

МОСКОВСКИЙ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

Определение скорости распространения волны на поверхности воды

Выполнили студенты
1 курса ФАКТ МФТИ:

Лысенко Ярослав

Калашников Пётр

Ванин Клим

Долгопрудный, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1 Цели и задачи.....	3
1.1 Цель работы.....	3
1.2 Задачи.....	3
2 Теория.....	3
2.1 Термины и приближения.....	3
2.2 Физическая система.....	4
2.3 Экспериментальная установка.....	5
3 Программа и методика измерений.....	7
3.1 Программа измерений.....	7
3.2 Методика измерений.....	7
4 Обработка данных.....	8
4.1 Калибровка.....	8
4.2 Вычисление скорости волны.....	10
4.3 Графики зависимости высоты уровня воды от времени.....	11
5 Результаты.....	17
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	18

ВВЕДЕНИЕ

Перед нашей группой стояла задача выполнить лабораторную работу в рамках курса общинженерной подготовки, заключающуюся в исследовании волн на поверхности воды и определении скорости их распространения.

1 Цели и задачи

1.1 Цель работы

Исследование зависимости скорости распространения возмущений в воде от глубины канала.

1.2 Задачи

1. Собрать и протестировать схему датчика открытия дверцы.
2. Написать и протестировать скрипт для калибровки.
3. Написать и протестировать скрипт для проведения измерения.
4. Провести серию измерений для калибровки.
5. Провести серию измерений скорости волны для разных уровней воды.
6. Получить и визуализировать на графике калибровочную зависимость уровня воды в кювете от показаний АЦП.
7. Построить графики зависимостей уровня воды в кювете от времени для каждого из трех экспериментов и определить по графикам скорости распространения волны.
8. Построить график теоретической зависимости скорости волны от уровня воды и нанести на него полученные в эксперименте скорости.

2 Теория

2.1 Термины и приближения

В работе следует определить скорость распространения волны на мелкой воде в узком канале, т.е. когда **длина волны больше глубины канала**.

Для теоретических расчётов будем использовать следующие приближения:

1. Жидкость несжимаемая.
2. Глубина жидкости в каждом сечении канала много меньше длины канала.
3. Вертикальная скорость жидкости много меньше горизонтальной.
4. Изменение параметров течения жидкости (глубины и скорости) вдоль канала заметно меняются только на расстояниях, много больших глубины жидкости.

Скорость распространения малых возмущений — скорость распространения точки с постоянным физическим параметром (в данной задаче — глубины жидкости).

2.2 Физическая система

Рассматривается слой идеальной жидкости постоянной плотности с горизонтальным дном. В состоянии покоя глубина h_0 .

Особенностью распространения скорости возмущений в сплошной среде является то, что, какие либо изменения в одной точке начинают влиять на состояние среды в другой точке через время, равное отношению расстояния между точками и скорости c . Поэтому считают, что если характерные изменения в какой-то части среды происходят за время, много большее, чем время распространения возмущения в расчетной области (области, занимаемой средой), то процесс является квазистационарным и его рассчитывают без учета зависимости физических процессов от времени. Тогда скорость распространения малых возмущений зависит от высоты h как:

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

2.3 Экспериментальная установка

Общий вид экспериментальной установки показан на рисунке 1

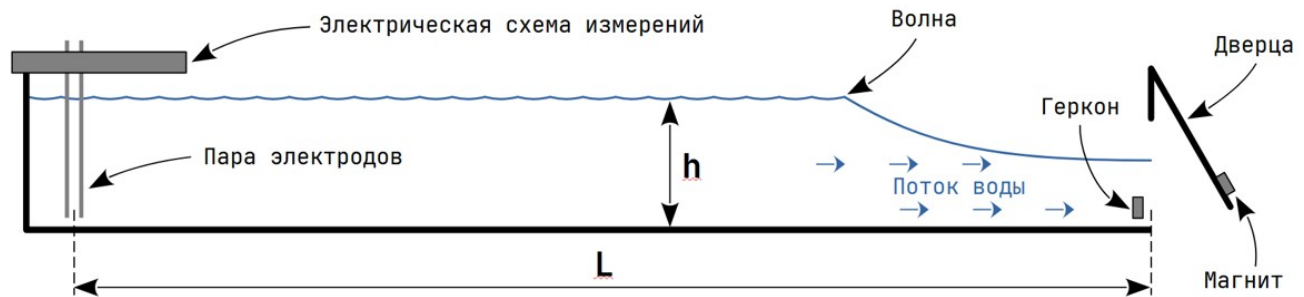


Рисунок 1 — Экспериментальная установка

Основными элементами установки являются мини-компьютер Raspberry Pi, электрическая схема измерений, электрическая схема контроля состояния дверцы (в нашем случае реализация схемы с ключём).

Электрическая схема позволяет на электроды, опущенные в жидкость, подать переменное напряжение с частотой 10-20 кГц (настраиваемый параметр). Амплитуда установившихся колебаний зависит от сопротивления между электродами и емкости конденсатора, которое формируется также электродами. Эти величины зависят от уровня жидкости в кювете, и поэтому можно «выпрямить» переменное напряжение, установившееся в цепи, измерить полученное напряжение с помощью Raspberry Pi, и определить собственно уровень воды.

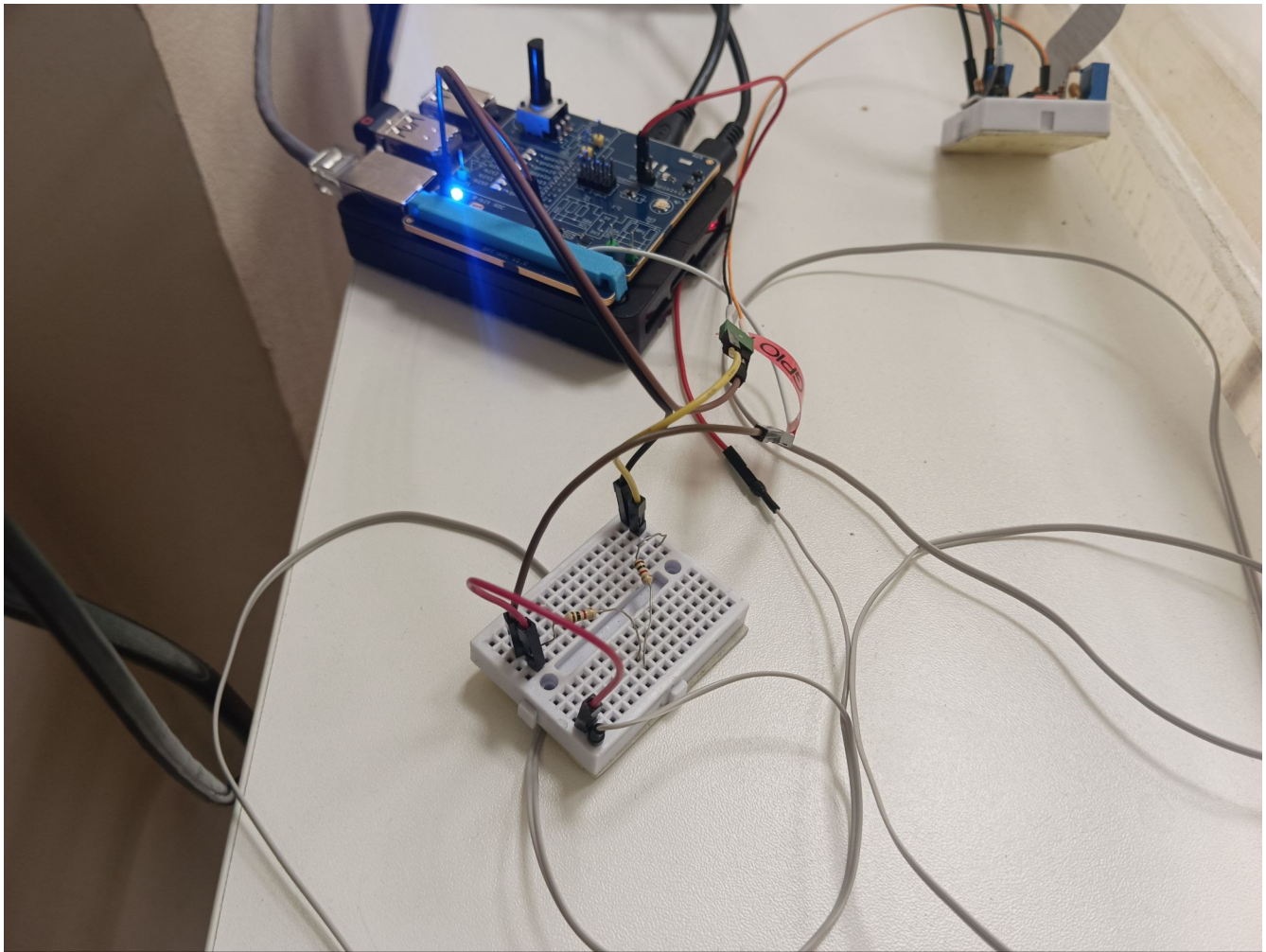


Рисунок 2 — Схема установки

Чтобы определить скорость распространения волны необходимо знать время τ , за которое волна пройдёт расстояние от дверцы кюветы до электродов. Расстояние L не меняется, поэтому его достаточно измерить один раз. Время прохождения волной кюветы (τ) можно найти, определив временной промежуток между моментом открытия дверцы и моментом, когда уровень воды между электродами начинает снижаться.

3 Программа и методика измерений

3.1 Программа измерений

1. Провести серию измерений для калибровки для следующих уровней воды:

Глубина h , см							
0.0	1.9	4.0	5.1	5.8	6.9	8.9	10.5

2. Провести серию измерений скорости волны для разных уровней воды:

Глубина h, см										
2.0	2.3	3.0	4.1	4.8	5.0	6.0	6.9	7.8	9.0	9.9

3. Построить калибровочный график зависимости высоты уровня воды от показаний АЦП.
4. Построить график зависимости уровня воды от времени, для того, чтобы убедиться в корректности получаемых данных.

3.2 Методика измерений

Путем написания программы на Python, которая считывает показания датчика уровня воды с течением времени. Для этого в программе реализуется система ожидания открытия дверцы (размыкания ключа) и, когда дверца открывается, начинается запись показаний АЦП и текущего времени в цикле на 150 измерений (15 секунд). Ход работы отражен на рисунке 3

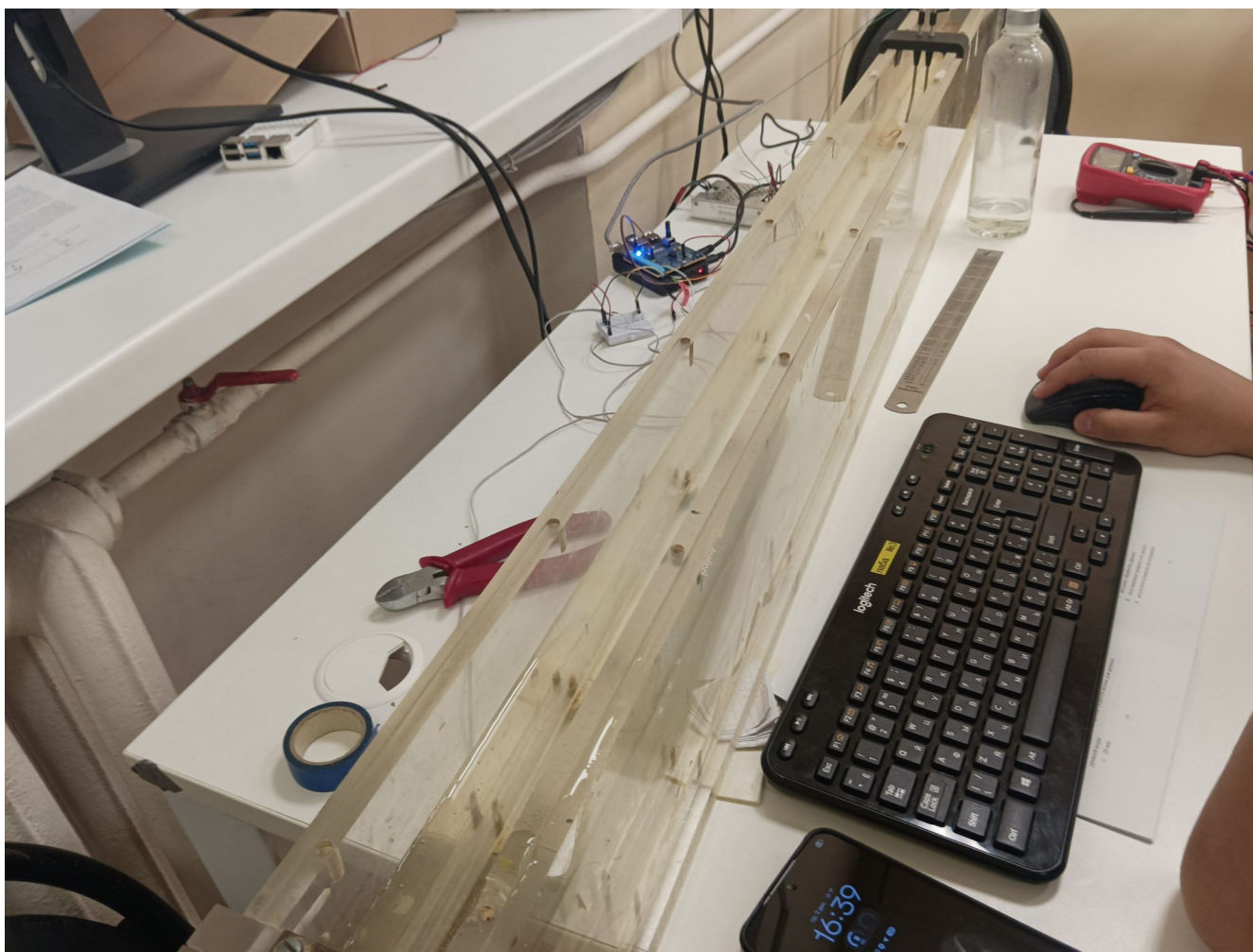


Рисунок 3 — Ход работы

4 Обработка данных

4.1 Калибровка

С помощью калибровочных скриптов мы получили графики зависимости показаний АЦП от времени для различных значений высоты уровня воды (рисунок 4), измеряемых линейкой. С помощью этого графика мы построили калибровочный график зависимости показаний АЦП от высоты уровня воды (рисунок 5).

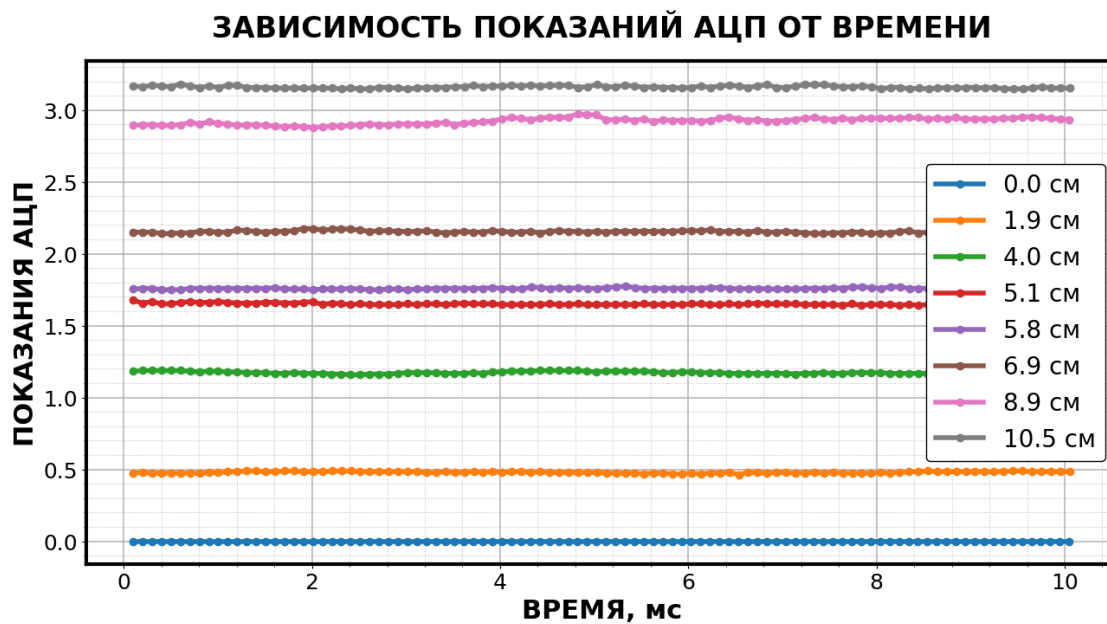


Рисунок 4 — График зависимости показаний АЦП от времени

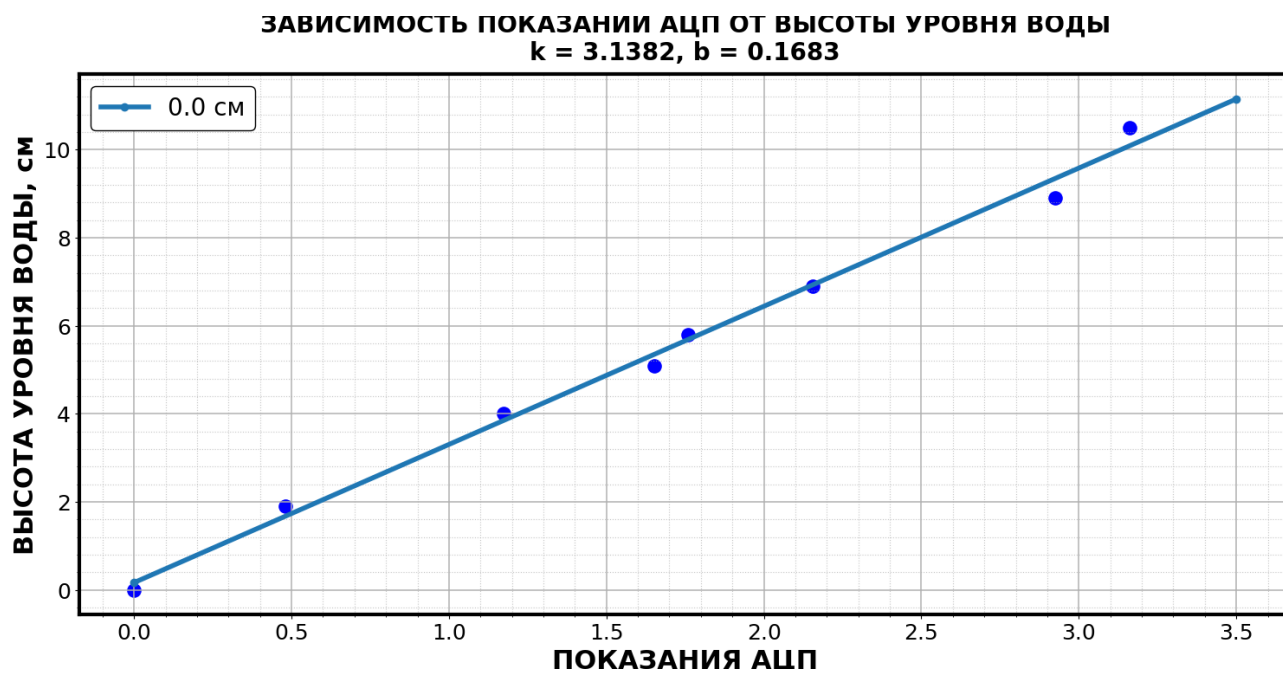


Рисунок 5 — Зависимость показаний АЦП от высоты уровня воды

4.2 Вычисление скорости волны

После проведения калибровки установки каждое показание АЦП может быть преобразовано в физическую величину — высоту уровня воды в точке расположения датчика с помощью линейной зависимости:

$$h = kx + b \quad (2)$$

Расположив электроды на расстоянии $L=101.7$ см от стенки сосуда, определим скорость по формуле:

$$c = \frac{L}{T} \quad (3)$$

где T — время, за которое волна добегает до электродов.

До прихода волны уровень воды у датчика остается неизменным. На графике это проявляется как горизонтальный участок. В момент прохождения волны уровень воды начинает меняться, что соответствует криволинейному участку на графике. Значение времени в точке излома графика и есть искомое значение T . Тогда построив две прямые, как средние значения для двух участков графика определим время T . Ниже представлены графики, с помощью которых определяется искомое время.

4.3 Графики зависимости высоты уровня воды от времени

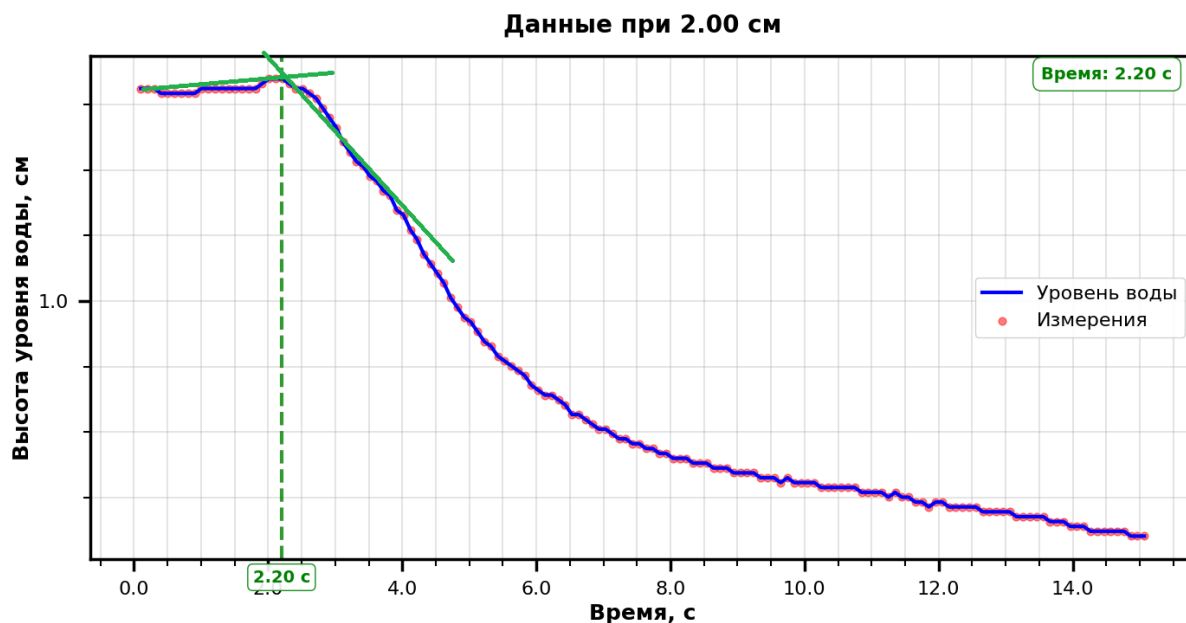


Рисунок 6 — График зависимости высоты уровня воды от времени, $h_0=2.3$ см

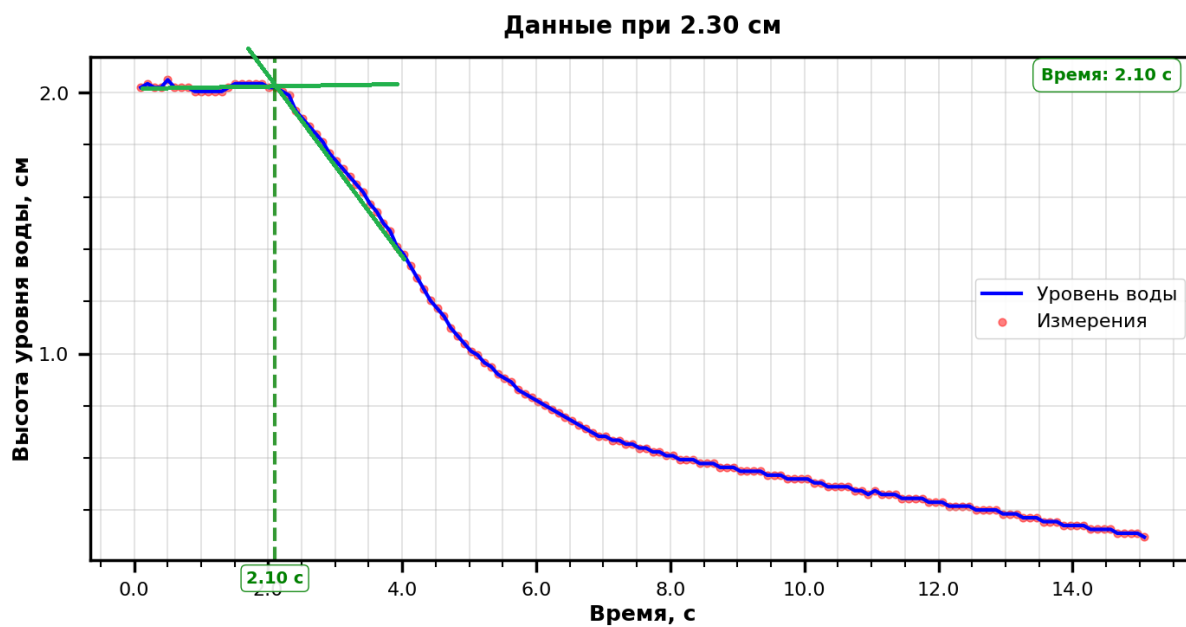


Рисунок 7 — График зависимости высоты уровня воды от времени, $h_0=2.3$ см

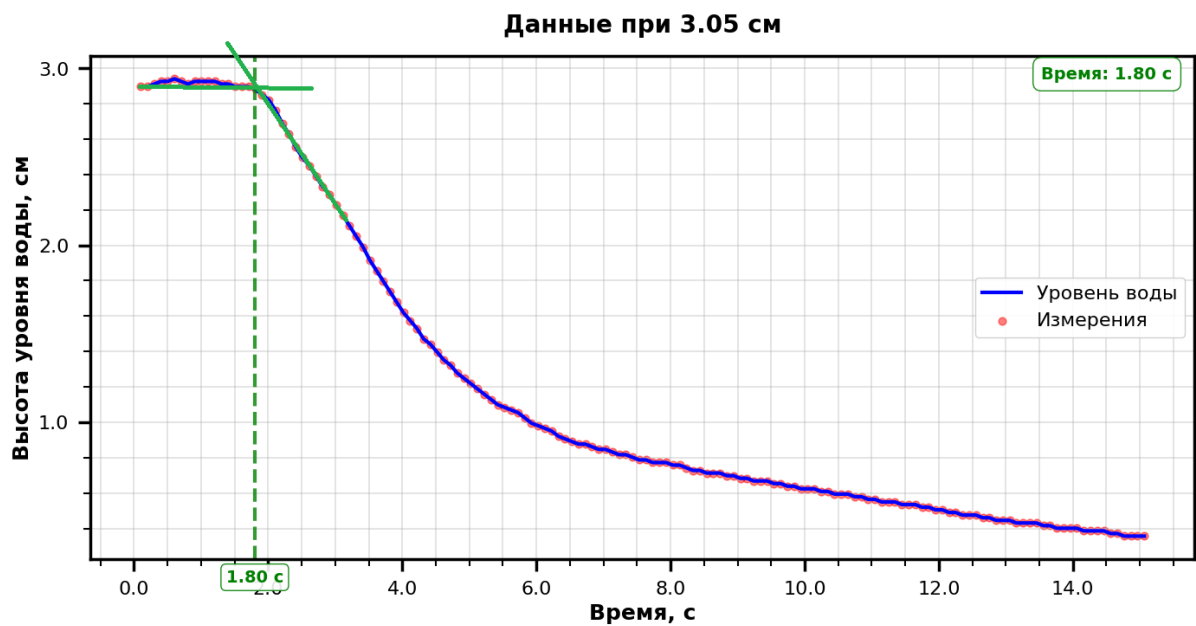


Рисунок 8 — График зависимости высоты уровня воды от времени, $h_0=3.05$ см

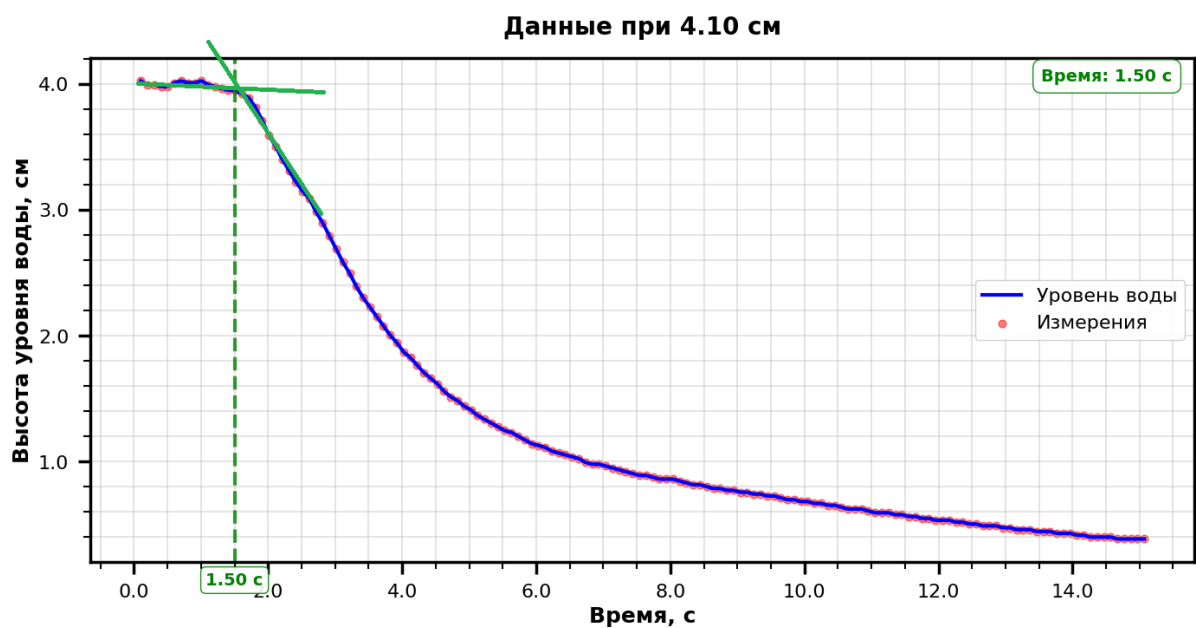


Рисунок 9 — График зависимости высоты уровня воды от времени, $h_0=4.10$ см

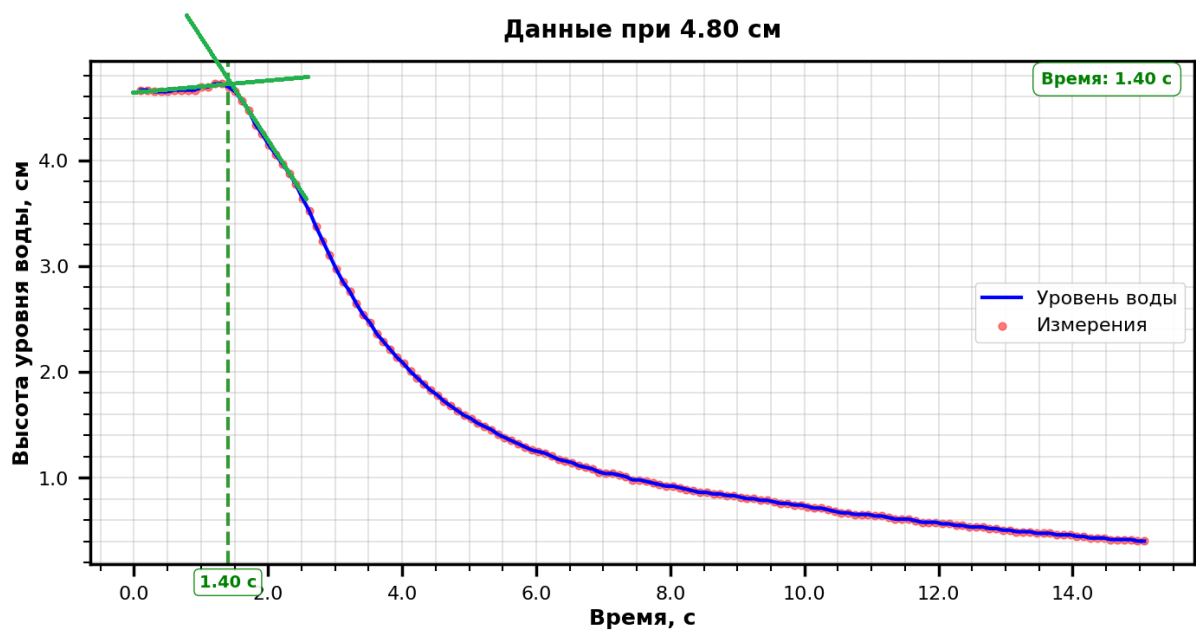


Рисунок 10 — График зависимости высоты уровня воды от времени, $h_0=4.80$ см

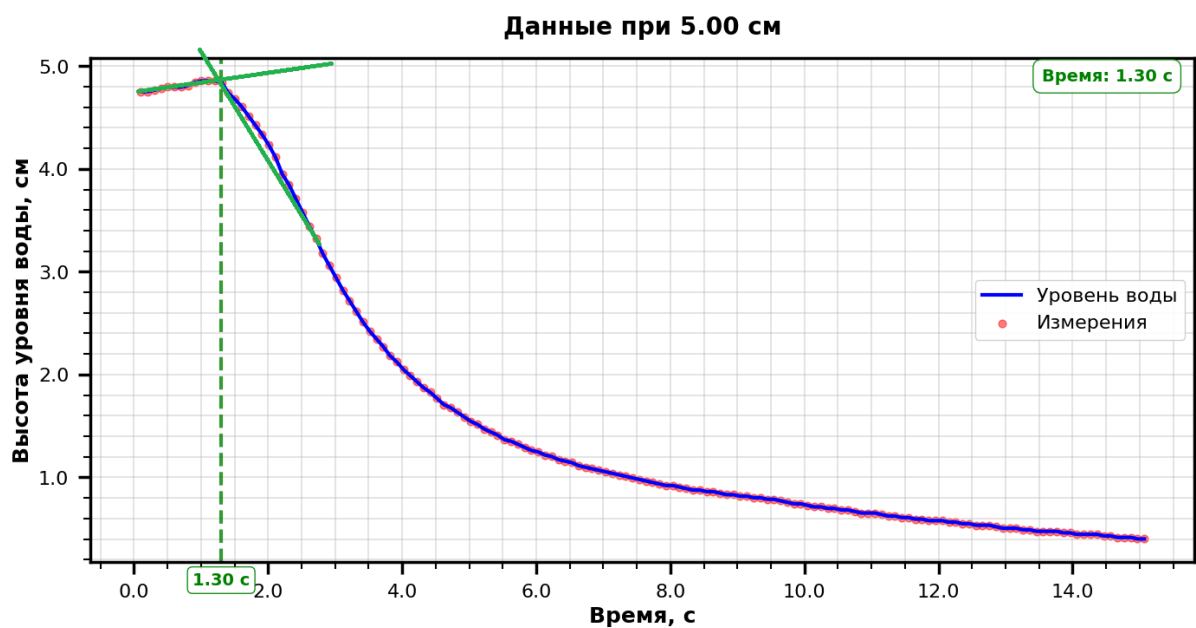


Рисунок 11 — График зависимости высоты уровня воды от времени, $h_0=5.00$ см

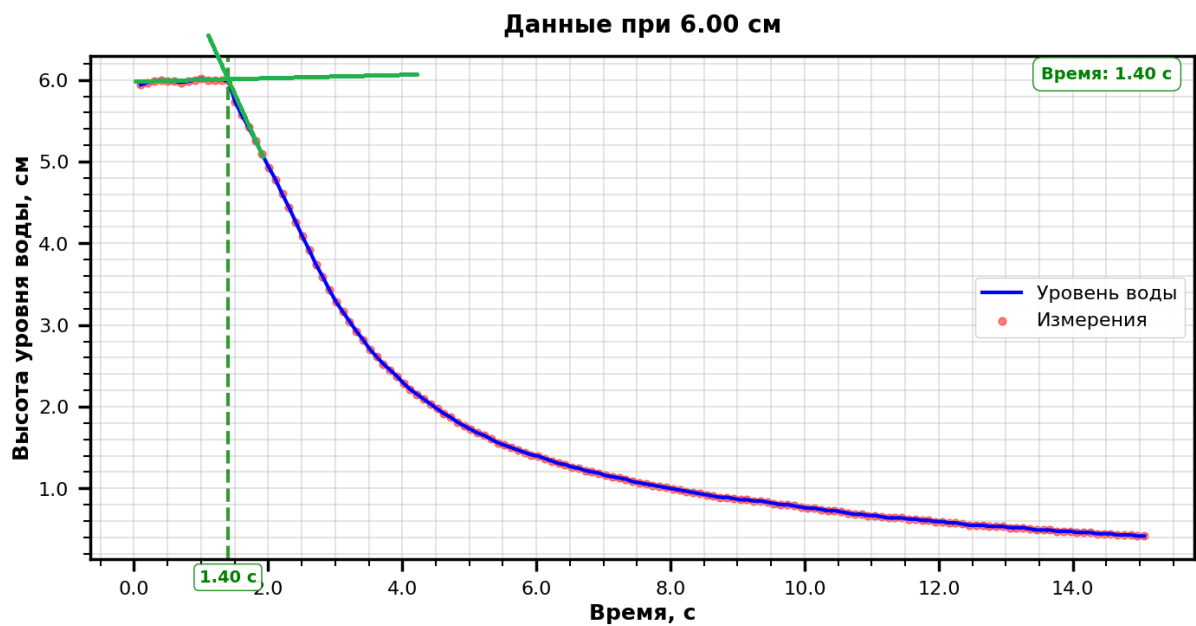


Рисунок 12 — График зависимости высоты уровня воды от времени, $h_0=6.00$ см

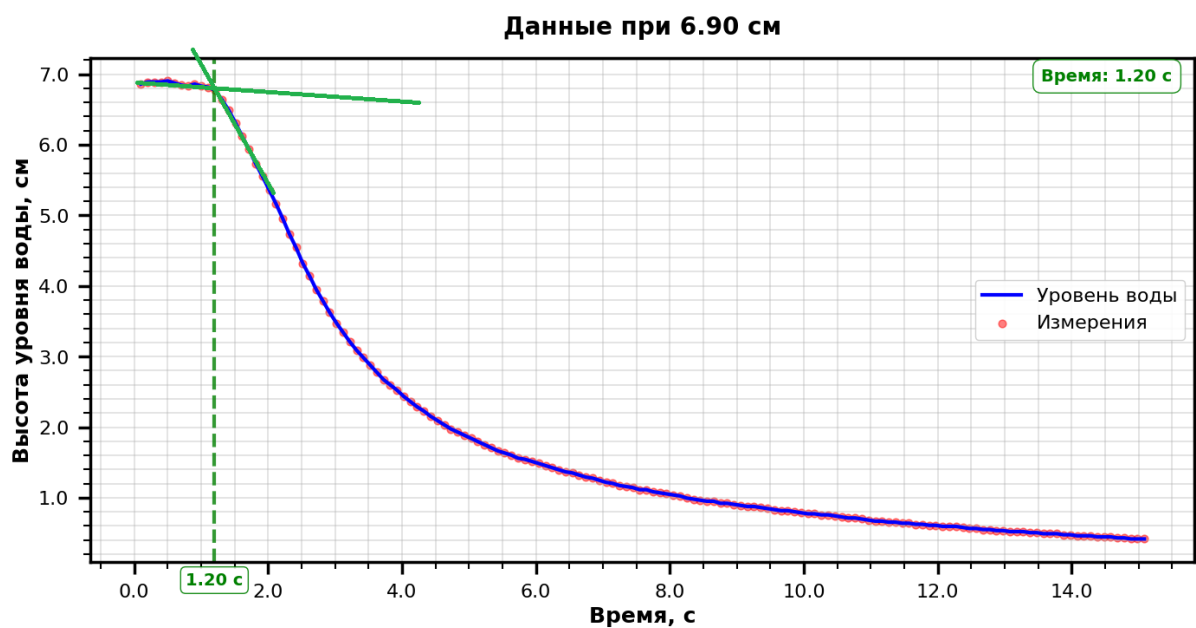


Рисунок 13 — График зависимости высоты уровня воды от времени, $h_0=6.90$ см

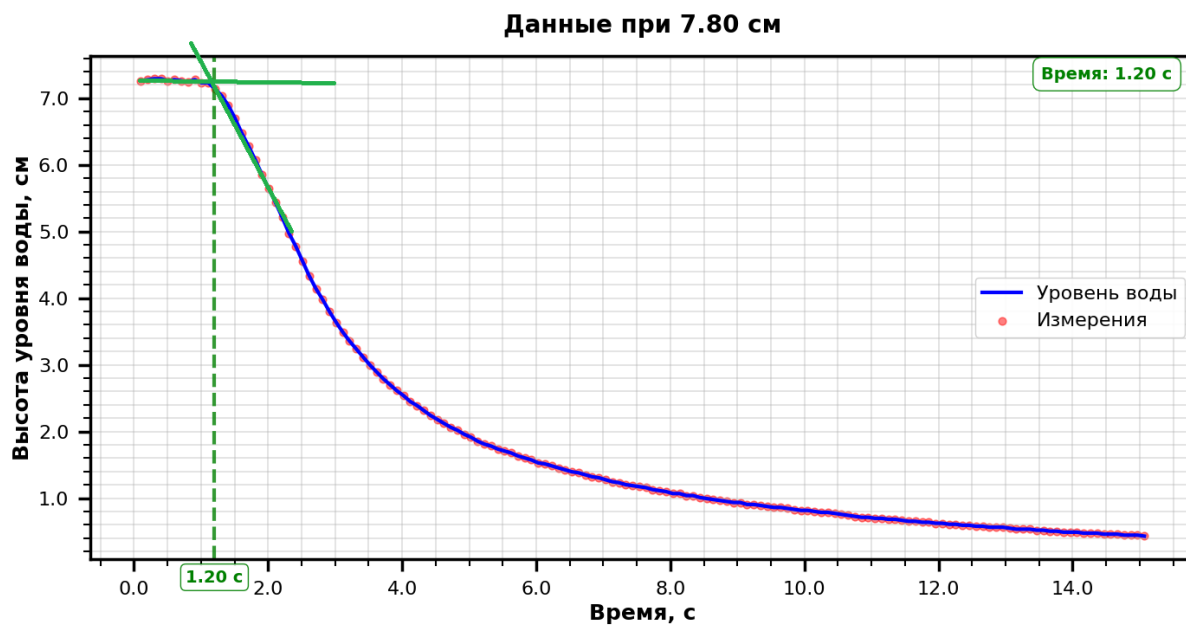


Рисунок 14 — График зависимости высоты уровня воды от времени, $h_0=7.80$ см

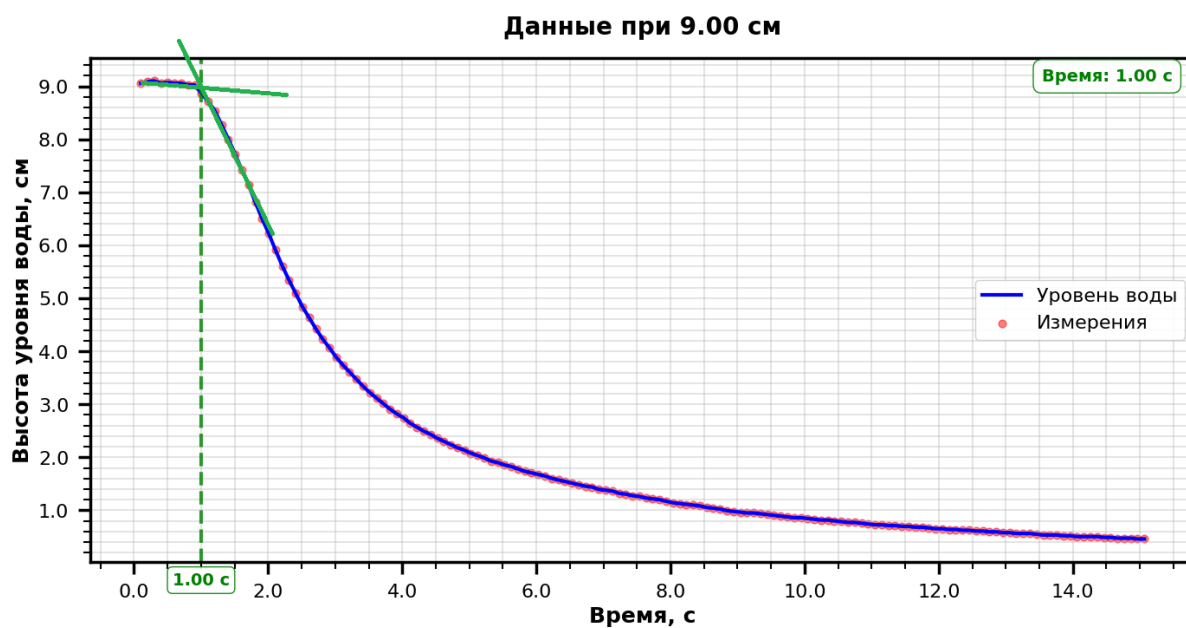


Рисунок 15 — График зависимости высоты уровня воды от времени, $h_0=9.00$ см

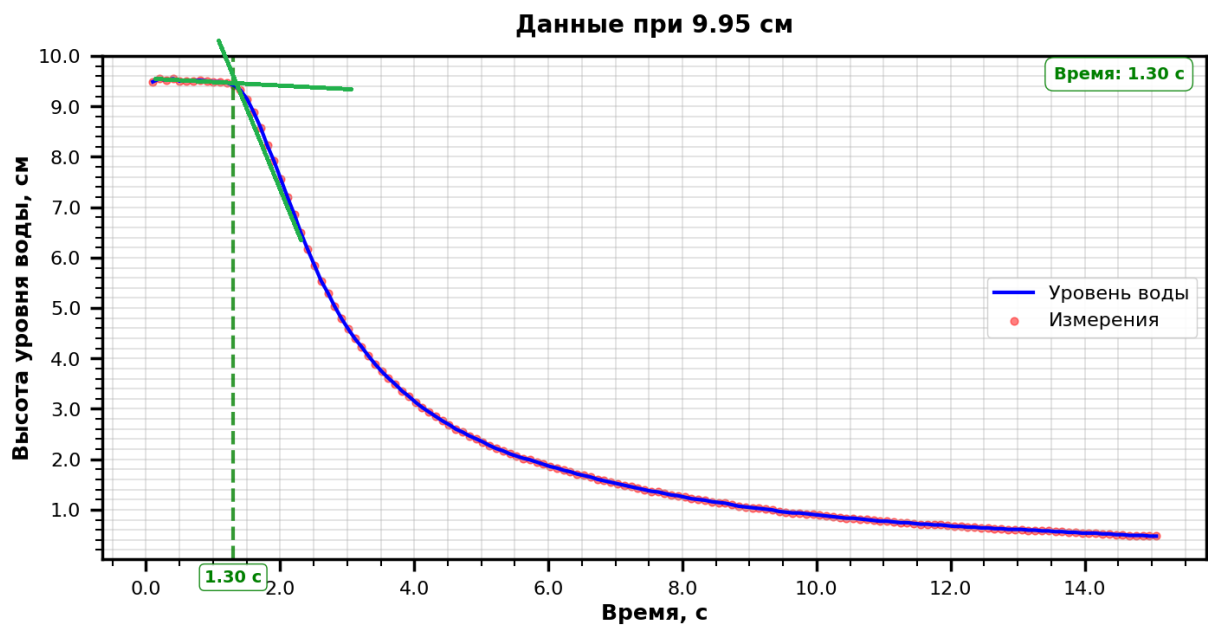


Рисунок 16 — График зависимости высоты уровня воды от времени, $h_0=9.95$ см

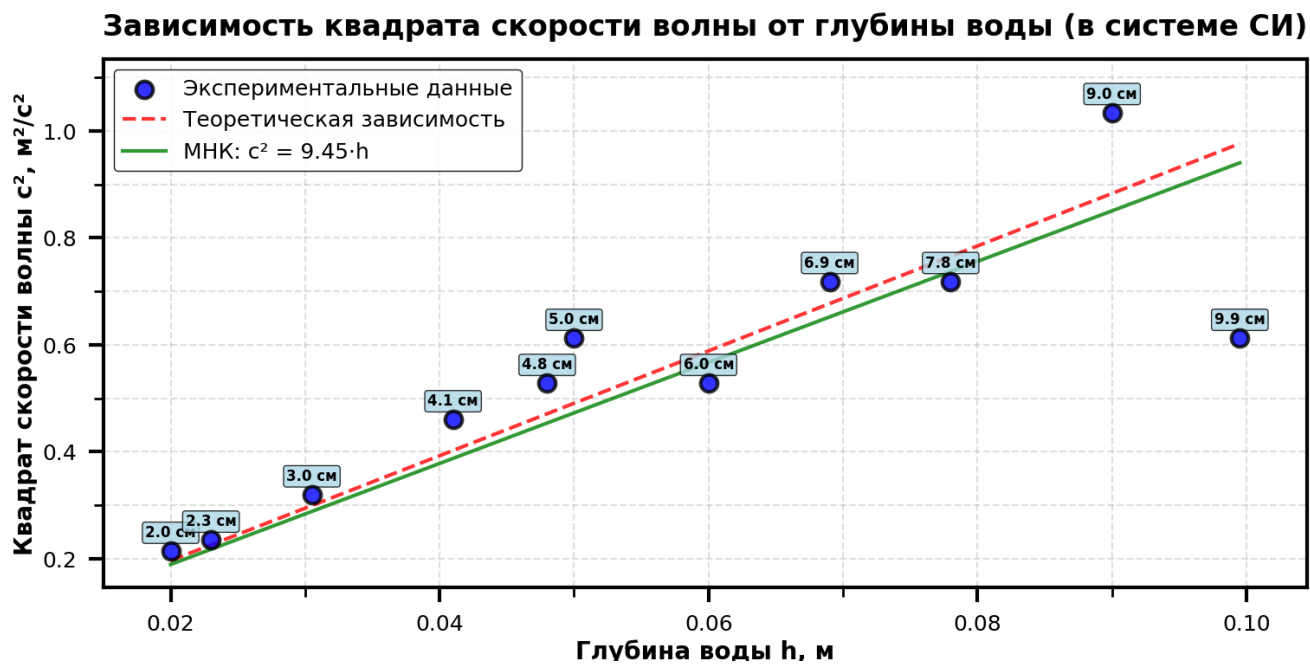


Рисунок 17 — График зависимости высоты уровня воды от квадрата скорости

5 Результаты

В ходе вычислений были получены искомые значения скорости волны. Мы сравнили теоретические значения скорости и экспериментально полученные данные (рисунок 17). Видно, что многие точки ложатся на прямую, но также присутствуют значительные отклонения ($h=9.0$ см, 9.9 см), что может быть связано с погрешностью определения времени, которая возникает из-за не одновременного открытия дверцы и стартом программы (размыканием ключа). Полученные значения скоростей:

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
h , см	2.0	2.3	3.0	4.1	4.8	5.0	6.0	6.9	7.8	9.0	9.9
v , м/с	0.46	0.48	0.56	0.68	0.72	0.78	0.72	0.84	0.84	1.02	0.78

Таблица 18 — Полученные значения скоростей в зависимости от глубины



Рисунок 19 — График зависимости высоты от времени в стоячей воде

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате лабораторной работы была экспериментально измерена скорость распространения волны на мелкой воде при различных глубинах. Было установлено, что скорость волны увеличивается с ростом глубины, что качественно согласуется с теоретической зависимостью.

Наблюдаемое количественное расхождение между экспериментальными и теоретическими значениями объясняется неидеальностью условий опыта: наличие начального импульса при открытии дверцы, проблема в точности определения времени открытия дверцы.