

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ».

Физический факультет

Кафедра общей физики

Манько Елизавета Сергеевна

КУРСОВАЯ РАБОТА

Исследование локального газосодержания и скорости пузырей методом  
проводимости

Электромагнитный практикум, 2 курс, группа №20301

**Научные руководители:**

д. ф.-м. н. В. В. Рандин

Оценка научного руководителя

\_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

инженер С. М. Волков

Оценка научного руководителя

\_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Преподаватель практикума:**

к. ф.-м. н. А. В. Судников

Оценка преподавателя практикума

\_\_\_\_\_ « \_\_\_\_\_ »  
\_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

**Куратор практикума:**

к. т. н. В. Т. Астрелин

Итоговая оценка

\_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

Новосибирск 2021

## **Аннотация**

Целью работы являлось измерение локального газосодержания и скорости пузырей методом проводимости. Для этой цели была собрана установка, включающая в себя датчик проводимости, погруженный в трубку с водой, записаны осциллограммы тока датчика. На основании полученных данных было измерено время, соответствующее нахождению датчика в газовой фазе. По этому времени было рассчитано газосодержание, а также скорость пузырей. Результаты хорошо согласуются с известными техническими данными. Полученные в результате проделанной работы данные предполагается использовать при работе с жидкометаллическим теплоносителем.

Ключевые слова: пузыри, локальное газосодержание, скорость пузырей, метод проводимости.

## Содержание

Введение .....	4
Основная часть.....	6
1. Теоретические сведения .....	6
1.1 Метод электропроводности как метод измерения локальных характеристик газожидкостных потоков.....	6
1.2 Датчик.....	8
2. Практическая часть .....	9
2.1 Экспериментальная установка .....	9
2.2 Измеряемые величины.....	9
2.3 Результаты измерений .....	10
Заключение.....	14
Список литературы .....	15

## **Введение**

Изучение систем газ-жидкость имеет большое научное и практическое значение. Такие течения существуют в целом ряде промышленных установок в химической в микробиологической промышленности, в энергетике, а также при совместном сборе и транспорте нефти и газа.

Однако, чрезвычайная сложность течения двухфазных систем стала причиной того, что надежного метода расчета для таких систем нет. Структура двухфазного газожидкостного течения в значительной степени определяется не только режимными параметрами, но и геометрией течения, в частности, ориентацией канала и направлением движения фаз. Большое влияние на характеристики течения оказывает вид распределения газовой фазы по сечению канала.

Отсутствие со всех точек зрения удовлетворительной теоретической модели приводит к тому, что экспериментальное исследование газожидкостных потоков приобретает гораздо большее значение.

Развитие новых экспериментальных методов исследования двухфазных потоков привело к появлению ряда детальных работ по изучению структуры газожидкостных течений. Измерение локальных средних и пульсационных характеристик течения представляет наибольший интерес. Определение этих параметров дает возможность в конечном итоге подойти к исследованию двухфазных потоков такими же методами, как и в изучении однофазных турбулентных течений. Детальное исследование тонкой внутренней структуры турбулентных двухфазных потоков, основанное на реально существующих моделях течения, должно привести к возможности создания новых методов расчета, учитывающих эту тонкую структуру. Такие расчетные методы, очевидно, в состоянии достаточно надежно предсказать поведение течения.

В связи с тем, что двухфазный поток характеризуется большим (по сравнению с однофазным турбулентным потоком) разнообразием структуры и описывается

большим числом параметров, экспериментальные исследования структуры течения имеют в настоящее время характер предварительных.

В последнее время стали популярными оптические методы исследования потоков (PIV, теневая фотография и т.п.). В промышленности, в некоторых ядерных реакторах, используются жидкометаллические теплоносители. Для таких реакторов не подходят оптические методы исследования из-за непрозрачности среды. Поэтому, если такой реактор находится в режиме кипения и нам важно знать газосодержание и скорость пузырей, метод проводимости имеет для нас большое значение.

Задачи, поставленные в работе:

- 1) измерение средней скорости пузыря;
- 2) измерение локального газосодержания.

## Основная часть

### 1. Теоретические сведения

#### 1.1 Метод электропроводности как метод измерения локальных характеристик газожидкостных потоков

В настоящее время существует большое количество различных методов измерения характеристик газожидкостных потоков. Эти методы различаются по используемым физическим принципам, сложности реализации, а также по характеру измеряемых величин. В последнее время получил распространение ряд методов точечных измерений параметров газожидкостных потоков. Одним из таких методов является метод электропроводности [1].

Схема данного метода приведена на рис.1.

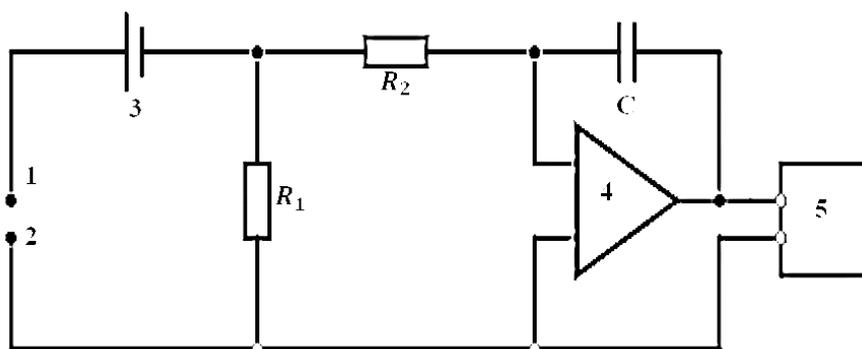


Рис.1. Схема метода электропроводности (1 – катод, 2 – анод, 3 – источник напряжения, 4 – усилитель, 5 – регистрирующий прибор,  $R_1$ ,  $R_2$  – нагрузка,  $C$  – конденсатор)

Датчик (1) представляет собой электрод малых размеров, вводимый в поток, а второй электрод (2) может иметь самые различные размеры, конфигурацию, местоположение в исследуемом канале. Между электродами подается напряжение от источника (3). Ток усиливается с помощью усилителя (4) и регистрируется измерительным прибором (5). Величина тока зависит от того, в какой фазе находится датчик. Запись тока датчика имеет вид, приведенный на рис.2.

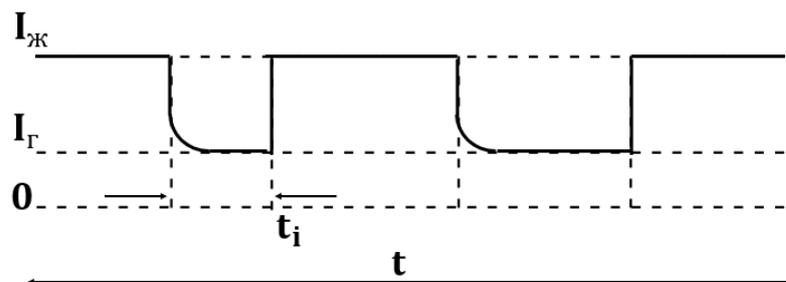


Рис.2. Запись тока датчика для измерения газосодержания ( $I_{\text{ж}}$  – ток датчика в жидкой фазе,  $I_{\text{г}}$  – ток датчика в газовой фазе,  $t_i$  – время нахождения датчика в газовой фазе,  $t$  – полное время измерения)

Моменты падения тока соответствуют нахождению датчика в газовой фазе. Из этой записи легко найти локальное газосодержание по формуле (1).

$$\varphi = \frac{\sum t_i}{t} \quad (1)$$

где  $t_i$  - время пребывания датчика в  $i$ -том пузырье газа,  $t$  - полное время измерения в данной точке.

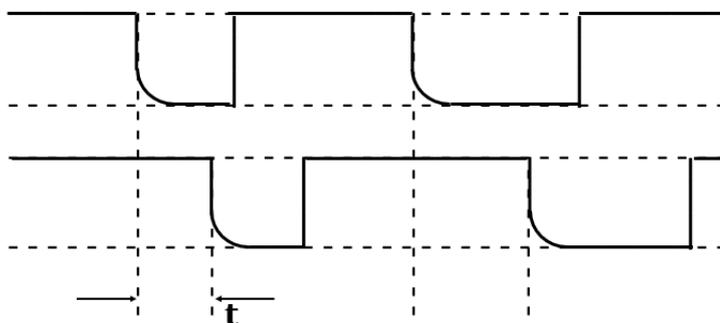


Рис.3. Запись тока двух датчиков для измерения скорости ( $t$  – разница между моментами времени, когда пузырь накалывается на датчики)

При использовании двух датчиков (см рис.3.), сдвинутых относительно друг друга на некоторое расстояние  $h$ , можно определить скорость движения границы раздела газ-жидкость по формуле (2) [2].

$$v = \frac{h}{t} \quad (2)$$

## 1.2 Датчик

Датчик представляет из себя 2 изолированных платиновых электрода, склеенных вместе так, чтобы между их торцами было небольшое расстояние  $h$  (см рис.4).

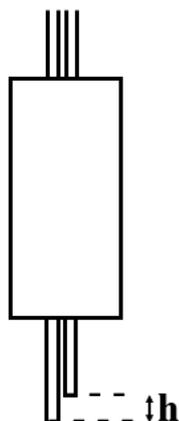


Рис.4. Датчик ( $h$  - расстояние между торцами электродов)

## 2. Практическая часть

### 2.1 Экспериментальная установка

Схема установки представлена на рис.5.

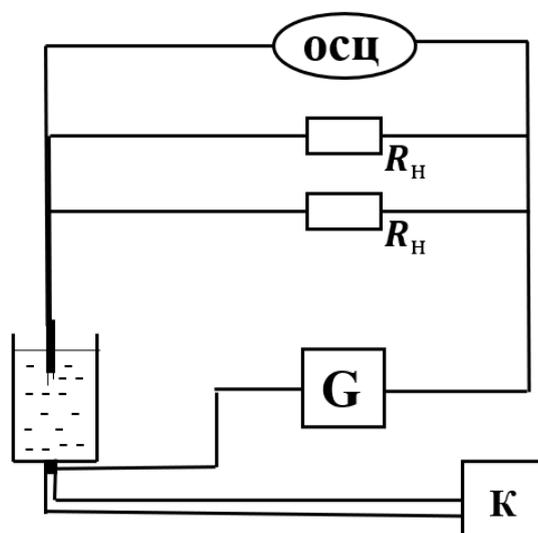


Рис.5. Схема установки (ОСЦ – осциллограф RIGOL DS1052E, G – генератор сигналов низкочастотный ГЗ-112, К - компрессор)

Принцип работы схемы заключается в следующем. Компрессор осуществляет ввод газа в воду. На датчик подаётся малое высокочастотное напряжение (~200 кГц). Если поместить датчик в газожидкостный поток, то его сигнал не будет непрерывным, поскольку датчик поочерёдно находится то в жидкой, то в газовой фазе. В момент нахождения датчика в жидкости в цепи протекает ток, тогда как в момент нахождения в газовой фазе происходит резкое падение тока.

В результате ток датчика принимает два фиксированных значения, соответствующих жидкой и газовой фазе на датчике. Осциллограф измеряет падение напряжения на нагрузке, подключенной последовательно датчику, тем самым фиксируя момент времени, когда в цепи ток не течёт.

### 2.2 Измеряемые величины

Конструкция датчика достаточно мала, поэтому для измерения расстояния между электродами используется микроскоп.

Пузырь, налетевший на данную конструкцию, сначала наколется на длинный датчик, затем на короткий. Датчики подключены параллельно, следовательно, ток прекратит течь на обоих участках цепи, но с небольшой задержкой по времени  $t_i$ . Это именно то время, которое понадобится пузырю, чтобы подняться на высоту  $h$ . Очевидно, что для разных пузырей  $t_i$  будут разными.

Селективная обработка сигналов с двух каналов позволяет определить скорость пузырей. Для  $i$ -того пузыря значение скорости  $V_i$  определяется по формуле (3).

$$V_i = \frac{h}{t_i} \quad (3)$$

### 2.3 Результаты измерений

Установка выглядела следующим образом (см рис.6.).

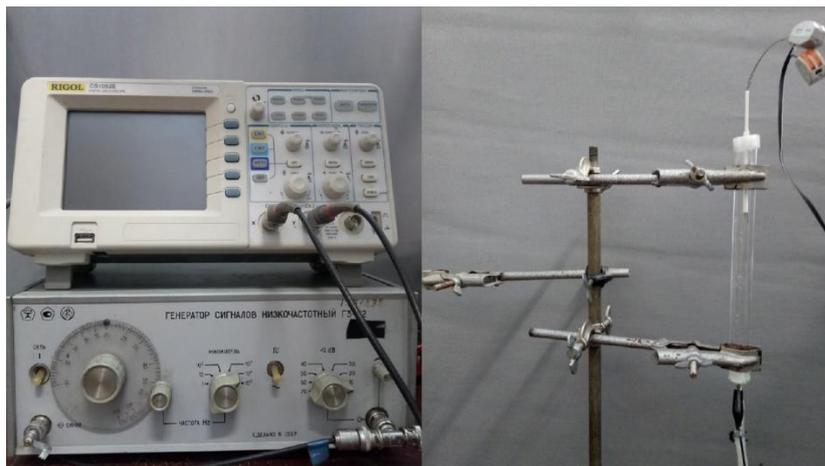


Рис.6. Экспериментальная установка. (слева: осциллограф RIGOL DS1052E, генератор сигналов низкочастотный ГЗ-112; справа: датчик, помещенный в стеклянную трубку с водой)

Результаты измерений представлены в Таблице.1. Изменение скорости пузыря связано с тем, что пузыри не абсолютно одинаковы, диаметр пузырей немного меняется. Скорость пузыря зависит от его диаметра.

**Таблица 1.** Измерение интервала времени. ( $N_i$  - номер измерения,  $t_i$  - значение интервала времени,  $V_i$  - значение скорости пузыря)

$N_i$	$t_i$ , мс	$V_i$ , м/с
1	22	0,17
2	18	0,20
3	11,6	0,32
4	13,2	0,28
5	28,4	0,13
6	17,6	0,21
7	16,4	0,22
8	12,8	0,29
9	16	0,23
10	14	0,26

Измеренное расстояние между электродами датчика составило  $h = 3,75$  мм (см рис.7.)

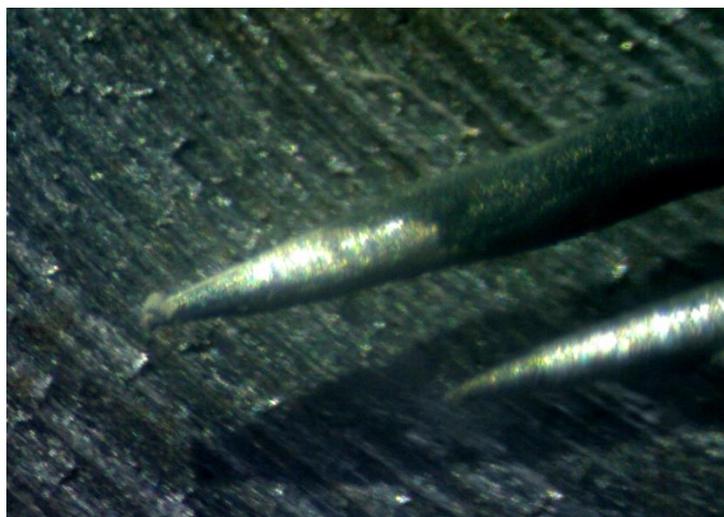


Рис.7. Датчик, фото с микроскопа.

В качестве примера на рис.8. приведена осциллограмма, полученная в результате измерений.



Рис.8. Осциллограмма, полученная в результате измерений

С помощью аналого-цифрового преобразователя (АЦП) сигнал был переведен в цифровой вид, и дальнейшая обработка сигнала проводилась с использованием компьютера. При помощи программной обработки сигнала была построена огибающая по локальным максимумам сигнала. Для лучшего осреднения данная процедура проводилась несколько раз. Выбирался порог дискриминации жидкость-газ – значение напряжения, при котором считается, что падение характерно для пузыря. Затем программа считала количество точек, в которых значение напряжения ниже порогового. Между точками задан единый интервал времени 2,5 мкс (тактовая частота АЦП 400 кГц), поэтому, чтобы узнать, общее время нахождения датчика в газовой фазе, нам остаётся только умножить количество точек, набранных в массив на этот интервал. Чтобы вычислить локальное газосодержание, мы делим время нахождения датчика в газовой фазе на полное время реализации (10с).

Погрешность измерения времени связана с тактовой частотой АЦП ( $\pm 1$  такт) и равна  $\pm 2,5$  мкс. Погрешность измерения длины микроскопом равна  $\pm 1$  мкм.

Вычисленное таким образом газосодержание равно  $3,6 \pm 2,5 * 10^{-5} \%$ . Скорость пузырей изменялась от  $0,15 \pm 0,03 * 10^{-3}$  м/с до  $0,3 \pm 0,1 * 10^{-3}$  м/с в зависимости от диаметра пузыря.

## **Заключение**

В работе проведено экспериментальное исследование локального газосодержания и скорости пузырей при всплытии пузырей газа через жидкость в трубках двух диаметров. Эксперименты выполнены при фиксированном размере пузырьков газа.

Отработана методика измерения скорости газовой фазы с использованием метода электропроводности. Выполнено измерение скорости движения пузырьков газа.

Полученные в результате проделанной работы данные будут использоваться при работе с жидкометаллическим теплоносителем.

В заключение хочется выразить благодарность Рандину В. В. и Волкову С. М. за руководство и помощь в работе, а также за обсуждение экспериментальных результатов.

## Список литературы

- 1) Резистивный и ёмкостный методы измерения паросодержания / Субботин В.И., Похвалов Ю.Е., Михайлов Л.Е. и др. // Теплоэнергетика. – 1974. – N 6. – С. 63-68.
- 2) Рандин В. В. Турбулентная структура пузырьковых газожидкостных течений. Дисс. канд. физ.-мат. наук: 01.04.14 Новосибирск 1993.