теплообменным аппаратам. Работа посвящена изучению влияния однородного магнитного поля на движение капель магнитной жидкости в вязкой среде. В исследованиях изучено движение капель магнитной жидкости в вязкой немагнитной среде в однородном магнитном поле со следующими характеристиками:

- ✓ магнитная жидкость МК-22 ($M_s = 21,9$ кА/м, $\rho_1 = 1153$ кг/м³, $\nu_1 = 3,04 \cdot 10^{-6}$ м²/с), водный раствор глицерина ($\rho_2 = 1074$ кг/м³, $\nu_2 = 2,46 \cdot 10^{-6}$ м²/с);
- ✓ магнитная жидкость МК-50 ($M_s = 49,8$ кА/м, $\rho_1 = 1503$ кг/м³, $\nu_1 = 11,59 \cdot 10^{-6}$ м²/с), водный раствор глицерина ($\rho_2 = 1251$ кг/м³, $\nu_2 = 648,9 \cdot 10^{-6}$ м²/с).

Исследования показали, что для капель магнитной жидкости в однородном магнитном поле формообразующую роль играет магнитный скачок давления, связанный с наличием намагниченности жидкости. Так капля магнитной жидкости, помещенная в однородное магнитное поле, увеличивает свою длину вдоль поля в несколько раз. При этом соответственно уменьшаются ее поперечные размеры.

При движении капли магнитной жидкости в вязкой немагнитной среде изменение формы капли определяется соотношением вязкостей обеих сред (в эксперименте рассмотрено 2 случая $\nu_2/\nu_1 = 0,81$, $\nu_2/\nu_1 = 56$) и соотношением направлений скорости движения и направления магнитного поля.

Зависимости относительной длины капли от напряженности горизонтального магнитного поля при разном соотношении вязкостей показаны на рисунке 1.

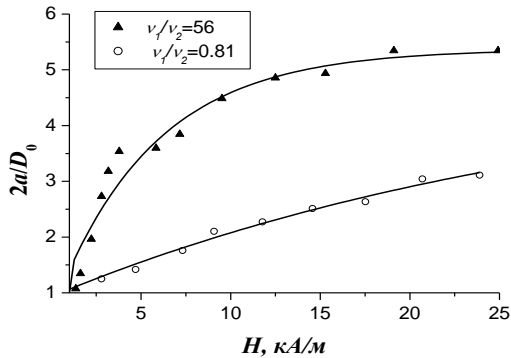


Рисунок 1. Зависимость относительной длины каплей магнитных жидкостей МК-22 и МК-50 от напряженности поля

Видно, что с ростом поля скорость удлинения капли уменьшается, причем в области малых полей наблюдается наиболее сильная зависимость длины капли от напряженности магнитного поля. Причем при большем соотношении вязкостей это изменение больше. Изменение формы капли в магнитном поле приводит к влиянию магнитного поля на динамику ее движения в вязкой среде. Если капля жидкости движется вдоль магнитного поля, то ее миделево сечение уменьшается, что приводит к увеличению скорости движения капли. Если движение капли поперечно магнитному полю, то ее миделево сечение увеличивается, а скорость уменьшается.

Снижение коэффициента сопротивления капли обусловлено также внутренними течениями жидкости и сильно зависит от соотношения вязкостей v_2/v_1 . Так при движении капли в среде соотношением вязкостей $v_2/v_1 = 0,81$ скорость уменьшается в 1,5 раза, а для случая $v_2/v_1 = 56$ в 3 раза, что связано с изменением формы капли.

Анализ экспериментальных данных, показывает, что в магнитном поле степень изменения их скорости движения увеличивается с ростом напряженности магнитного поля. В исследуемом диапазоне полей (от 0 до 25 кА/м) наблюдалось увеличение скорости капли вдоль поля в 1,5-2 и ее уменьшение в поперечном поле в 1,5-3 раза.

При равномерном движении капли на нее действуют следующие силы: сила тяжести ($F_g = \rho_1 g \pi D_0^3 / 6$); выталкивающая ($F_a = \rho_2 g \pi D_0^3 / 6$) сила; сила лобового сопротивления ($F_x = C_x S (\rho_2 V^2 / 2)$). Значения ко-

эффицента лобового сопротивления рассчитаны из условия равенства нулю равнодействующей этих сил и определяются объемом падающей капли магнитной жидкости, площадью миделевого сечения капли, скоростью падающей капли магнитной жидкости и разностью плотностей магнитной жидкости и глицерина.

Магнитное поле способствует или препятствует движению капли магнитной жидкости в вязкой среде. Влияние магнитного поля на коэффициент лобового сопротивления капли магнитной жидкости иллюстрируется рисунком 2. Видно, что для условий данного эксперимента возрастание и падение коэффициента лобового сопротивления в 1,8 и 0,88 раза соответственно для вертикального и горизонтального полей.

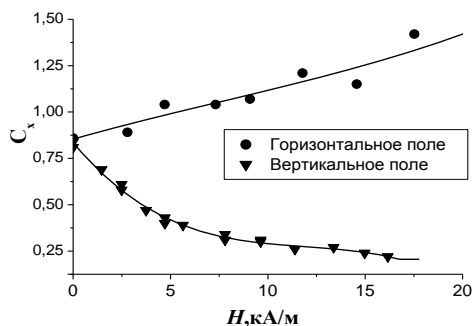


Рисунок 2. Зависимости коэффициента лобового сопротивления от напряженности магнитного поля (для случая $v_2/v_1 = 0,81$)

С помощью магнитного поля можно эффективно управлять как формой движущихся капель магнитной жидкости, так и коэффициентом лобового сопротивления. Влияние однородного магнитного поля на форму и гидродинамику капель может стать основой создания магнитоуправляемого теплообмена при использовании магнитных жидкостей.

Работа выполнена при поддержке Фонда фундаментальных исследований Республики Беларусь.