

## Измерение давления жидкости на погруженное в нее тело

### Цель работы

Целью работы являются:

- 1) измерение давления жидкости на погруженное в нее тело;
- 2) экспериментальная проверка того, что давление жидкости пропорционально глубине, на которую погружено тело.

### Метод экспериментального исследования явления

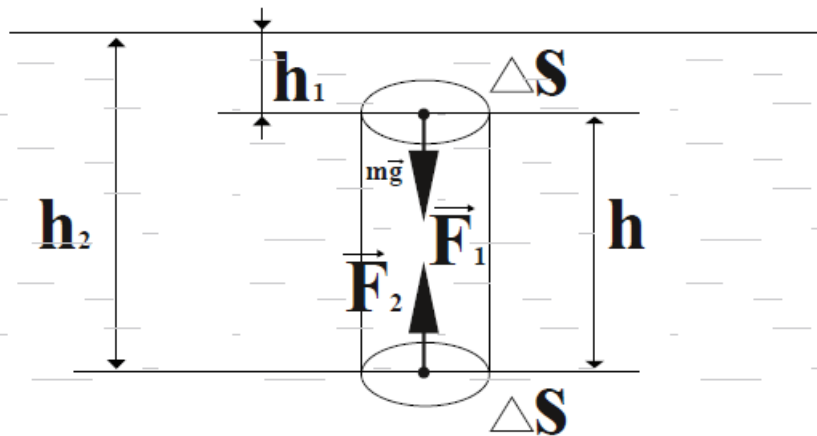
В работе с помощью датчика давления измеряется давление жидкости на погруженную в нее мембрану датчика. Проверка зависимости давления жидкости от глубины погружения тела проводится путем сравнения измеренных значений давления жидкости со значениями, полученными по формуле для расчета.

### Теория

Давление, оказываемое покоящейся жидкостью и обусловленное действием силы тяжести, называется *гидростатическим*. Гидростатическое давление  $p$  возрастает с увеличением глубины  $h$  по закону: где  $\rho$  - плотность жидкости;  $g$  — ускорение свободного падения.

Рассмотрим покоящуюся жидкость. Выделим (мысленно) внутри ее прямой цилиндр высотой  $h$  с основаниями, имеющими малую площадь  $\Delta S$  и параллельными свободной поверхности жидкости. Верхнее основание цилиндра находится на глубине  $h_1$  от поверхности жидкости, а нижнее — на глубине  $h_2 > h_1$ .

На выделенный объем жидкости действуют по вертикали три силы: силы давления  $F_1 = p_1\Delta S$  и  $F_2 = p_2\Delta S$  (где  $p_1$  и  $p_2$  — значения гидростатического давления на глубинах  $h_1$  и  $h_2$  соответственно) и сила тяжести  $F_T = \rho g\Delta V = \rho gh\Delta S$  (см. рис.).



Силы, действующие на цилиндр в жидкости

Выделенный цилиндр покоится внутри жидкости, поэтому сумма всех сил, действующих на него по вертикали, равна нулю:  $F_1 + F_2 + F_T = 0$ . Следовательно, равна нулю и алгебраическая сумма проекций этих сил на вертикальную ось:  $p_2\Delta S - p_1\Delta S - \rho gh\Delta S = 0$ . Отсюда

$$p_2 - p_1 = \rho gh.$$

Пусть теперь верхнее основание выделенного цилиндра совпадает с поверхностью жидкости, т. е.  $h_1 = 0$ . В этом случае  $h_2 = h$  и  $p_2 = p$ , где  $h$  — глубина погружения, а  $p$  — гидростатическое давление на данной глубине. Считая, что на поверхности жидкости давление

$$p_1 = 0, \text{ получаем формулу гидростатического давления } p = \rho gh.$$

Гидростатическое давление не зависит от формы сосуда, в который налита жидкость.

Впервые зависимость давления внутри жидкости от глубины установил французский ученый Блез Паскаль в 1648 г.

Стоит отметить, что полученная формула не учитывает давление воздуха на свободную поверхность жидкости. Поскольку согласно закону Паскаля давление передается жидкостями по всем направлениям одинаково, в общем случае для определения давления на глубине необходимо к значению гидростатического давления добавить величину атмосферного давления.

### Контрольные вопросы

1. Что называется гидростатическим давлением? Какова природа гидростатического давления?
2. В два разных по ширине сосуда налита до одного и того же уровня вода. Одинаково ли давление воды на дно сосудов?
3. Можно ли использовать формулу гидростатического давления для определения давления газа на находящееся в нем тело?

### Оборудование экспериментальной установки

- Датчик давления
- Выносная мембрана датчика с крепежом.
- Штатив высотой 70–100 см с крепежом.
- Линейка измерительная.
- Емкость диаметром не менее 5 см.



### Параметры экспериментальной установки

#### Длительность проведения эксперимента

Рекомендуется провести по одному опыту для пяти значений глубины погружения мембраны в жидкость. Весь цикл измерений может быть проведен за 3–5 мин.

На обсуждение содержания эксперимента и его результатов, ответы на вопросы во время выполнения измерений и после их окончания отводится 10–30 мин.

#### Точность измерений

При строгом следовании рекомендациям разделов «Монтаж и настройка», «Подготовка приборов» и «Методика выполнения эксперимента» данный эксперимент позволяет измерить давление жидкости на мембрану с точностью до 0,05 кПа.

#### Техника безопасности

Во время проведения эксперимента необходимо соблюдать все правила техники безопасности, указанные для персонального компьютера как электрического оборудования.

Используемое измерительное оборудование (Система сбора данных, датчик силы) экспериментальной установки рассчитано на питание от низковольтного напряжения, не представляющего опасности для человека.

Запрещается опускать мембрану датчика давления на глубину, соответствующую давлению жидкости свыше 400 кПа.

#### Обеспечение наглядности результатов эксперимента

Штатив следует устанавливать на демонстрационном столе в месте, позволяющем обеспечить хороший обзор проведения эксперимента для каждого ученика.

Для обеспечения удобства управления демонстрацией эксперимента компьютер необходимо располагать достаточно близко от установки (на расстоянии не более 1,5 м).

Экран компьютера рекомендуется продублировать с помощью проектора.



## Монтаж и настройка

Выносная мембрана с закрепленным на ней датчиком давления газа подвешивается к штативу вертикально мембраной вниз. Емкость наполняется жидкостью до уровня, достаточного для проведения опытов по погружению мембраны. Рядом с вертикальной штангой штатива закрепляется измерительная линейка, предназначенная для измерения глубины погружения мембраны.

## Подготовка приборов

Перед началом проведения эксперимента необходимо выполнить следующее:

Внимательно прочитайте инструкции, подготовьте необходимое оборудование, соберите установку в соответствии с разделом «Монтаж и настройка».

Запустите программу **SensorLab ПО**.

Подключите датчик давления к аналоговому входу системы сбора данных..

## Методика выполнения эксперимента

### Проведение измерений

Нажмите кнопку **Ноль** в разделе **Калибровка**. При этом программой записывается текущее значение атмосферного давления, которое будет вычитаться из всех последующих результатов измерений давления. Текущие показания датчика давления отображаются в поле **Давление**.

Погрузите выносную мембрану датчика давления в емкость с жидкостью. Измерьте глубину погружения мембраны (расстояние от уровня поверхности жидкости до центра мембраны) с помощью линейки.

Не вынимая мембраны из жидкости, нажмите кнопку **Пуск**. Текущее показание датчика давления газа будет отображено на графике зависимости давления от глубины погружения тела в жидкость.

Повторите измерения для пяти значений глубины погружения мембраны в жидкость. Следите за тем, чтобы вся поверхность мембраны была погружена в жидкость.

### Анализ результатов

После проведения измерений на графике будут отображены измеренная и теоретическая зависимости давления жидкости от глубины погружения мембраны. Никаких дополнительных действий для вывода результатов анализа не требуется. Обратите внимание учащихся на совпадение зависимости, полученной в результате эксперимента, с теоретической зависимостью, а также на совпадение абсолютных значений давления жидкости.

## Справка

### Принцип работы датчика давления.

В данной работе используется датчик абсолютного давления.

Основным механизмом датчика давления газа является тензочувствительный элемент.

В качестве тензочувствительного элемента используется пьезорезистор, который изменяет свое сопротивление при деформации. Четыре одинаковых пьезорезистора, соединенные по мостовой схеме, имплантируются в канавки, вытравленные на поверхности кремниевой толщиной несколько десятков микрометров мембраны. С одной стороны на мембрану поступает воздух, давление которого необходимо измерить, с другой стороны мембраны находится полость с вакуумом. Внешнее давление вызывает деформацию мембраны с расположенными на ней пьезорезисторами и приводит к разбалансу моста, что, в свою очередь, приводит к появлению на выходе датчика сигнала, значение которого прямо пропорционально приложенному давлению.

В конструкцию датчика входит усилитель сигнала и электронная схема компенсации изменения сопротивлений пьезорезисторов в случае изменения температуры датчика.

На выходе датчика формируется сигнал, линейно зависящий от величины давления, которое измеряется с точностью до  $\pm 5 \cdot 10^{-3}$  атм.

### Единицы измерения давления

$$1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$$

$$1 \text{ мм рт. ст.} = 133,322 \text{ Па}$$

$$1 \text{ мм вод. ст.} = 9,80665 \text{ Па}$$

$$1 \text{ кг/см}^2 = 9,80665 \cdot 10^4 \text{ Па}$$

$$1 \text{ атм} = 1,01325 \cdot 10^5 \text{ Па} \text{ (760 мм рт. ст. при } 0^\circ\text{C)}$$

$$1 \text{ бар} = 10^5 \text{ Па}$$