

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ (НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ)

## Скорость распространения волны в приближении мелкой воды

Выполнили:  
Ефремова Татьяна  
Хачоян Анаит  
Шутова Александра  
Б03-503, ФАКТ

Долгопрудный, 2025

# СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1 Вступление.....	4
1.1 Цели и задачи.....	4
1.2 Теоретическое описание.....	4
2 Экспериментальная установка.....	5
2.1 Описание экспериментальной установки.....	5
2.2 Фото экспериментальной установки.....	6
3 Проведение эксперимента.....	8
3.1 Подготовка к эксперименту.....	8
3.2 Проведение эксперимента.....	8
4 Результаты эксперимента и обработка полученных данных.....	9
4.1 Результаты калибровки.....	9
4.2 Результаты измерений.....	9
4.3 Результаты проведенного эксперимента.....	12
4.3.1 Сравнение экспериментально полученных данных с теоретически вычисленными	
.....	12
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	13

## **ВВЕДЕНИЕ**

В работе предлагалось определить скорость распространения волны на мелкой воде в узком канале, то есть когда длина волны больше глубины канала. Для этого необходимо знать основные особенности и соотношения, описывающие течение жидкости при удовлетворении условий приближения мелкой воды. Кроме того, изучить экспериментальную установку, зафиксировать и обработать результаты проведенного и определить, подтверждается ли в пределах точности измерений теория мелкой воды или нет в условиях проведения эксперимента.

# 1 Вступление

## 1.1 Цели и задачи

Цель работы: исследование зависимости скорости распространения возмущений в воде от глубины канала.

Задачи:

1. Собрать и протестировать экспериментальную установку.
2. Написать и протестировать скрипт для калибровки и проведения эксперимента.
3. Провести серию измерений.
4. Построить графики зависимостей уровня воды в кювете от времени и графики теоретической зависимости распространения волны от уровня воды.

## 1.2 Теоретическое описание

Для практических расчетов будем считать жидкость несжимаемой, а при описании ее перемещений использовать следующие приближения:

- глубина жидкости в каждом сечении канала много меньше его длины;
- вертикальная скорость жидкости много меньше горизонтальной;
- изменение глубины и скорости течения жидкости вдоль канала заметно меняются лишь на расстояниях, много больших ее глубины.

При таких приближениях решение задачи мелкой воды сводится к определению глубины водоема  $h$  и усредненной по глубине скорости жидкости.

Для случая незатухающей волны за время  $\delta t$  каждая точка на определенной глубине сместится на расстояние  $\delta s = c \cdot \delta t$ . Такое представление позволяет сформулировать определение скорости распространения малых возмущений  $c$ , как скорости распространения точки с постоянным значением физического параметра (в данном случае глубины жидкости в текущей точке водоема). В теории мелкой воды считается, что скорость распространения малых возмущений аналогична распространению скорости звука в газе. От глубины жидкости  $h$  она зависит следующим образом:

$$c = \sqrt{gh} \quad (1)$$

## 2 Экспериментальная установка

Установка состоит из кюветы с открывающейся дверцей и автоматизированной системы измерений.



Рисунок 1 — Схема установки

В состав системы измерений входят:

1. Мини-компьютер Raspberry Pi.
2. Электрическая система измерений.
3. Электрическая система контроля состояния дверцы.

Система измерения уровня жидкости представляет собой два вертикальных металлических электрода, между которыми создается постоянная разность потенциалов.

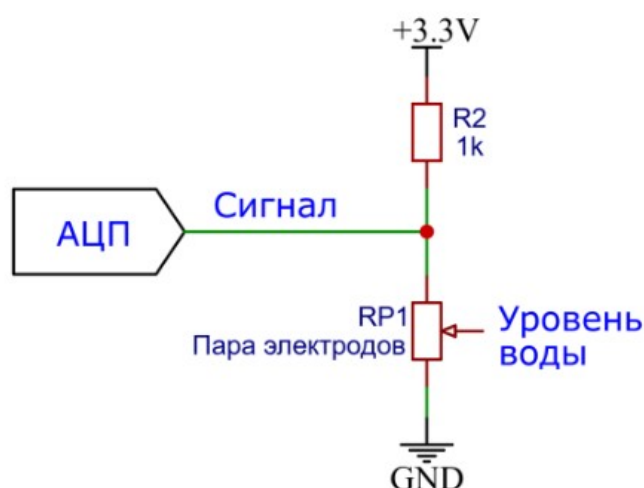


Рисунок 2 — Простейшая схема измерения уровня воды

Так как в работе используется водопроводная вода, содержащая примеси, в ней имеется достаточное количество ионов для протекания тока. Если в такую

ионизированную воду поместить два металлических не соприкасающихся электрода, то сопротивление между ними будет обратно пропорционально площади смоченной поверхности. Так как АЦП чаще всего измеряют напряжение, а не сопротивление, удобно использовать делитель напряжения, представленный на рисунке 2. В случае, если сопротивление между электродами бесконечно (уровень воды равен 0), напряжение на выходе делителя будет 3.3В (питание). Если же сопротивление между электродами будет стремиться к нулю, напряжение на выходе схемы будет около 0.0В (GND). Электрическая схема контроля состояния дверцы включает в себя геркон, магнит, соединительные провода и макетную плату.

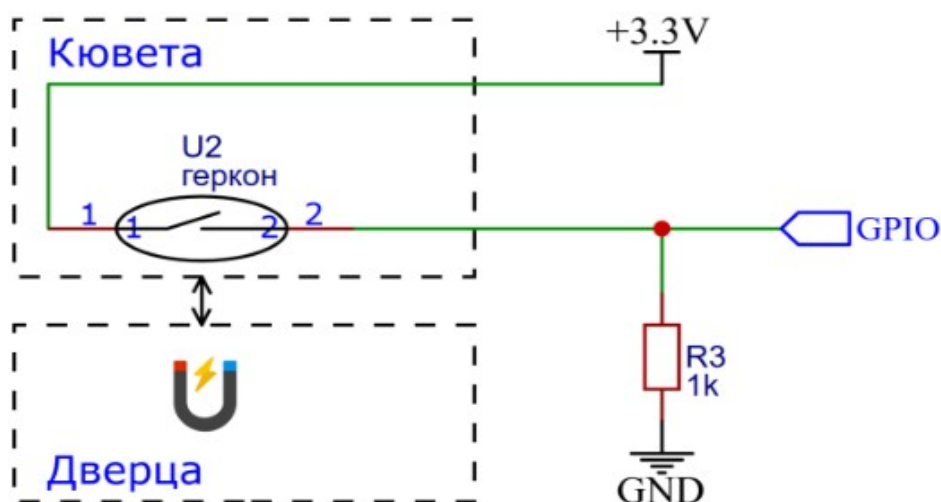


Рисунок 3 — Схема датчика открытия дверцы

Закрепленный на дверце магнит замыкает геркон (магнитоуправляемый контакт), который подключает вход мини-компьютера к питанию (3.3 В). При отдалении их друг от друга геркон размыкается, и вход оказывается подключен к GND (0.0 В). Тогда при механическом открытии дверцы происходит смена логического уровня напряжения на входе Raspberry Pi, что позволяет однозначно определить состояние дверцы и момент ее открытия.

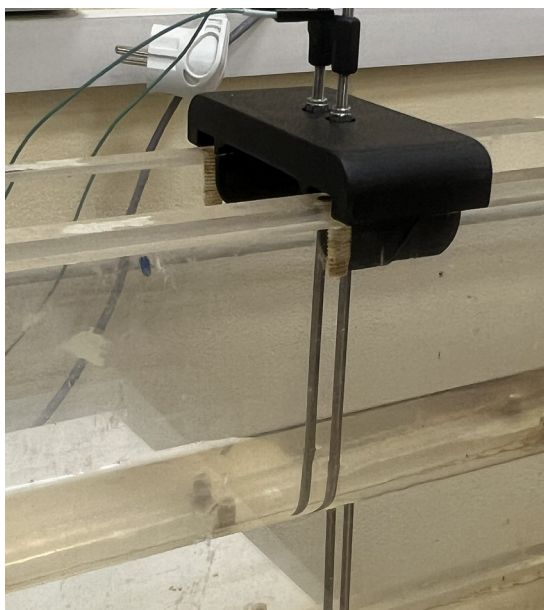


Рисунок 4 — Электроды

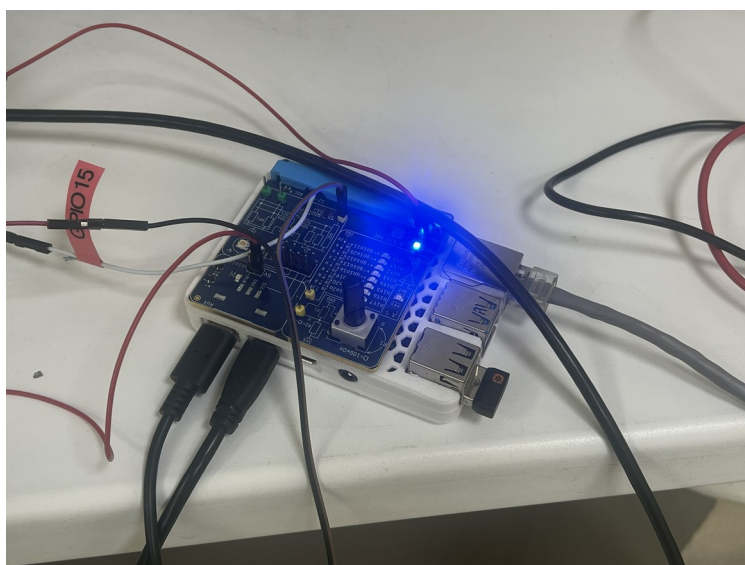


Рисунок 5 — Raspberry Pi

## **3 Методика работы**

### **3.1 Подготовка**

На языке программирования Python были написаны 2 скрипта:

1. Для измерения напряжения на АЦП.
2. Для автоматической фиксации момента, в который была открыта дверца.

Также была проведена калибровка на  $h$ , равных 35, 48, 70, 85 и 100 мм.

### **3.2 Проведение эксперимента**

Чтобы определить скорость распространения волны необходимо знать время  $\tau$ , за которое волна пройдёт расстояние от дверцы кюветы до электродов.

Расстояние  $L$  не меняется, поэтому его достаточно измерить один раз.

Время прохождения волной кюветы можно найти, определив временной промежуток между моментом открытия дверцы и моментом, когда уровень воды между электродами начинает снижаться.

Тогда скорость  $c$  можно определить как отношение длины  $L$  к времени  $\tau$ .



## 4 Результаты измерений и обработка данных

### 4.1 Калибровка

Для калибровки экспериментальной установки были измерены напряжения, соответствующие  $h$ , равным 35, 48, 70, 85 и 100 мм соответственно:

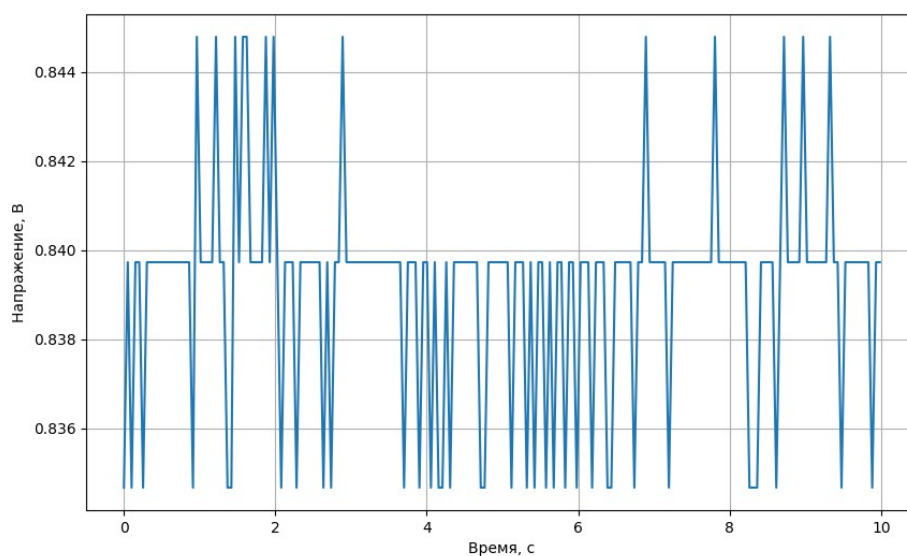


Рисунок 6 — Напряжение на АЦП при  $h = 35$  мм

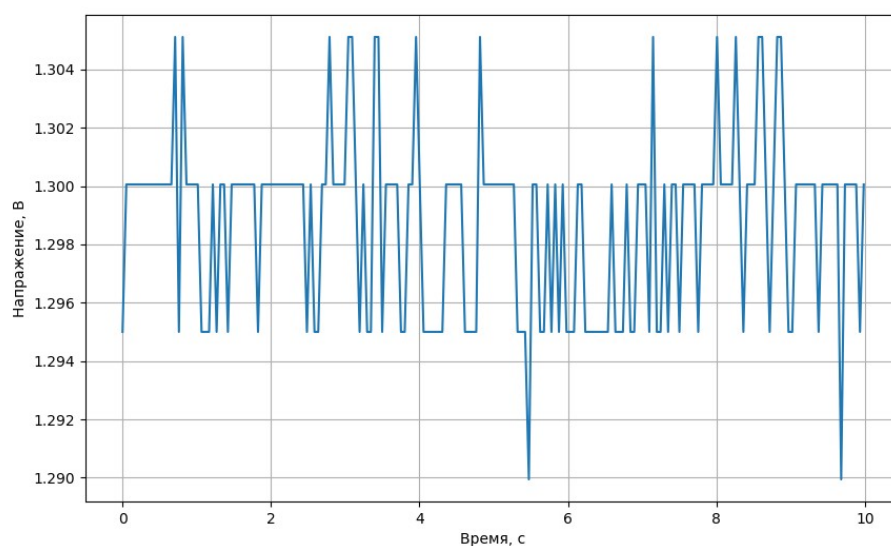


Рисунок 7 — Напряжение на АЦП при  $h = 48$  мм

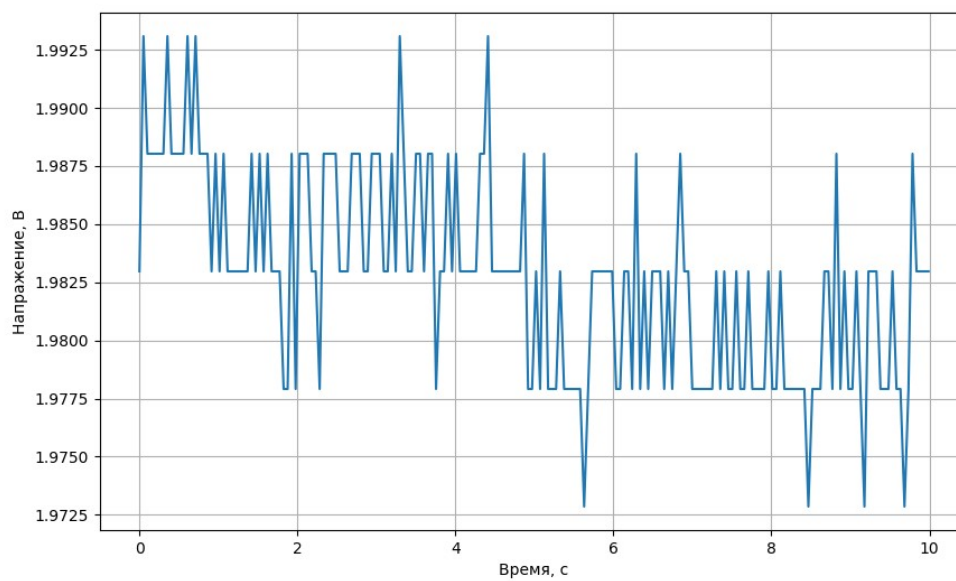


Рисунок 8 — Напряжение на АЦП при  $h = 70$  мм

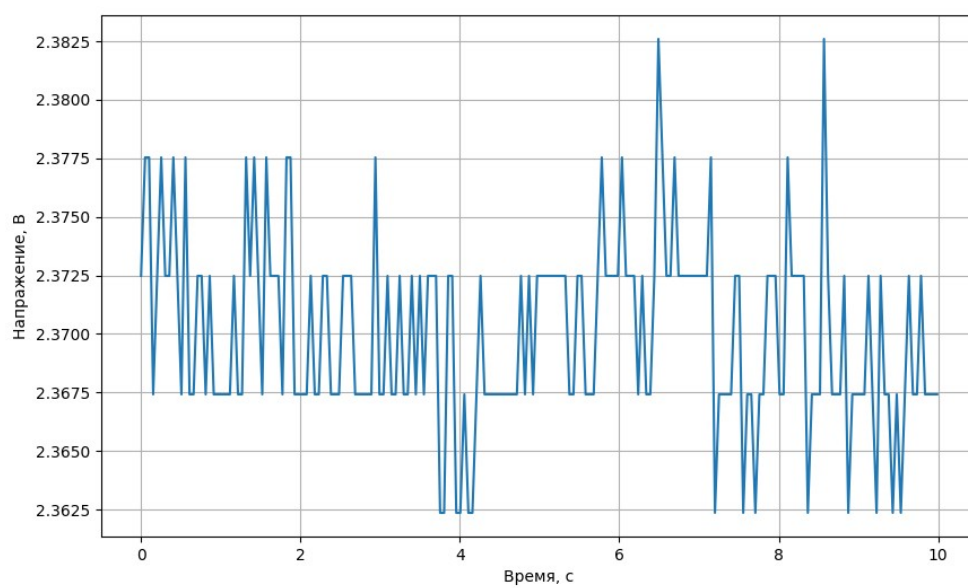


Рисунок 9 — Напряжение на АЦП при  $h = 85$  мм

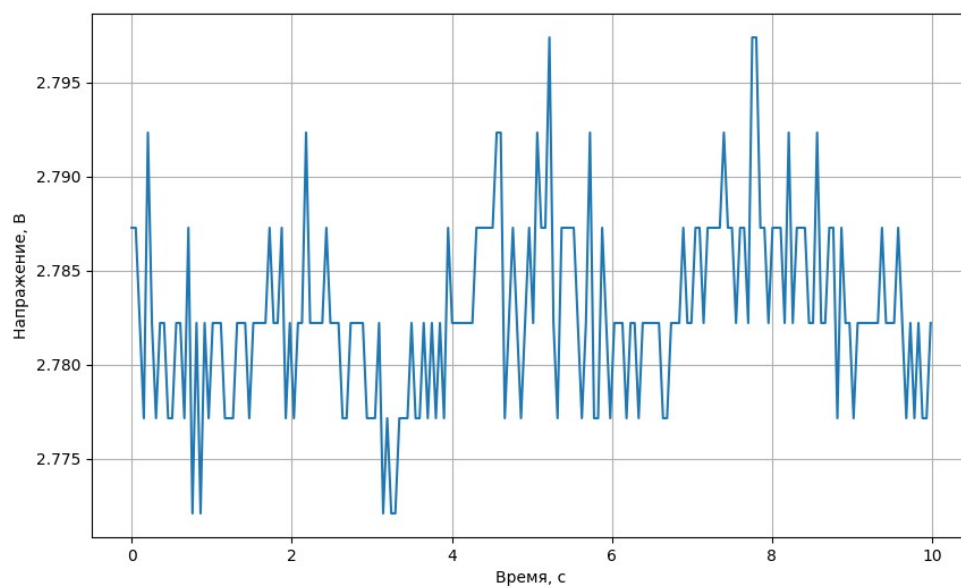


Рисунок 10 — Напряжение на АЦП при  $h = 100$  мм

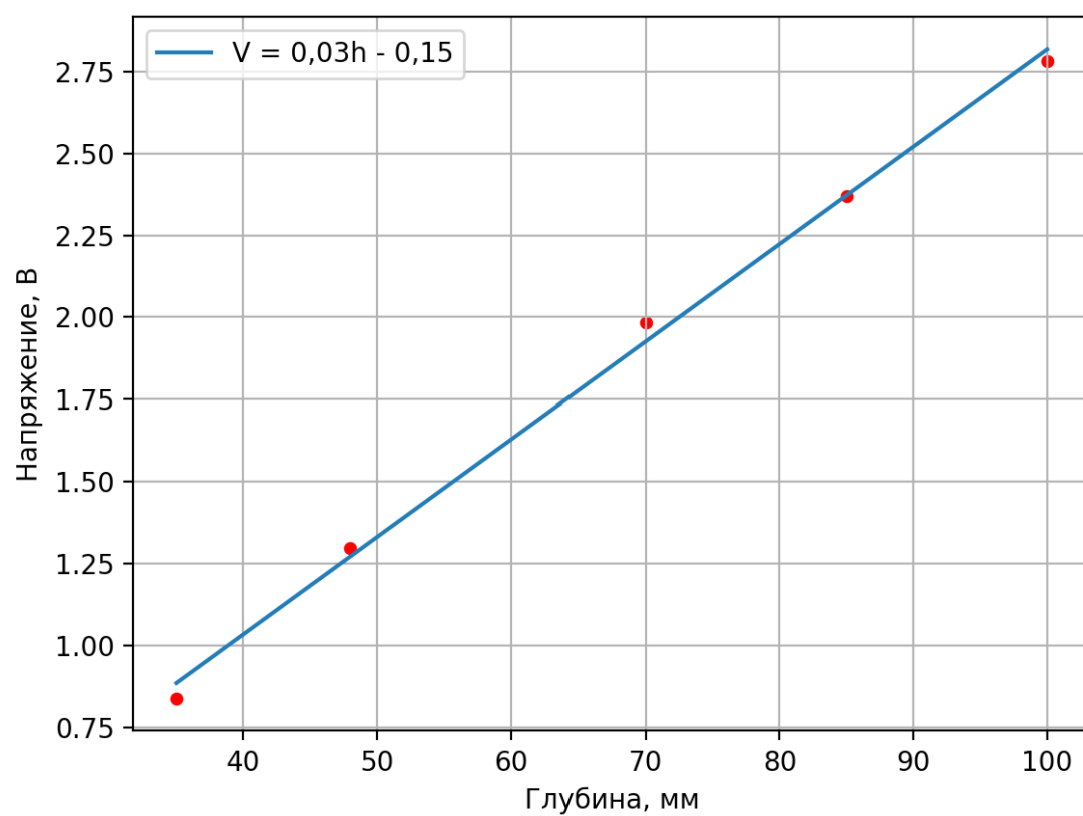


Рисунок 11 — Зависимость напряжения от глубины

## 4.2 Результаты измерений

Были произведены 5 измерений для разных уровней воды  $h$ , равных 20, 40, 60, 74 и 100 мм соответственно. Видно, что зависимость имеет два участка – первоначальный с постоянным значением уровня воды и конечный, где её уровень начинает быстро уменьшаться. Аппроксимировав оба участка прямыми при помощи метода наименьших квадратов, время  $t$ , когда волна достигает электродов, можно найти как точку их пересечений. На графиках зависимости высоты уровня воды от времени, представленных на рисунках 12-16, она отмечена вертикальной пунктирной линией.

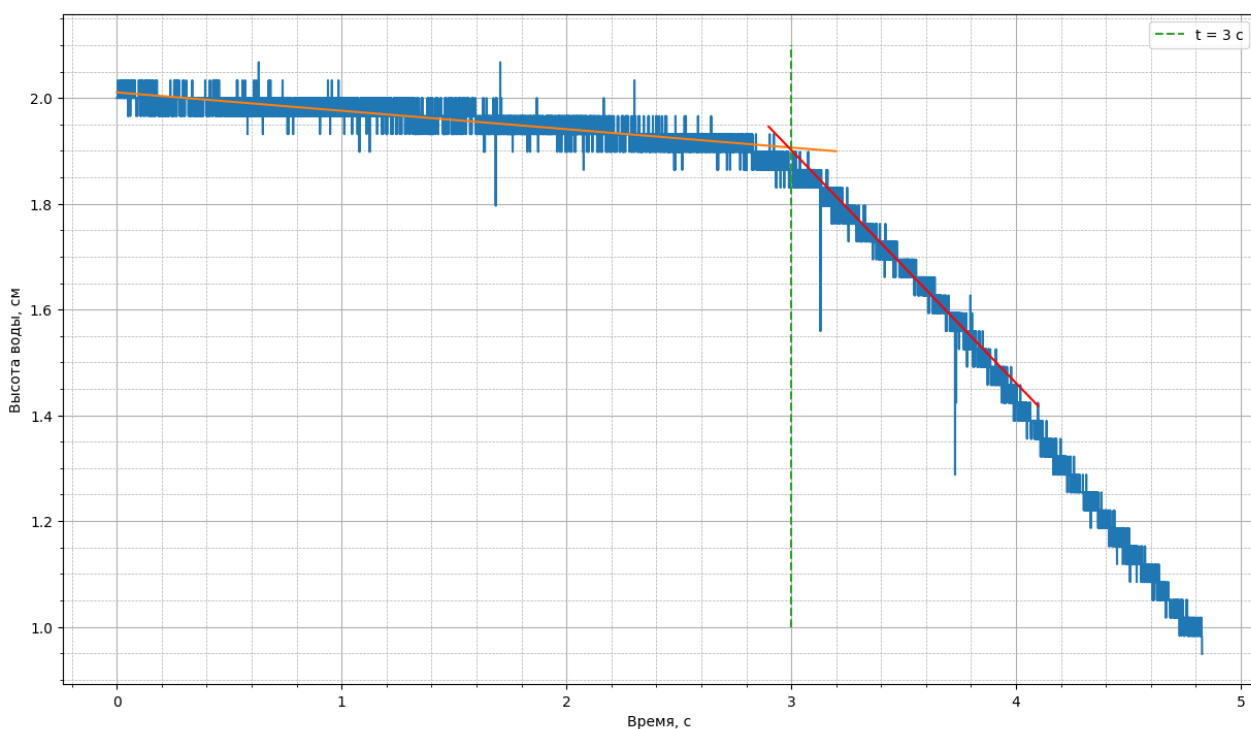


Рисунок 12 — График зависимости глубины жидкости от времени при  $h = 20$  мм

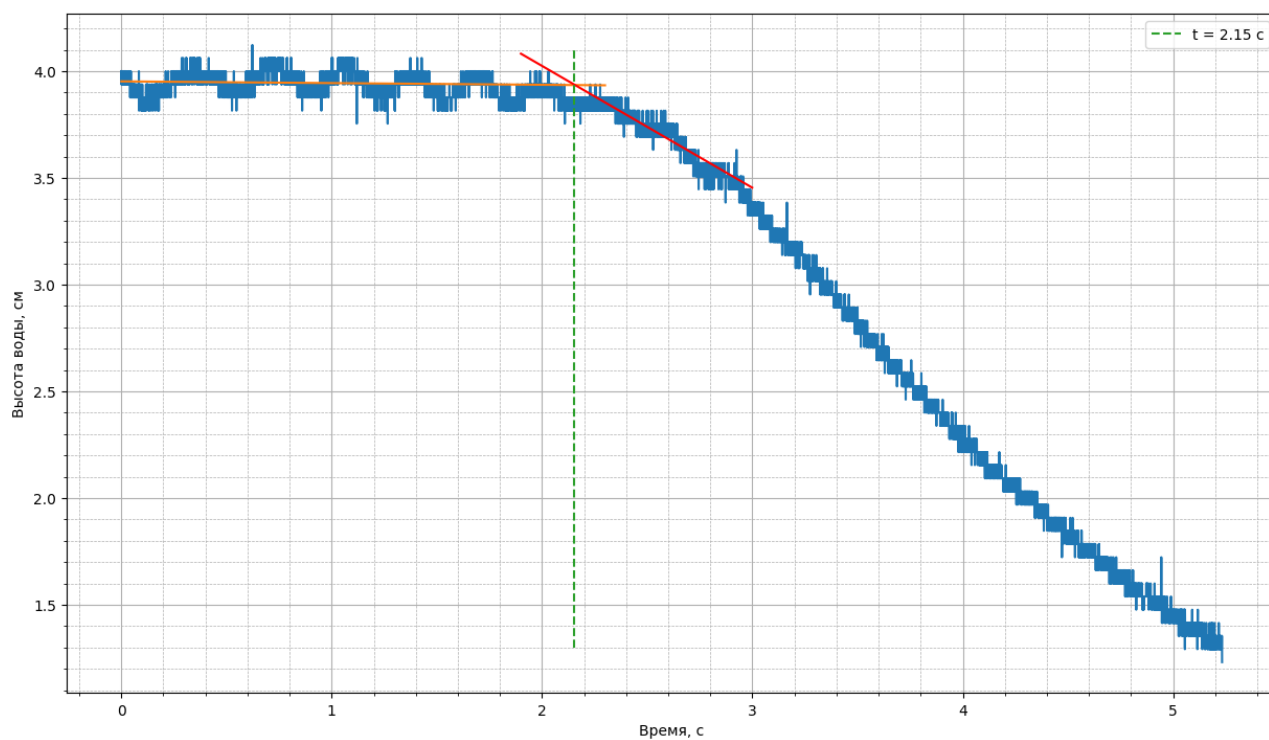


Рисунок 13 График зависимости глубины жидкости от времени при  $h = 40$  мм

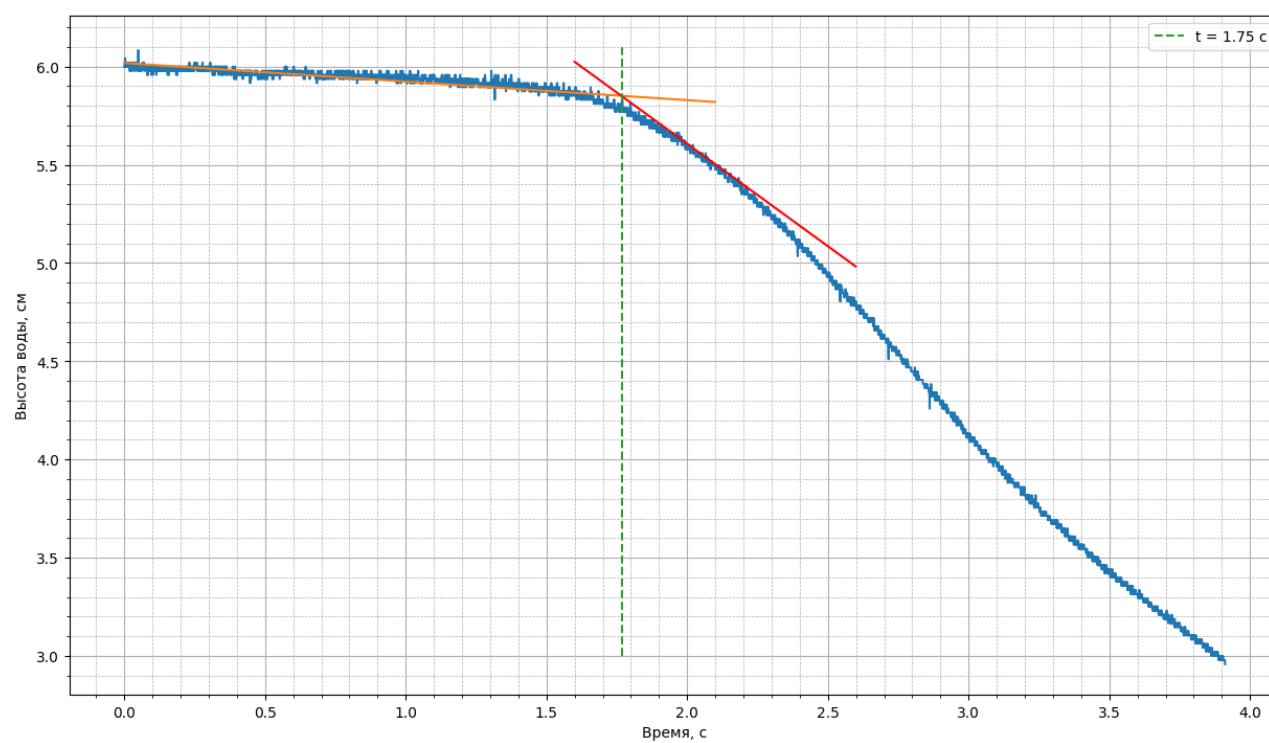


Рисунок 14 — График зависимости глубины жидкости от времени при  $h = 60$  мм

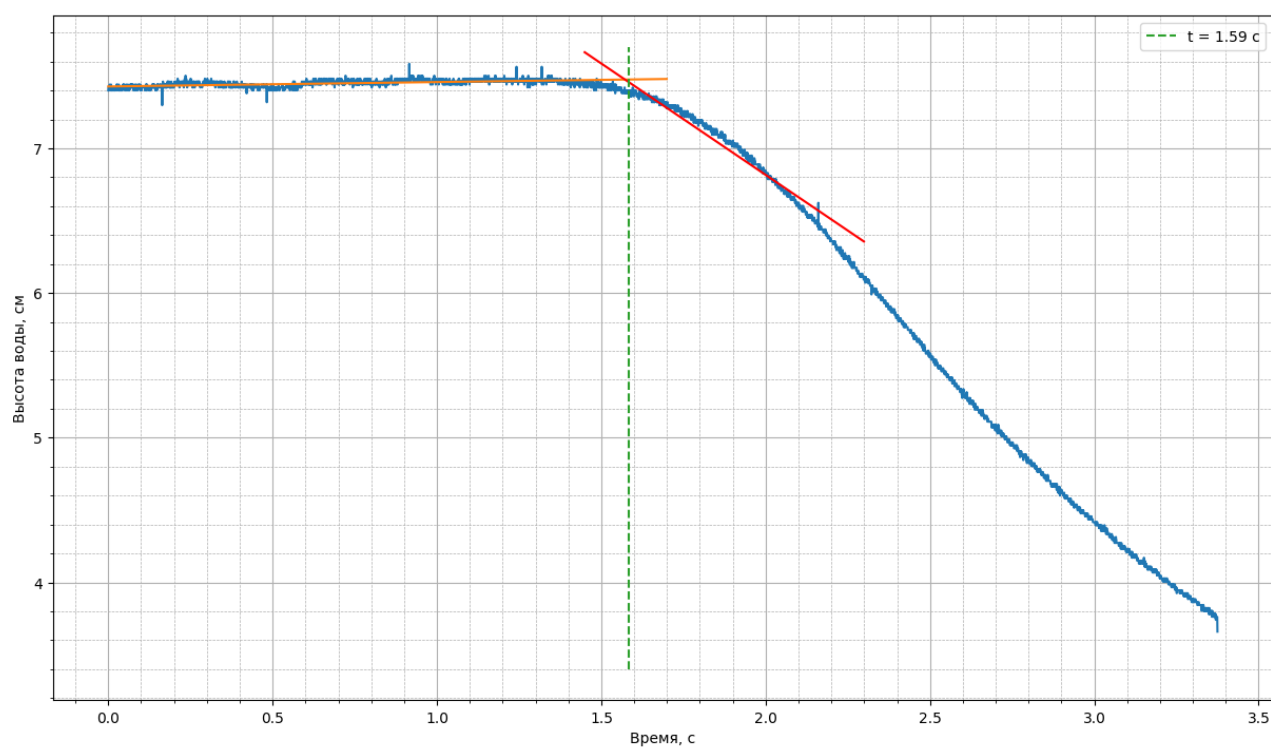


Рис. 15 — График зависимости глубины жидкости от времени при  $h = 74$  мм

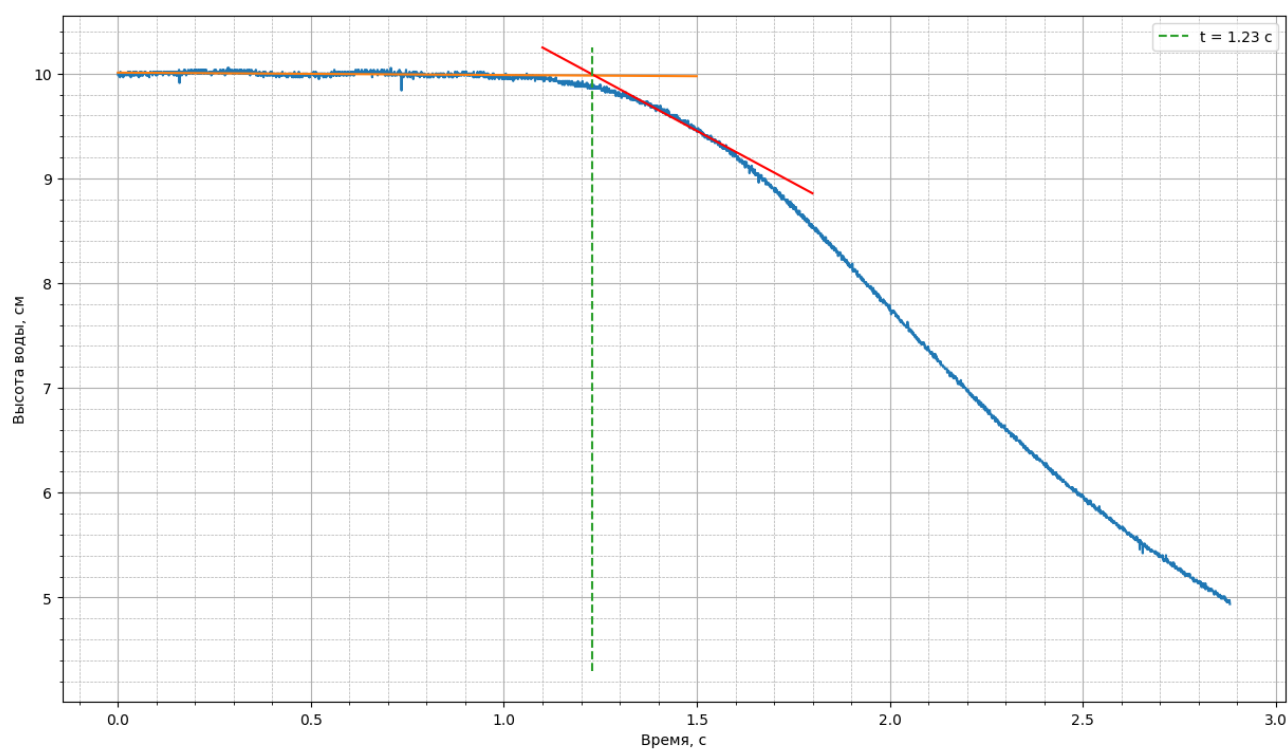


Рис. 16 — График зависимости глубины жидкости от времени при  $h = 100$  мм

### 4.3 Результаты проведенного эксперимента

Расстояние от дверцы до электродов  $L = 1,32$  м. Тогда для измеренных высот можно найти скорость распространения волны. Аппроксимируем их методом наименьших квадратов:

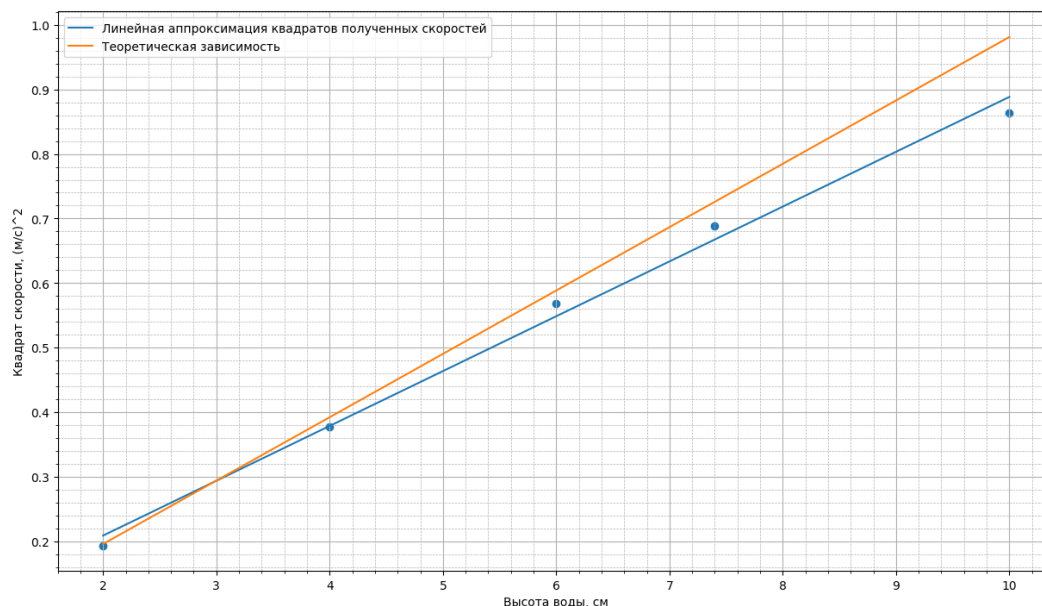


Рисунок 17 — экспериментально и теоретически полученные скорости

Полученный коэффициент наклона  $k = 9,04$  м/с<sup>2</sup> отличается от теоретического  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup> на 8 процентов. Также точки хуже ложатся на прямую при больших значениях  $h$ . Это может быть обусловлено рядом причин, среди которых неидеальные условия при проведении эксперимента, неидеальность используемой АЦП, недостатки оборудования (дверца кюветы подтекала), неучтенное время компиляции программы.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экспериментально установленная квадратичная зависимость скорости распространения волны от глубины качественно подтверждает справедливость теории мелкой воды для данных условий, однако для количественного измерения скорости распространения волны в приближении мелкой воды точности эксперимента не хватает.