

## Слайд 1

Меня зовут Ефимова Софья, тема моей курсовой работы «Особенности всплытия воздушного пузырька в силиконовом масле» Исследование всплытия пузырьков и всплытия и погружения капель жидкости относится к наиболее известным способам анализа межфазного взаимодействия в силу своей простоты. Действительно, в простейшем случае стационарного распространения необходимо просто построить график зависимости скорости всплытия пузырька от его диаметра. Диаметр определяет внешнюю силу (силу Архимеда) и, таким образом, получается зависимость силы сопротивления от скорости движения.

Исследования движения пузырьков в жидкости имеют и сугубо практическую значимость. Такие движения играют большую роль в геофизике, теплофизике, медицине, биологии. Достаточно вспомнить процесс барботирования, используемый во многих приложениях, или процесс распространения акустических волн в пузырьковых средах.

## Слайд 2

В работе Аллена 1900 года рассматривался вопрос о том, какие граничные условия выполняются на границе раздела жидкость-газ в пузырьках. Его работа была экспериментальной проверкой в реальных условиях результатов работ Стокса по движению тел в вязких средах с условиями проскальзывания на различных границах. В первую очередь исследовались твердые границы, где было показано, что выполнены условия «непроскальзывания». Однако в 1911 году вышли две работы Адамара и Рыбчинского, в которых была рассмотрена сопряженная задача движения жидкости вокруг пузырька и движения жидкости в пузырьке. Воздух, в силу малой вязкости и плотности, очень слабо влияет на движение жидкости, и в реальности на границе получается простое условие проскальзывания и снижение силы сопротивления в полтора раза. Эти работы убедительно показали, что нет никаких причин, по которым поверхность пузырька должна оставаться «твердой».

Таким образом появилось две теории о движении или «твердости» пленки пузыря в жидкости (Адамара-Рыбчинского и Стокса соответственно), каждой теории соответствует своя зависимость скорости всплытия пузырька от его диаметра.

## Слайд 3

Ранее в лаборатории кафедры молекулярных процессов и экстремальных состояний вещества были получены графики зависимости скорости всплытия пузырьков от их эффективного диаметра в различных жидкостях, в том числе и глицерине. Для исследования влияния граничных

условий на движение пузырьков мы взяли силиконовое масло, которое в отличие от глицерина имеет менее прочную плёнку на поверхности и в котором наблюдается конвекция Марангони при соответствующих условиях.

Целью данной работы является получение графика зависимости скорости всплытия пузырька воздуха в силиконовом масле ПМС-1000 от его эффективного диаметра, определение момента начала движения поверхности и сравнение с результатами, полученными для глицерина.

#### Слайд 4

На этом слайде вы видите фотографию экспериментальной установки, на которой проводилось исследование. С помощью трубки в небольшом аквариуме выдувались пузырьки, которые снимались на фотоаппарат с макро-объективом. Следует заметить, что в прошлые годы съёмка пузырьков в различных жидкостях велась в стробоскопическом режиме, но из-за особенностей отражения поверхности пузырька в силиконовом масле такой метод нам не подошёл. Поэтому съёмка пузырьков, подсвеченных лампой велась в видео-режиме.

#### Слайд 5

Для определения масштаба снимков камеры, фотографировалась линейка в том же режиме, что и пузырьки.

#### Слайд 6

Обработка результатов проводилась в программе Tracker. Она позволяет наполовину автоматизировать обработку с минимальной погрешностью: На одном кадре отмечается область, и сама программа ищет максимально похожую область на следующем и до конца видео или пока не будет совпадение меньше выставленного параметра. Данные треков обрабатывались в Excel, где вычислялась скорость по методу МНК.

#### Слайд 7

Здесь представлены в виде графика результаты моей работы. Видно, что переход от условий прилипания (формула Стокса) к условию проскальзывания (формула Адамара-Рыбчинского) происходит в силиконовом масле при диаметре пузырька порядка 1,5 мм. А уход экспериментальных точек с теоретической кривой Адамара-Рыбчинского при диаметре порядка 9 мм (из-за потери сферической формы и увеличения сил сопротивления). Для конкретизации условий посчитаны числа Рейнольдса и Бонда.

#### Слайд 8

В работе также наблюдалась потеря сферичности пузырька при росте его размера. Здесь приведены примеры пузырьков в силиконовом масле различной формы при разных диаметрах.

Слайд 9

На этом графике для сравнения с нашим приведён график зависимости скорости пузырька от его эффективного диаметра в глицерине полученный ранее. В глицерине в отличие от силикона переход наблюдается в районе 5 мм, а срыв происходит при 14 мм. Так же посчитаны числа Рейнольдса и Бонда.

Слайд 10

В итоге были получены следующие результаты и выводы.

1. Получен график зависимости скорости всплытия пузырька (размером до 30 мм) в силиконовом масле ПМС (полиметилсилоксан) - 1000 от его эффективного диаметра.
2. Проведено сравнение результатов с известными данными по всплытию пузырьков в глицерине, сходном с ПМС -1000 по вязкости и плотности, но отличающимся почти в три раза по коэффициенту поверхностного натяжения.
3. Показано, что переход от условий прилипания (формула Стокса) к условию проскальзывания (формула Адамара-Рыбчинского) происходит в ПМС при диаметре порядка 1,5 мм, в отличие от глицерина, где переход наблюдается в районе 5 мм. Такая разница связана со свойством глицерина образовывать поверхностные плёнки и этот эффект не учитывается существующими теориями.
4. Показано, что отклонение от кривой Адамара-Рыбчинского в силиконовом масле начинается при эффективном диаметре порядка 9 мм, в то время как в глицерине это происходит при 14 мм. Разница возникает из-за отличия коэффициентов поверхностного натяжения. Это подтверждается примерно одинаковыми числами Бонда в этих точках, хотя из-за разных чисел Рейнольдса в этих точках изменение формы пузырька в силиконовом масле происходит резче, чем в глицерине.

Слайд 10

Список литературы.

Слайд 11

Спасибо за внимание.