

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 общеинженерной 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

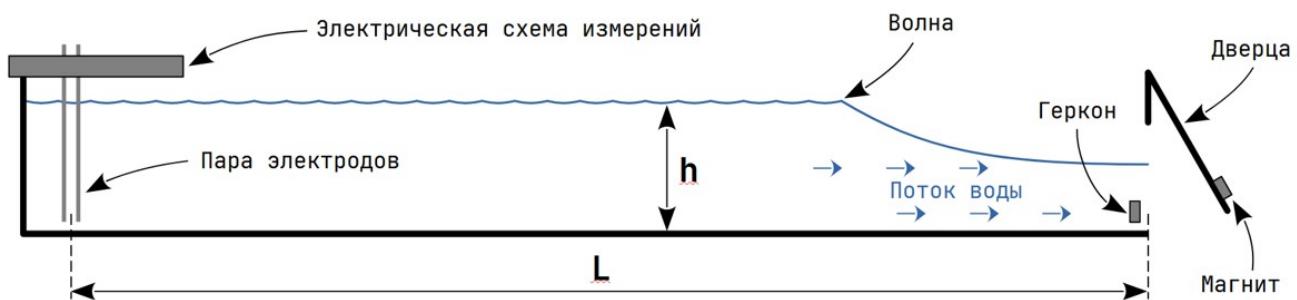


Рисунок 1 — Экспериментальная установка

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, установленное в цепи, измерить полученное напряжение с помощью Raspberry Pi, и определить собственно уровень воды.

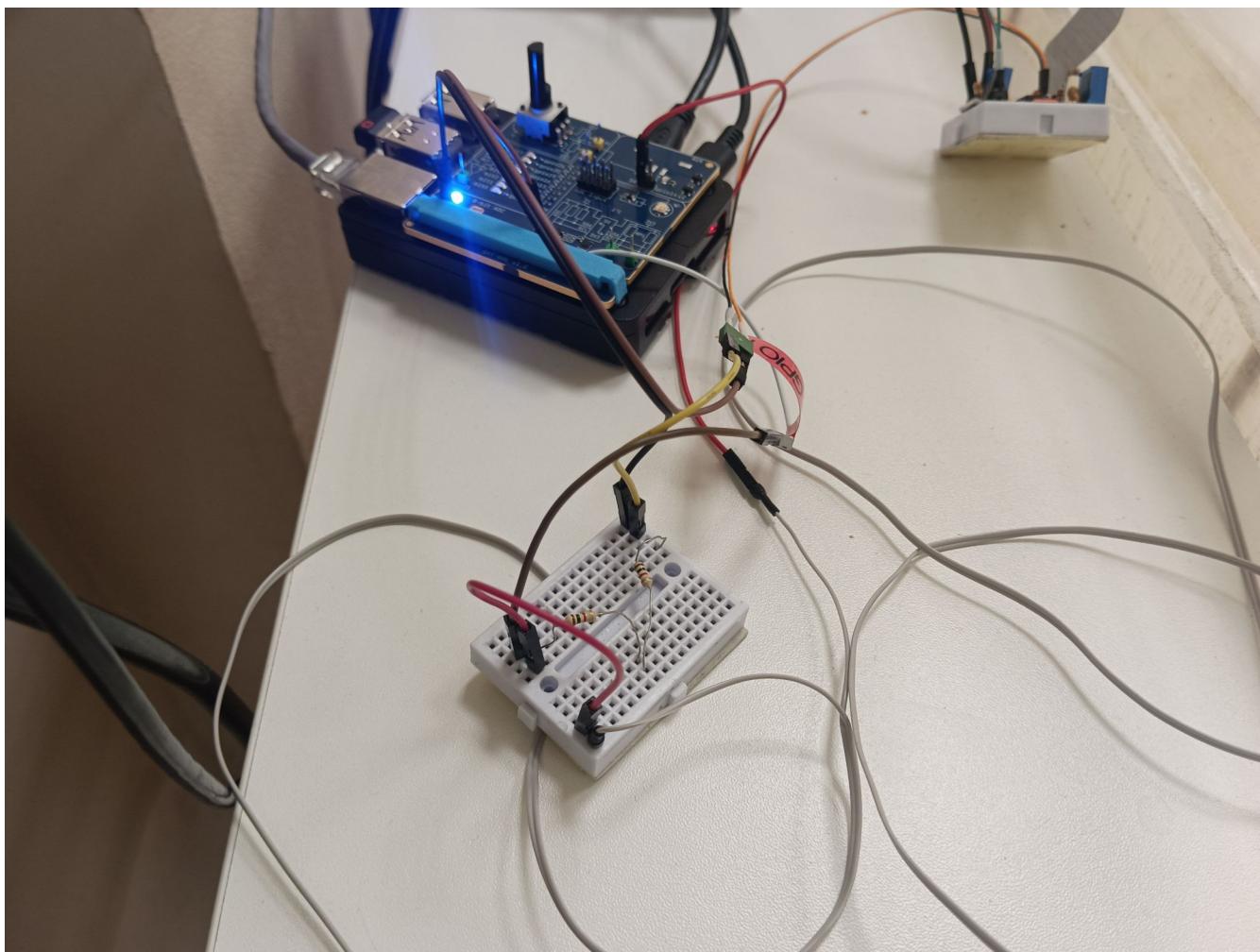


Рисунок 2 — Схема установки

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

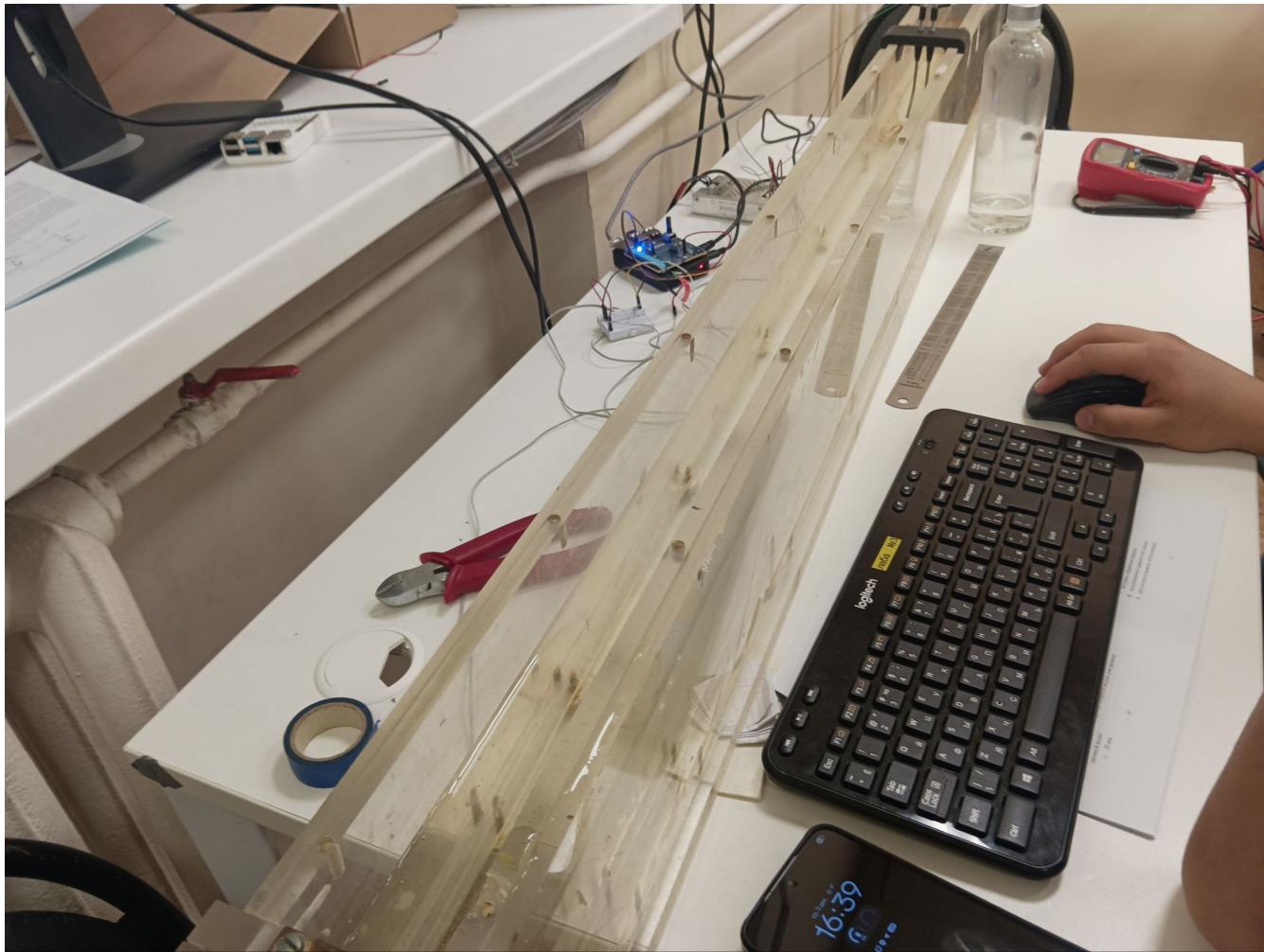


Рисунок 3 — Ход работы

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).

ЗАВИСИМОСТЬ ПОКАЗАНИЙ АЦП ОТ ВРЕМЕНИ

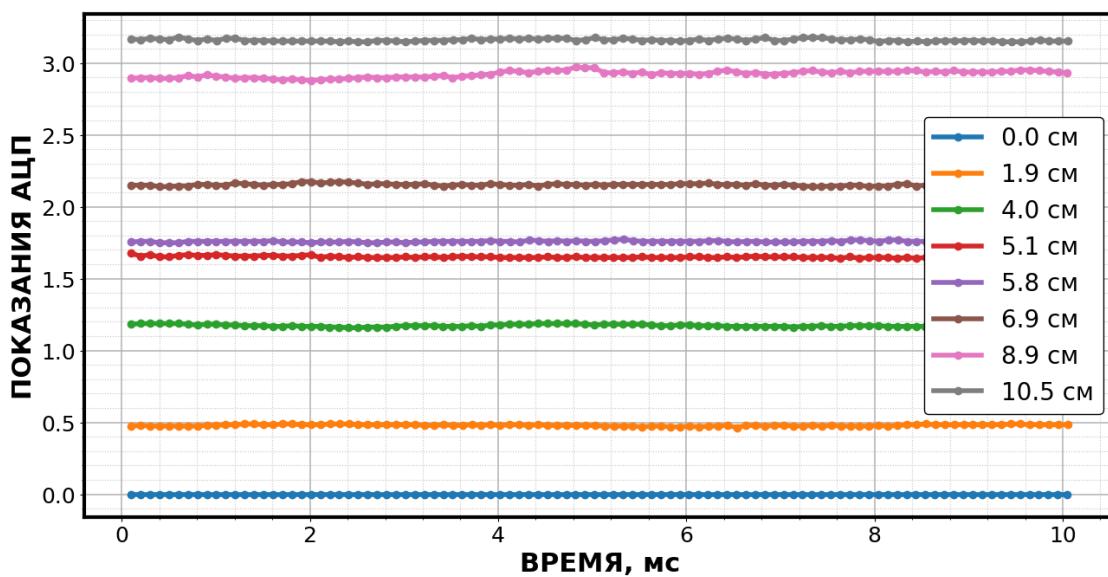


Рисунок 4 — График зависимости показаний АЦП от времени

ЗАВИСИМОСТЬ ПОКАЗАНИЙ АЦП ОТ ВЫСОТЫ УРОВНЯ ВОДЫ $k = 3.1382, b = 0.1683$

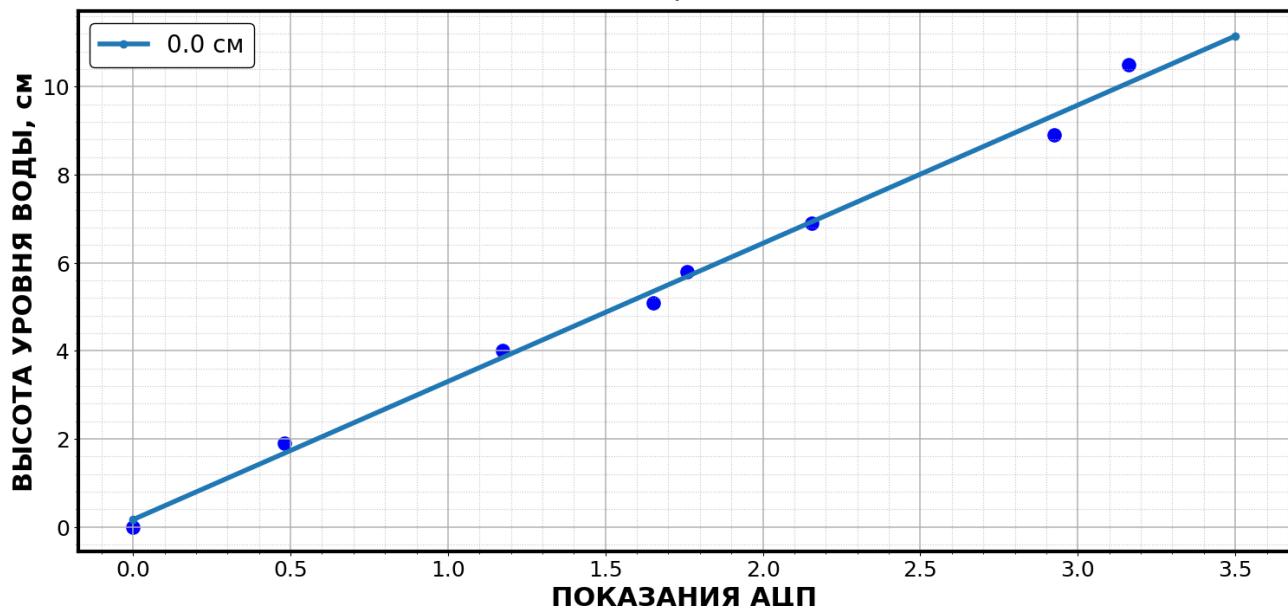


Рисунок 5 — Зависимость показаний АЦП от высоты уровня воды

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 Т — 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 Т. Тогда построив две прямые, как средние значения для двух участков графика определим время Т. Ниже представлены графики, с помощью которых определяется искомое время.

4.3 Графики зависимости высоты уровня воды от времени

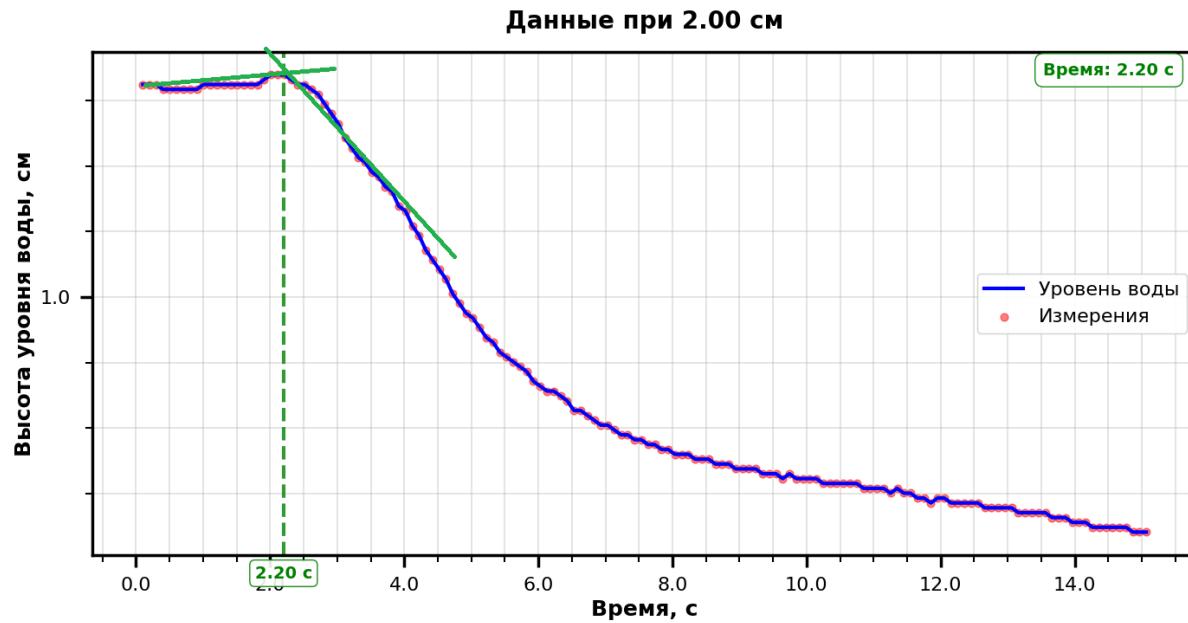


Рисунок 6 — График зависимости высоты уровня воды от времени, $h_0=2.3$ см

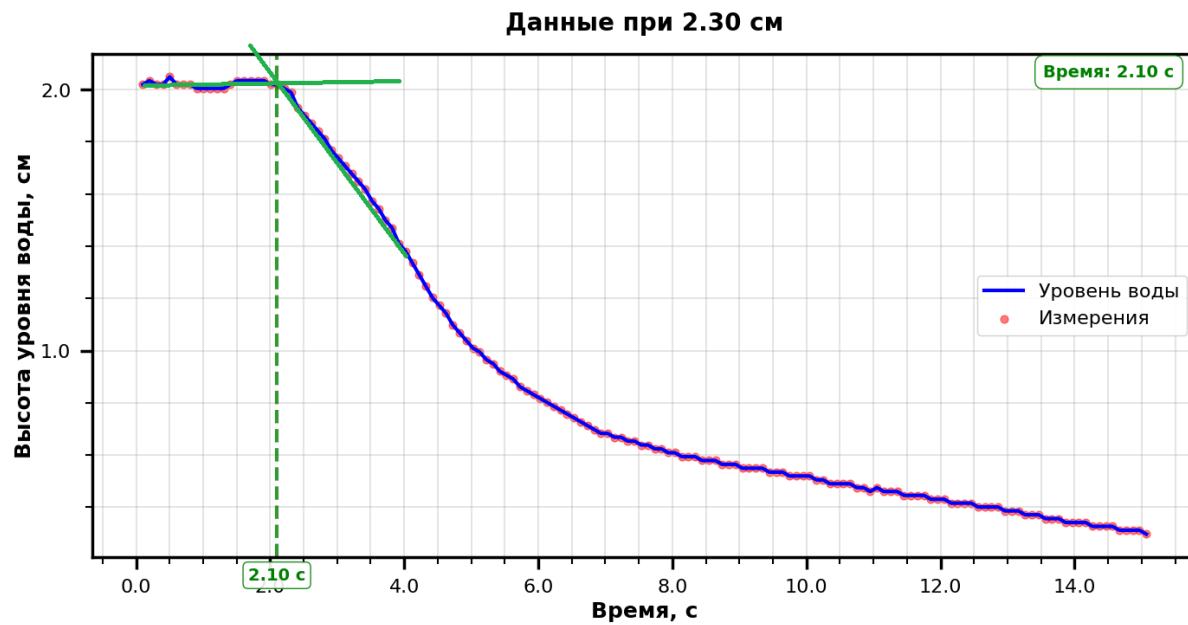


Рисунок 7 — График зависимости высоты уровня воды от времени, $h_0=2.3$ см

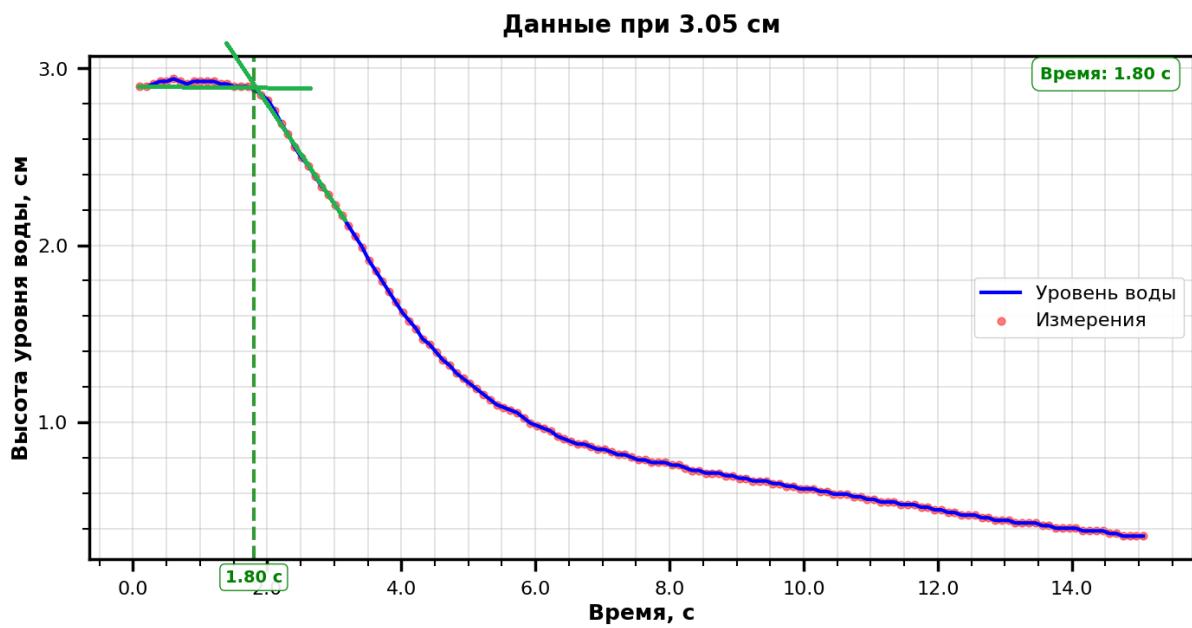


Рисунок 8 — График зависимости высоты уровня воды от времени, $h_0=3.05 \text{ см}$

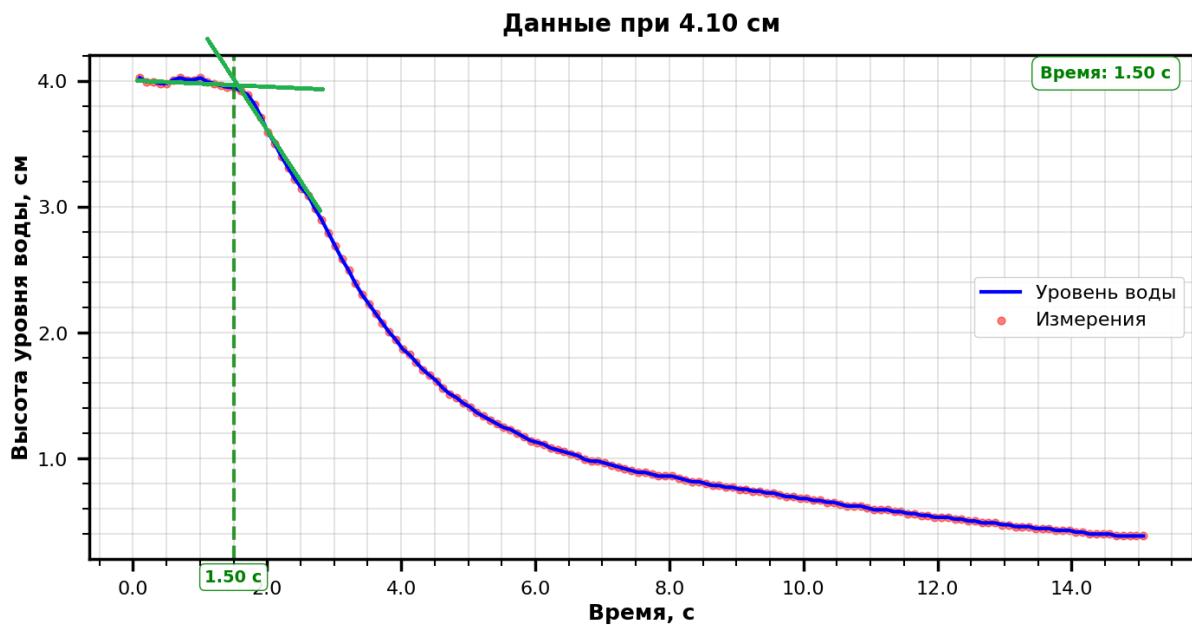


Рисунок 9 — График зависимости высоты уровня воды от времени, $h_0=4.10 \text{ см}$

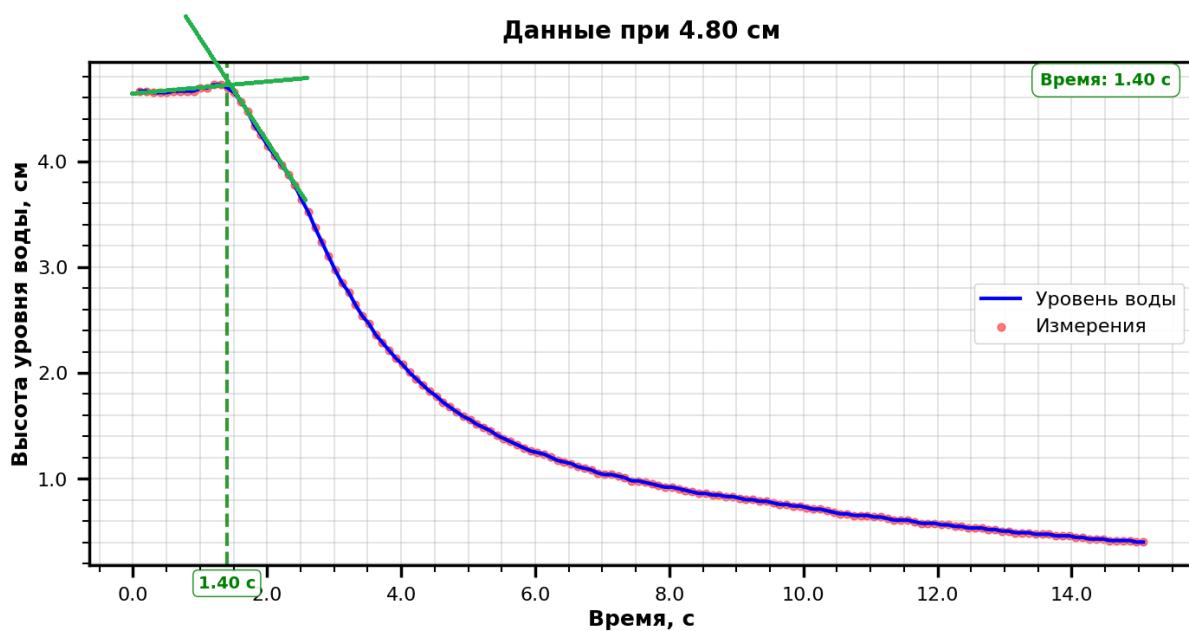


Рисунок 10 — График зависимости высоты уровня воды от времени, $h_0=4.80$ см

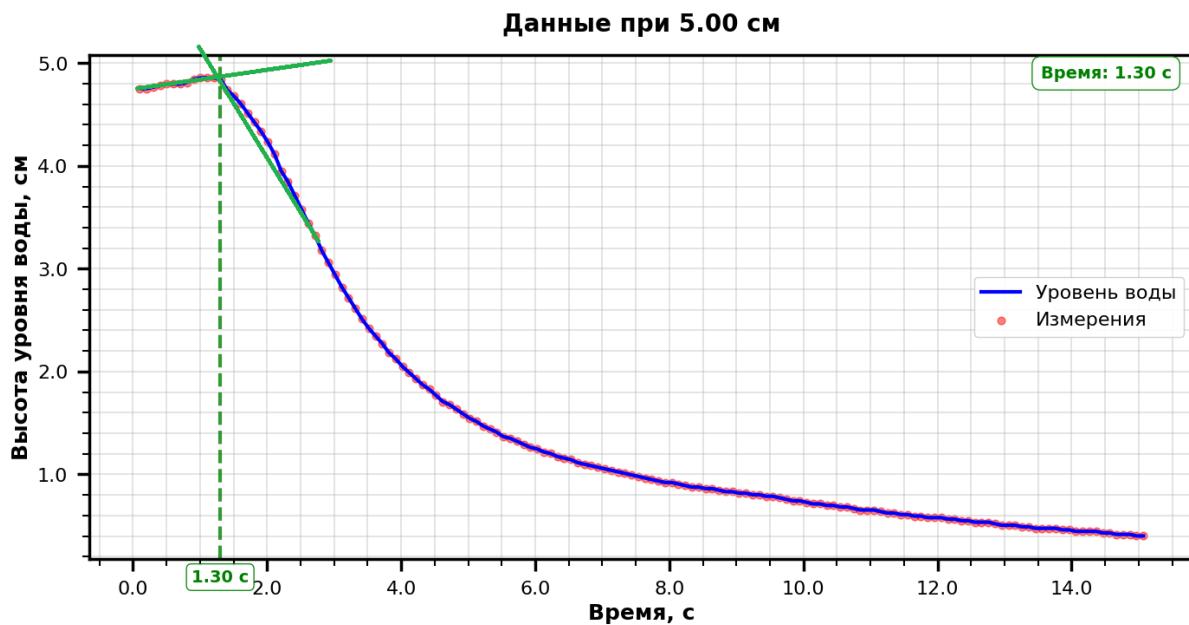


Рисунок 11 — График зависимости высоты уровня воды от времени, $h_0=5.00$ см

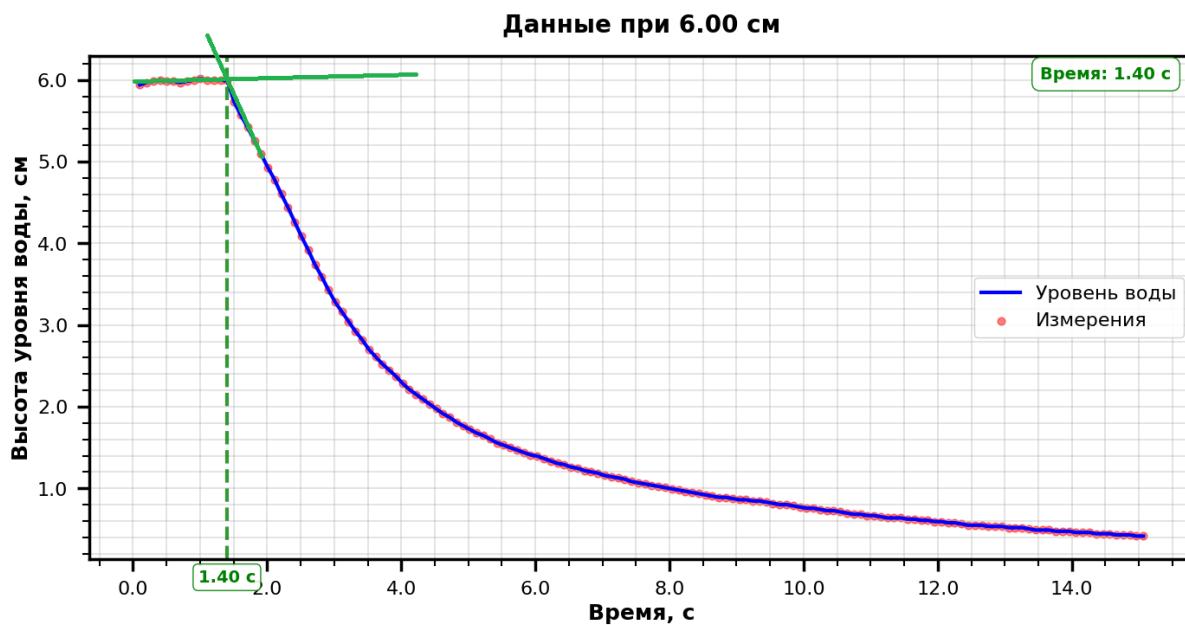


Рисунок 12 — График зависимости высоты уровня воды от времени, $h_0=6.00$ см

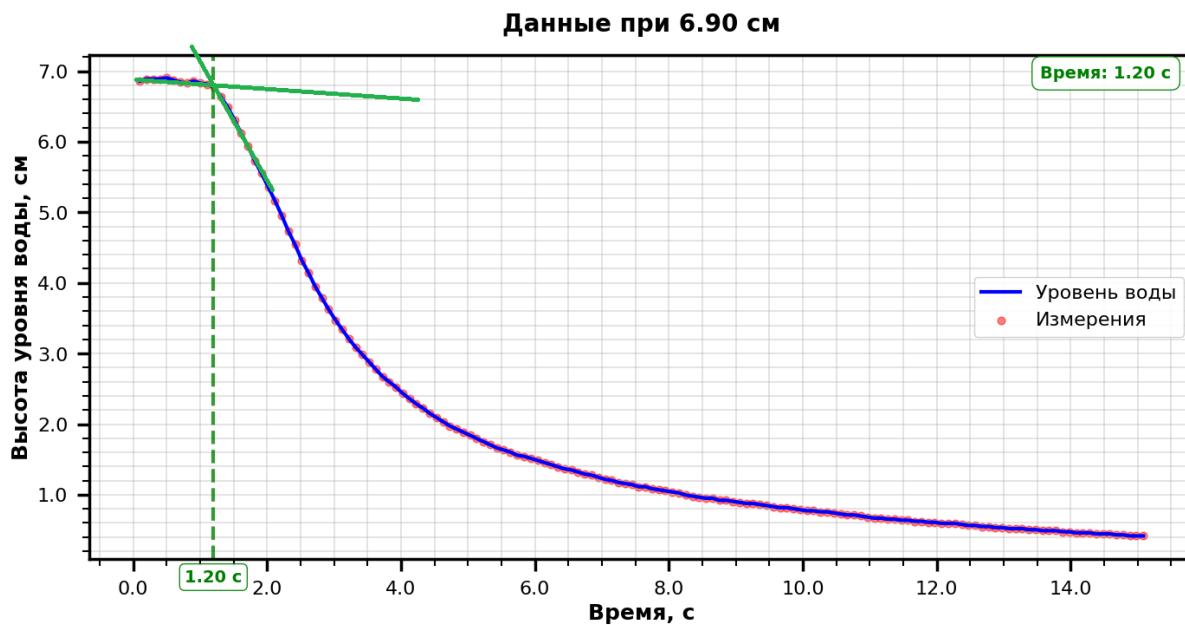


Рисунок 13 — График зависимости высоты уровня воды от времени, $h_0=6.90$ см

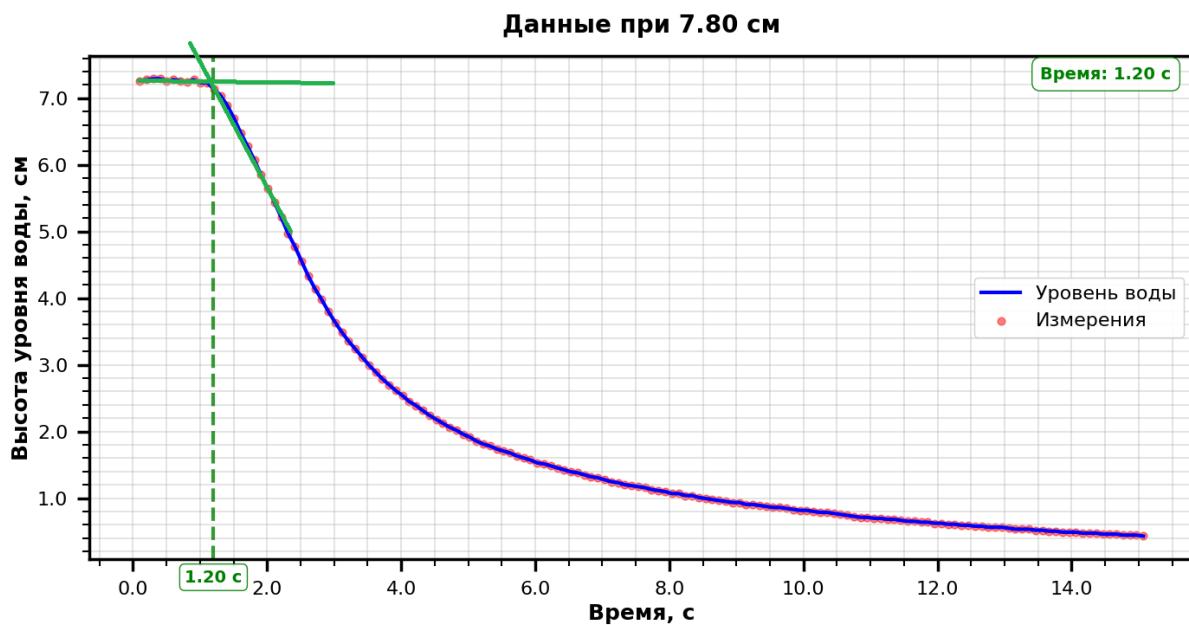


Рисунок 14 — График зависимости высоты уровня воды от времени, $h_0=7.80$ см

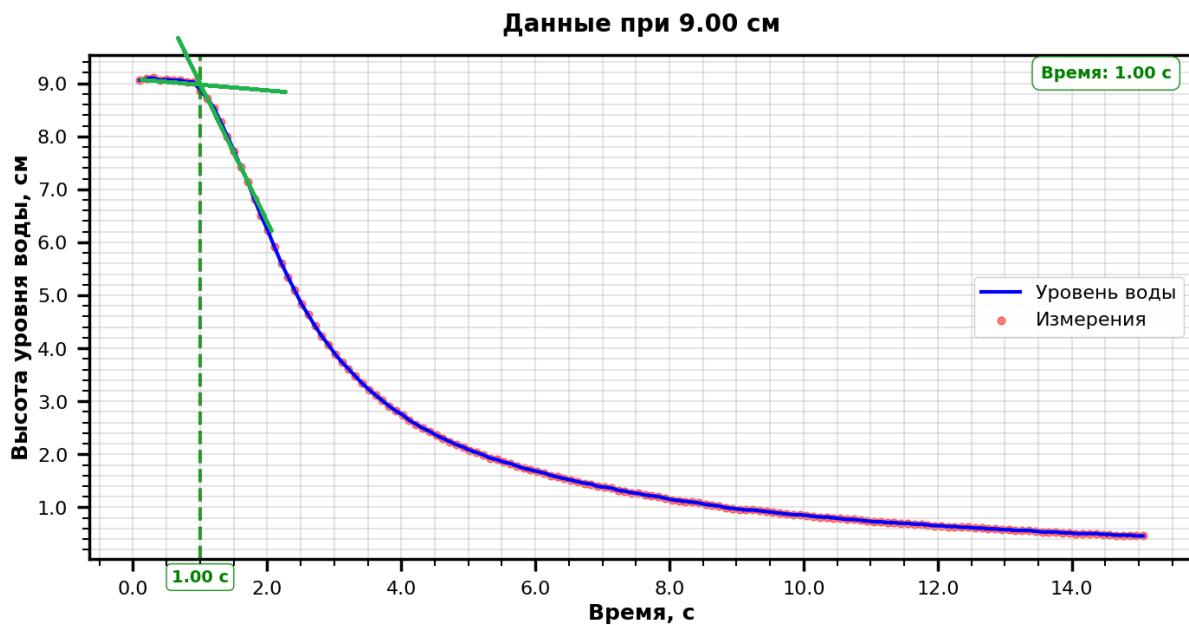


Рисунок 15 — График зависимости высоты уровня воды от времени, $h_0=9.00$ см

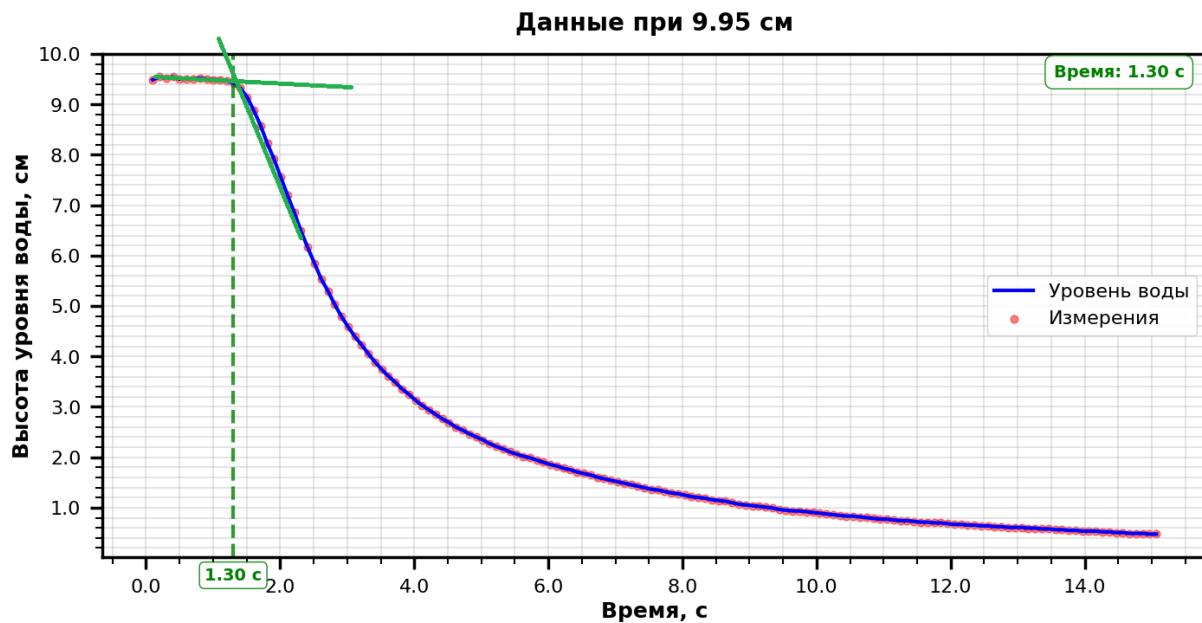


Рисунок 16 — График зависимости высоты уровня воды от времени, $h_0=9.95 \text{ см}$

Зависимость квадрата скорости волны от глубины воды (в системе СИ)

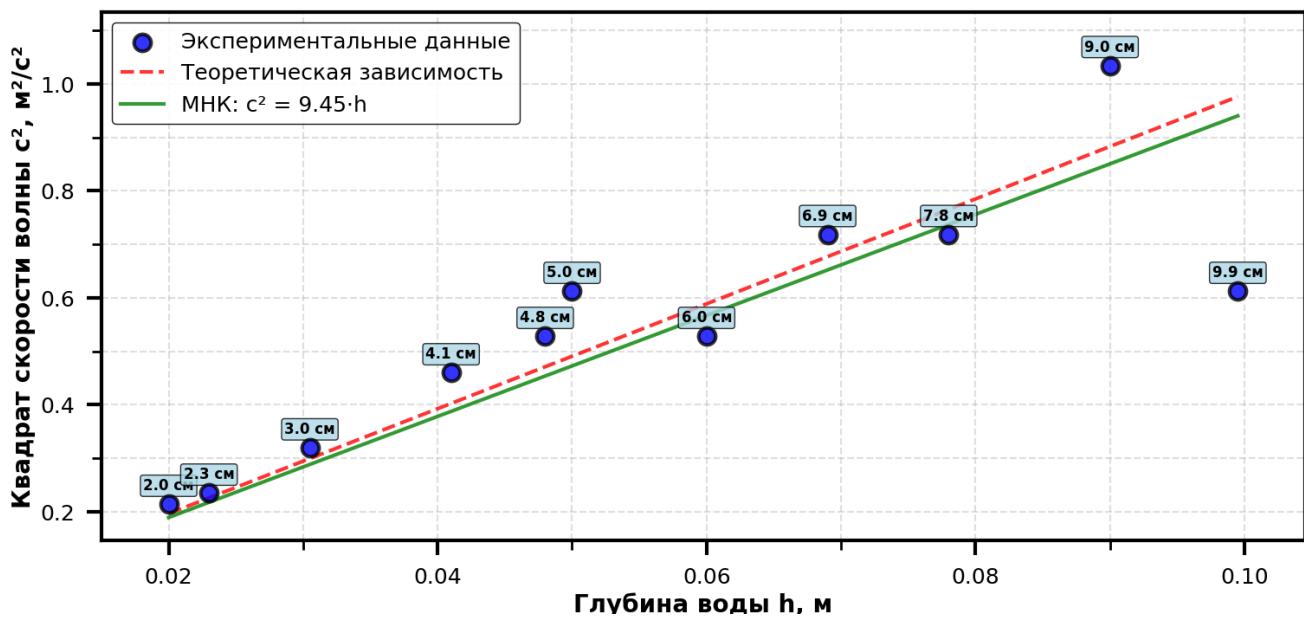


Рисунок 17 — График зависимости высоты уровня воды от квадрата скорости

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.