

Всплывание потока пузырей в магнитной жидкости в неоднородном магнитном поле

Баштовой В. Г.¹, Рекс А. Г.¹, Ряполов П. А.²,
Климович С. В.¹, Загадская А. А.¹

¹Белорусский национальный технический университет

²Юго-западный государственный университет, г. Курск, Россия

Аннотация: Представлены результаты экспериментального исследования влияния горизонтально неоднородного магнитного поля на всплывание потока пузырей воздуха в магнитной жидкости. Установлено горизонтальное отклонение всплывающих пузырей от вертикального направления, получены зависимости отклонения от характеристик магнитного поля и расхода воздуха.

Текст доклада: Данная работа выполнена с целью создания магнитоуправляемых методов переноса тепла в пузырьковых магнитожидкостных системах.

Потоки всплывающих пузырей широко используются для интенсификации теплообмена благодаря высокой эффективности [1]. Всплывающими пузырями интенсивно перемешивается жидкость вблизи теплоотдающей поверхности, и это интенсифицирует теплоотдачу охлаждаемого тела в десятки раз [2]. Интенсивность теплоотдачи зависят от степени перемешивания жидкости, которая зависит от расстояния движения потока пузырей относительно теплоотдающей поверхности.

Магнитоуправляемый перенос тепла в пузырьковых магнитожидкостных системах основан на воздействии неоднородных магнитных полей на форму пузырей в магнитной жидкости и динамику их движения. Воздействие магнитного поля на пузыри может быть реализовано путем создания магнитным полем в объеме магнитной жидкости заданного распределения давления, которое оказывает влияние на траекторию всплывания пузырей.

В работе рассматривается всплывание потока пузырей в объеме магнитной жидкости воздуха вдоль вертикальной теплоотдающей пластины при воздействии горизонтально неоднородного магнитного поля.

Геометрия задачи показана на рисунке 1. В отсутствие магнитного поля поток пузырей всплывает вертикально вдоль поверхности пластины (рисунок 1, *а*). При создании неоднородного магнитного поля постоянным магнитом, как показано на рисунке 1, *б* вертикально всплывающий поток пузырей смещается одновременно и в горизонтальном направлении и его траектория изменяется.

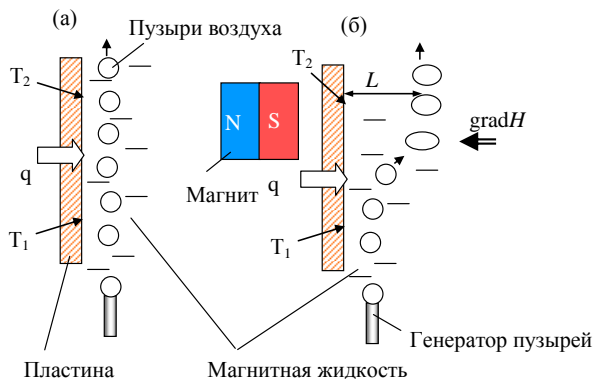


Рис. 1. Геометрия задачи

Направление магнитного поля и его градиента в области всплывающего потока пузырей задается соответствующим расположением магнита и его поворотом.

В экспериментах в качестве источника магнитного поля использовалась система из трех прямоугольных феррит-бариевых магнитов с максимальной напряженностью 115 кА/м.

Характеристики магнитной жидкости ММТ-32 на основе трансформаторного масла приведены в таблице.

Тип жидкости	Намагниченность насыщения M , кА/м	Магнитная концентрация частиц φ , %	Плотность ρ , кг/м ³	Коэффициент вязкости η , Па·с
ММТ-32	31,8	6,5	1292	0,0542

Для выполнения исследований магнитная система располагалась выше на некоторой высоте относительно отверстия генератора пузырей. Величина поля и его градиента задавалась путем горизонтального перемещения магнитной системы.

При расположении магнитной системы, как показано на рисунке 1, ось магнита направлена горизонтально. Тогда в области всплывающих пузырей направление напряженности поля тоже горизонтальное.

При повороте магнита на 90° распределение поля в области всплывания пузырей задается его боковой поверхностью, и направление поля в этой области вертикальное.

Созданием заданного направления магнитного поля задается направление деформирования пузырей воздуха в магнитной жидкости [3]. Пузыри приобретают эллипсообразную форму с осью вдоль направления поля. Такое деформирование пузырей изменяет гидродинамическое сопротивление их перемещению в магнитной жидкости [4], что влияет на изменение траектории.

В исследованиях задавались различные расходы воздуха.

В отсутствие магнитного поля поток пузырей всплывает вертикально. При установке магнитна в объеме магнитной жидкости создается локально неоднородное магнитное поле в области всплывающих пузырей и, соответственно, локально неоднородное распределение объемной магнитной силы. В результате в области неоднородности локально повышается давление, и пузыри оттесняются в область более слабого поля, т.е. стремятся отклониться от магнита. Это приводит к горизонтальному отклонению пузырей и изменению их траектории.

Результаты исследования влияния неоднородного магнитного поля на траекторию потока всплывающих пузырей воздуха в магнитной жидкости при различных расходах воздуха показаны на рисунке 2.

С увеличением градиента поля из-за увеличения выталкивающей силы растет величина отклонения пузырей.

На рисунке 2, *а* показаны зависимости горизонтального отклонения пузырей в горизонтальном магнитном поле. При движении в области локального магнитного поля пузыри вытягиваются в горизонтальном направлении вдоль направления отклонения. Они имеют более обтекаемую форму при движении в горизонтальном направлении, и отклонение более значительное и достигает 45 мм.

Горизонтальное отклонение потока пузырей в вертикальном магнитном поле иллюстрируется рисунком 2, *б*. Поскольку пузырь вытянуты в вертикальном направлении, то при горизонтальном перемещении они испытывают более высокое сопротивление, и величина отклонения относительно первоначального положения уменьшается по сравнению с ситуацией горизонтального поля. Этот факт хорошо виден при сравнении экспериментальных зависимостей на рисунках 2, *а* и 2, *б*.

С ростом расхода воздуха отклонение потока пузырей растет из-за увеличения числа расталкивающихся пузырей. Всплывающие вверх немагнитные пузыри в магнитной жидкости при наложении магнитного поля приобретают свойства однонаправленных магнитных антидиполей. Направлены антидиполи вертикально, и поэтому расталкиваются в горизонтальном направлении. Кроме того, проведенными ранее исследованиями [5] показана сложность взаимодействия движущихся в магнитном поле

пузырей, сопровождающаяся делением на несколько частей всплывающих цепочек пузырей. В результате деления поток пузырей также расширяется в горизонтальном направлении.

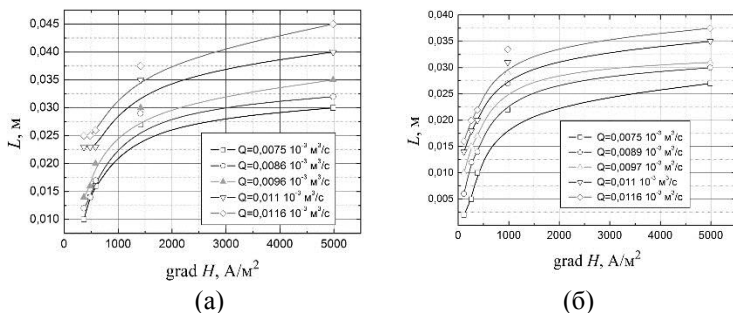


Рис. 2. Влияние градиента напряженности магнитного поля на горизонтальное смещение всплывающих пузырей: направление поля (а) – горизонтальное, (б) – вертикальное

Работа выполнена в рамках Государственной программы научных исследований Республики Беларусь.

Литература

1. Кутателадзе, С. С. Теплообмен и волны в газожидкостных системах / С. С.Кутателадзе, В. Е. Накоряков – Новосибирск: Наука, 1964. – 302 с.
2. Авдеев, А.А. Закономерности теплообмена в барботажном слое / А. А. Авдеев // Теплофизика высоких температур. – 1992. – т. 30, № 5. – С. 966–974.
3. Баштовой В. Г., Берковский Б. М., Вислович А. Н. Введение в термомеханику магнитных жидкостей. – М.: ИВТАН СССР, 1985. – 188 с.
4. Берковский, Б. М. Гидродинамическое сопротивление эллипсоидальной капли при малых числах Рейнольдса /Б.М.Берковский, М. С. Краков, И. В. Никифоров, В. К. Полевиков //Изв. АН СССР. Механикажидкостии-газа. – 1987. – № 3. – С. 4–8.
5. Bashtovoi, V. Instabilities of bubbles and droplets flows in magnetic fluids /V. Bashtovoi, M. Kovalev, A. Reks //J. Magnetism and Magnetic Materials. – 2005. – Vol. 289. – P. 350–352.