



# **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

**к лабораторной работе № 1**

**на тему «Определение гидростатического  
давления»**

**по курсу «Механика жидкости и газа»**

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Краткая теоретическая часть.
  2. Цель работы.
  3. Порядок выполнения виртуальной лабораторной работы.
  4. Пример выполнения работы.
  5. Результаты работы.
    - 5.1. Экспериментальная часть.
    - 5.2. Расчетная часть.
- Титульный лист.
- Библиографический список.

# 1.КРАТКАЯ ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

## Определение гидростатического давления

Все жидкости на Земле находятся под давлением поверхностных и массовых сил.

К поверхностным относятся силы, действующую на поверхность, отделяющую рассматриваемый объём жидкости от газовой или твёрдой фазы. Например, сила давления атмосферного воздуха или поршня на поверхность жидкости.

К массовым относятся силы, направления и величина которых обусловлена массой самой жидкости. Например, сила тяжести, силы инерции, центробежная, центростремительная и т.п.

Наиболее простым и часто встречающимся в природе и технике случаем равновесия (покоя) жидкости является равновесие под действием одной поверхностной силы (силы давления на свободную поверхность жидкости) и одной массовой силы (силы тяжести).

В результате действия этих сил внутри жидкости возникает давление, которое в любой точке определяется по формуле:

$$p_{\text{абс}} = \lim_{S \rightarrow 0} \frac{F+G}{S}, \quad (1.1)$$

где:  $p_{\text{абс}}$  - абсолютное единичное гидростатическое давление в точке жидкости, Н/м<sup>2</sup>;

$F$  - сила давления на свободную поверхность жидкости над рассматриваемой точкой, Н;

$G$  - сила гидростатического давления, численно равная весу жидкости над рассматриваемой точкой, Н;

$S$  - площадь поверхности, на которую действуют силы  $F$  и  $G$ , м<sup>2</sup>.

Давление  $P$  в какой-либо точке жидкости, возникающее под действием только силы тяжести, называют единичным гидростатическим давлением:

$$p = \lim_{S \rightarrow 0} \frac{G}{S}.$$

Единичное гидростатическое давление обладает двумя основными свойствами: давление в точке по всем направлениям действует с одинаковой силой и эта сила направлена всегда по внутренней нормали (перпендикуляру) к площадке. Иными словами, единичное гидростатическое давление - это сжимающее напряжение, возникающее в жидкости под действием сил тяжести.

Единичное гидростатическое давление зависит от глубины погружения точки и веса жидкости над данной точкой:

$$p = \rho g h, \quad (1.3)$$

где:  $\rho = \frac{m}{V}$  - плотность жидкости (отношение массы жидкости к её объёму), кг/м<sup>3</sup>;

$g$  - ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

$h$  - расстояние от точки в объёме жидкости до свободной поверхности, м.

Под свободной поверхностью понимается поверхность раздела фаз (например жидкость - газ или жидкость - твёрдое тело).

Если на свободную поверхность жидкости действует атмосферное давление  $P_0$ , то общее или абсолютное давление в точке жидкости:

$$p_{\text{абс}} = p_0 + \rho g h = p_0 + p_{\text{изб}}. \quad (1.4)$$

В этом случае единичное гидростатическое давление называют избыточным давлением и обозначают  $P_{\text{изб}}$ .

Если на свободную поверхность жидкости действует давление  $p_m$  - больше, чем атмосферное ( $p_m > p_a$ ), то абсолютное давление в точке жидкости:

$$p_{\text{абс}} = p_o + p_m + \rho gh = p_o + p'_{\text{изб}}. \quad (1.5)$$

В таком случае под избыточным давлением понимают сумму давлений манометрического  $p_m$  и гидростатического, равного:  $\rho gh$ .

Выражения (1.3) и (1.4) называются основными уравнениями гидростатики и позволяют рассчитать абсолютное или избыточное давление в любой точке объёма жидкости, находящейся под действием одной массовой силы (силы тяжести) и одной поверхностной силы (силы давления на свободную поверхность).

Гидростатическое давление в СИ измеряется в паскалях:  $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н/м}^2$ .

Избыточное давление измеряется манометром. Наиболее распространены стрелочные манометры мембранного и сильфонного типов.

Другим, не менее распространённым прибором для измерения избыточного давления, является жидкостной манометр (пьезометр), представляющий собой стеклянную вертикальную трубку, одним концом присоединённую к ёмкости с жидкостью. Другой конец соединён с атмосферой. Пьезометр даёт показание избыточного давления, выраженного в метрах столба жидкости, заполняющей пьезометр. Из уравнения (1.3) высота жидкости в пьезометре:

$$h = \frac{p_{\text{изб}}}{\rho g}.$$

Для измерения давления, равного одной атмосфере ( $9,81 \cdot 10^4 \text{ Па}$ ), требуется пьезометр с высотой трубки, заполненной водой:

$$h = \frac{p_{\text{изб}}}{\rho g} = \frac{9,81 \cdot 10^4}{1000 \cdot 9,81} = 10 \text{ м}.$$

Плотность воды  $\rho_v = 1000 \text{ кг/м}^3$  при температуре  $t = 20^\circ \text{C}$ .

При измерении аналогичного давления ртутным пьезометром ( плотность ртути  $\rho_p = 13600 \text{ кг/м}^3$ ):

$$h = \frac{9,81 \cdot 10^4}{13600 \cdot 9,81} = 0,735 \text{ м} = 735 \text{ мм.}$$

Таким образом, давление в 1 атмосфере можно выразить в наиболее распространённых для гидравлических приборов единицах следующим образом:  $1 \text{ атм. (кгс/см}^2) = 1 \cdot 10^4 \text{ кгс/м}^2 = 9,81 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2 \text{ (Па)} = 10 \text{ м в.ст.} = 735 \text{ мм рт.ст.}$

Для определения разности давлений в двух произвольно взятых точках применяют жидкостной дифференциальный (разностный) манометр, который представляет собой U-образную вертикальную трубку, заполненную жидкостью (чаще всего водой или ртутью). Жидкостной дифманометр дает показания разности (перепада) давлений, выраженной в метрах столба налитой в него жидкости.

В пространстве, заполненном покоящейся жидкостью, всегда можно найти поверхность, на протяжении которой гидростатическое давление не меняется. Такие поверхности называют поверхностями равного давления или поверхностями уровня. Поверхности уровня не пересекаются между собой и расположены нормально направлению массовых сил. Так, в жидкости, находящейся в покое под действием силы тяжести, поверхность уровня - горизонтальная плоскость.

## 2. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Определить цену деления стрелочного манометра в атмосферах,  $\text{H}/\text{m}^2$ , Па, мм рт. ст. учитывая, что манометр имеет сто элементарных делений.
2. Определить плотность второй жидкости, считая, что в левом дифференциальном пьезометре - вода.

### 3. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ВИРТУАЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ № 1

Схема установки представлена на рис. 1.

С помощью насоса 1 в ограниченном объёме 2 создаётся соответствующее давление, которое фиксируется манометром 3, а также двумя дифференциальными пьезометрами 4, заполненными: левый - водой, правый жидкостью неизвестной плотности.

По манометру 3 устанавливают давление, далее снимают показания дифференциальных пьезометров и, подставляя эти значения в уравнение (1.3), рассчитывают цену деления манометра 3 и плотность жидкости в правом пьезометре.

Измеренное давление необходимо выразить в пяти различных единицах и внести в табл. 1.

Таблица 1

p	атм. (кгс/см <sup>2</sup> )	(кгс/м <sup>2</sup> )	м вод.ст.	мм рт.ст.	Па (Н/м <sup>2</sup> )

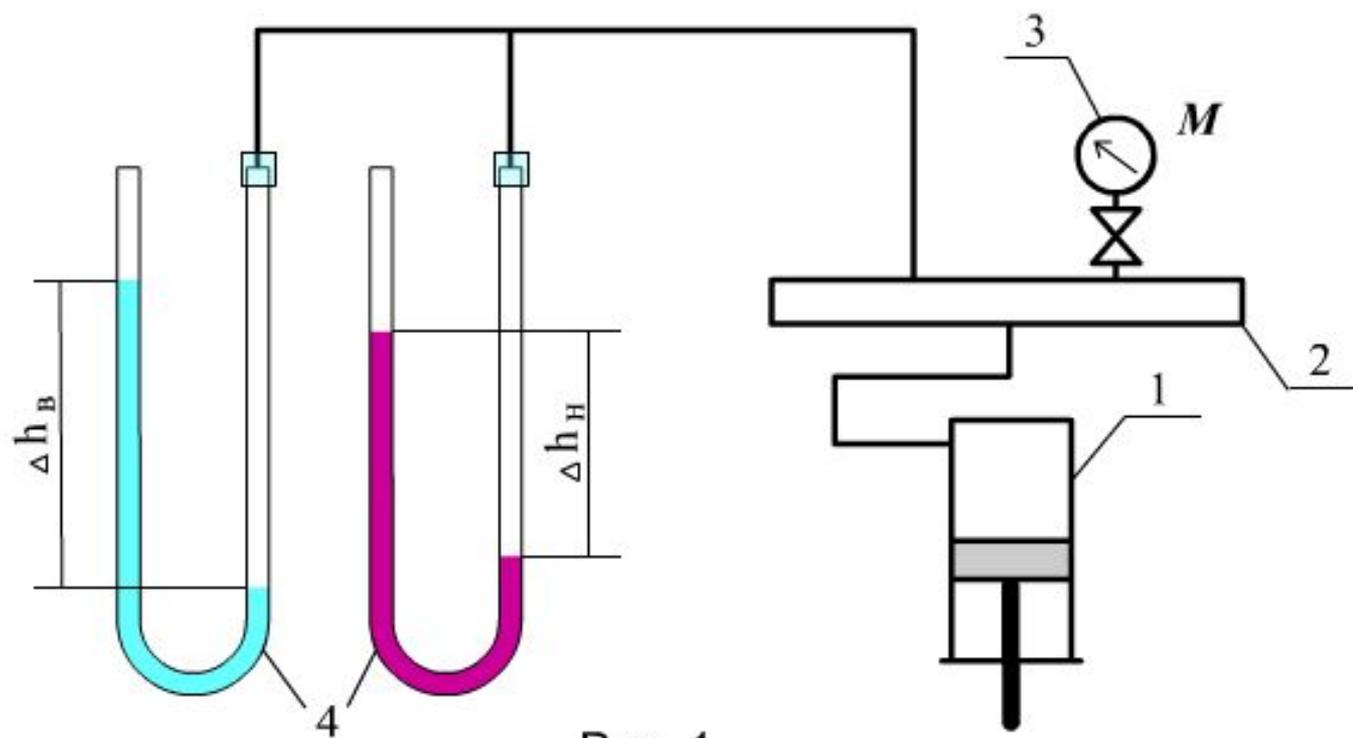


Рис. 1.



Для начала работы воздушного насоса достаточно нажать кнопку "Пуск" или клавишу "p", остановить его можно в любой момент кнопкой "Стоп" или клавишей "s". Замеры высот столбиков жидкостей в дифференциальных пьезометрах проводятся при помощи горизонтальной линии плоскости АВ и измерительной линейки. И плоскость, и линейка перемещаются по экрану с помощью левой кнопки мыши, кроме того, линейка может перемещаться клавишами со стрелками, расположенными на кейборде.

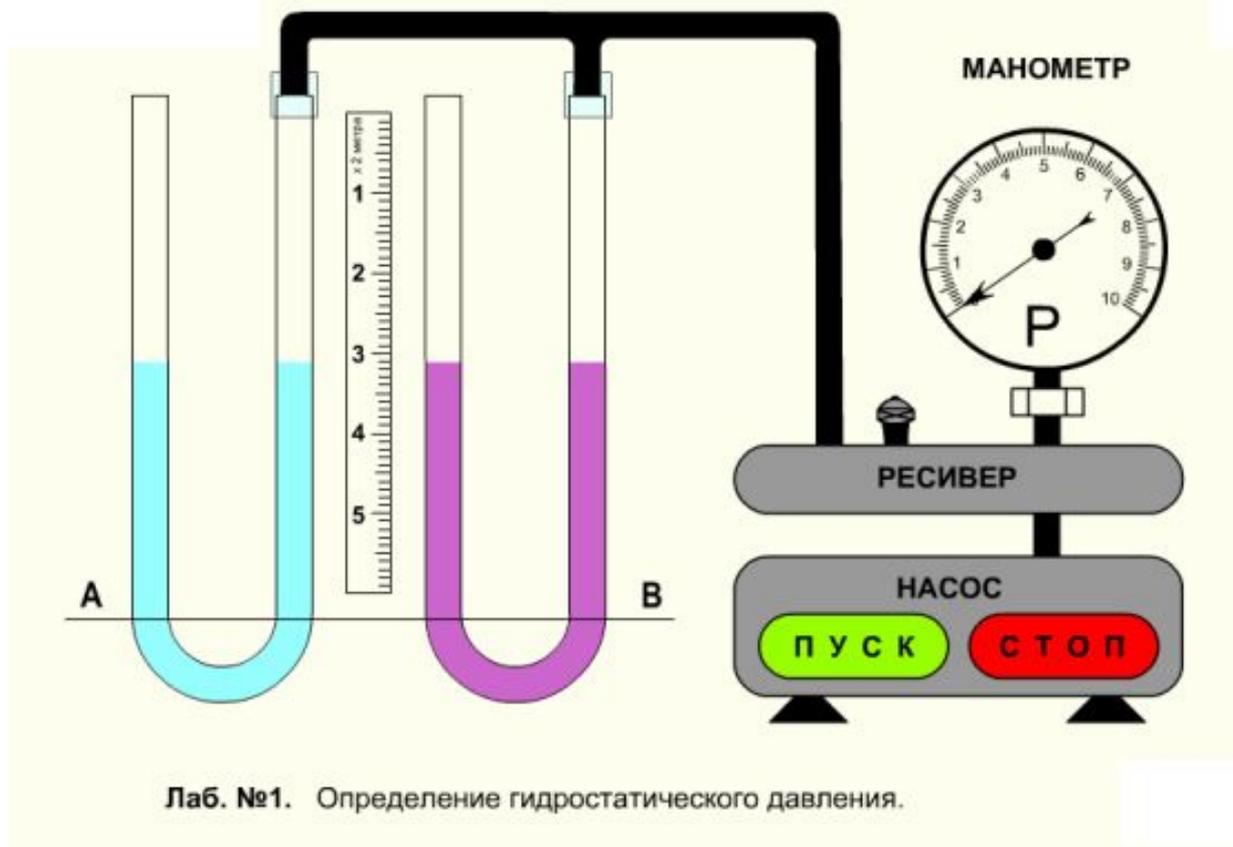
Обратите внимание на размерность делений измерительной линейки -  $x 2$  метра, это означает, что общая длина её составляет  $6 x 2 = 12$  метров.

В процессе работы, для повышения точности отсчёта показаний линейки и стрелки манометра Вы свободно можете увеличивать масштаб экрана и перемещать его содержимое при помощи левой кнопки мыши, для этого на любом месте экрана правой кнопкой мыши вызовите соответствующее меню и выберите пункт "Zoom in". Вернуться в обычный режим можно снова вызвав то же меню и выбрав пункт "Show All".

Для повышения точности расчетов опыт следует повторить не менее трёх раз и вывести среднее значение цены деления и плотности. Приводить работу в исходное состояние нужно при помощи кнопки "сброс".

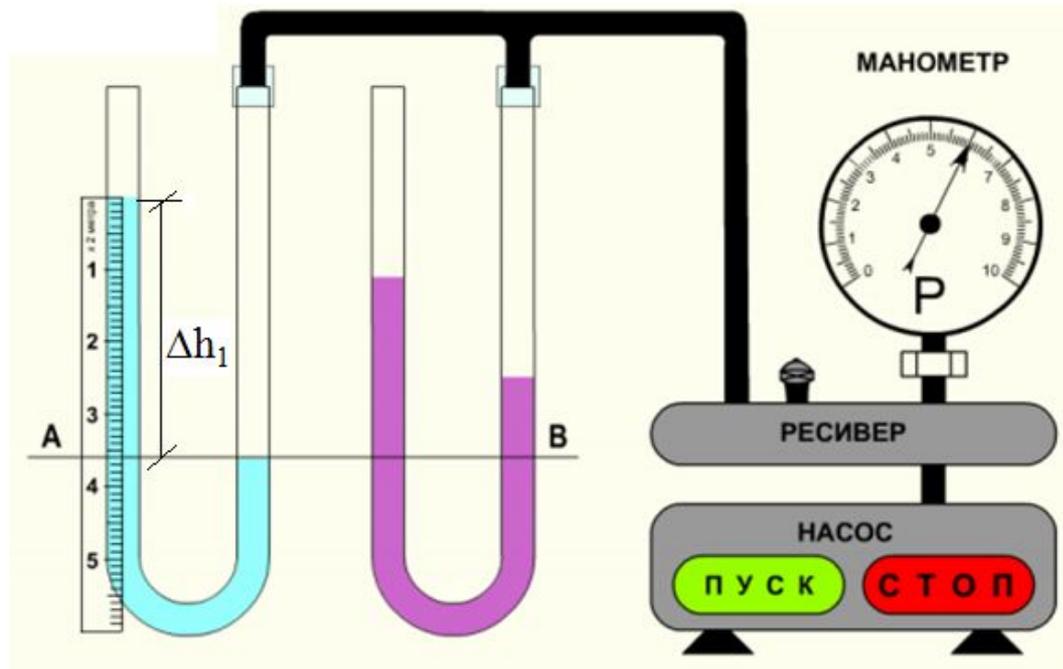
## 4. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Исходное состояние виртуальной лабораторной работы



Лаб. №1. Определение гидростатического давления.

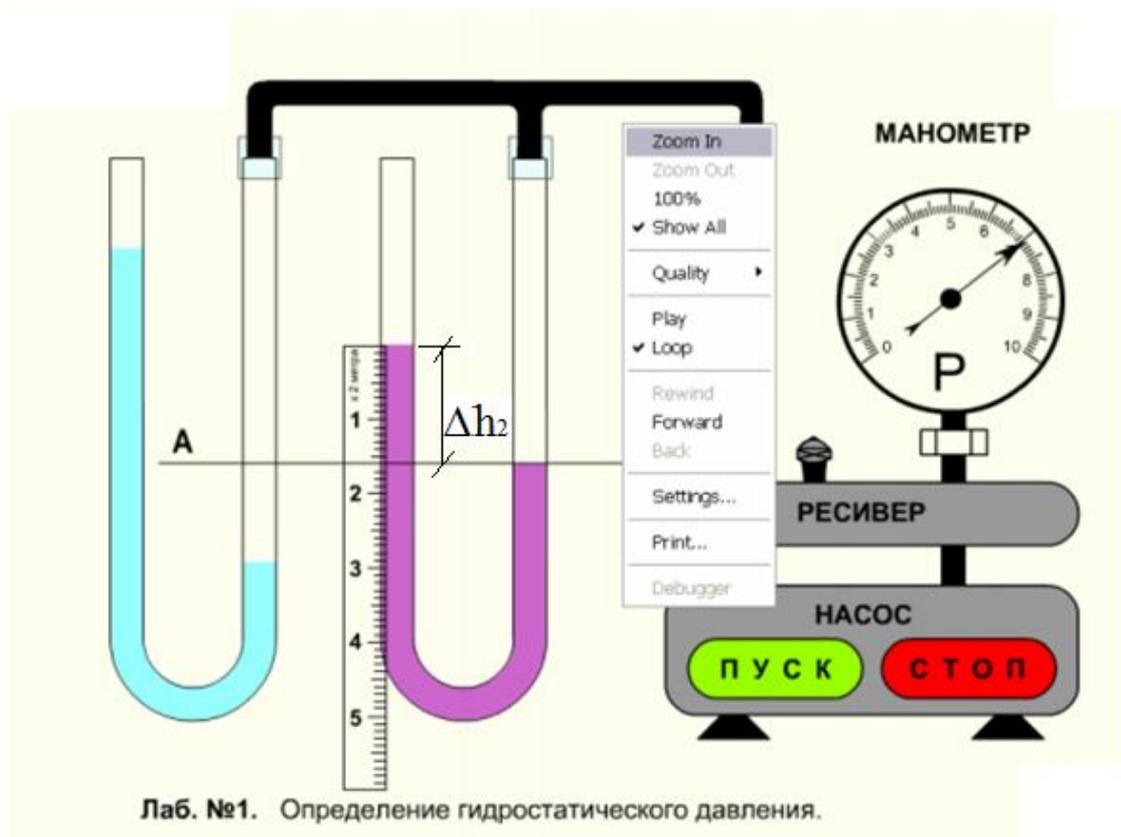
## Состояние измерения опытных данных



Лаб. №1. Определение гидростатического давления.

Результат измерения  $\Delta h_1 = 3,6 \cdot 2 \text{ м} = 7,2 \text{ м.вод ст.}$

## Состояние измерения опытных данных



Результат измерения  $\Delta h_2 = 1,6 \cdot 2 \text{ м} = 3,2 \text{ м.вод ст.}$

## 5. РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Ниже приведены результаты выполнения работы в 8 вариантах. Необходимо выбрать свой вариант. Выполнить расчеты и отправить отчет по лабораторной работе в «Гиперметод».

Отчет включает в себя:

- Титульный лист.
- Цель работы.
- Краткую теоретическую часть.
- Результаты работы.
- Расчетная часть.
- Выводы

Пример оформления титульного листа представлен в конце презентации

## 5.2. Расчетная часть

Жидкостной дифференциальный манометр, который представляет собой U-образную вертикальную трубу, заполненную жидкостью, определяет разность давлений (перепад давлений или избыточное давление), выраженного в метрах столба жидкости, его заполняющей.

Порядок расчетов:

1. Рассчитать  $P_{\text{изб}}$  по величине  $\Delta h_1$ .

$$P_{\text{изб}} = \Delta h_1 \cdot \rho_1 \cdot g,$$

где  $\Delta h_1$  - подставляться в м.вод.ст.;  $\rho_1$  - плотность воды, при стандартных условиях = 1000 кг/м<sup>3</sup>.

Правильность полученного значения  $P_{\text{изб}}$  можно проверить перерасчетом величины  $\Delta h_1$  из м.вод.ст в Па

$$P_{\text{изб}} = \Delta h_1 \cdot 98100/10.$$

Измеренное избыточное давление необходимо выразить в пяти разных единицах и внести в таблицу 1

$$1 \text{ атм.} = 10000 \text{ кгс/м}^2 = 10 \text{ м вод.ст.} = 98100 \text{ Па} = 735 \text{ мм.рт.ст.}$$

2. Определить цену деления стрелочного манометра в атмосферах; кгс/м<sup>2</sup>; м вод.ст.; мм.рт.ст.; Па и результаты расчетов внести в таблицу 1

3. По полученному значению  $P_{\text{изб}}$  и замеренному значению  $\Delta h_2$  в правой трубке рассчитать плотность второй жидкости

$$P_{\text{изб}} = \Delta h_1 \cdot \rho_1 \cdot g = \Delta h_2 \cdot \rho_2 \cdot g, \text{ следовательно } \Delta h_1 \cdot \rho_1 = \Delta h_2 \cdot \rho_2 \text{ и}$$

$$\rho_2 = \rho_1 \cdot \Delta h_1 / \Delta h_2.$$

Таблица 1 – Результаты расчетов

Величина	Единица измерения				
	атм	кгс/м <sup>2</sup>	м вод. ст.	мм.рт.ст	Па
$P_{\text{изб}}$					
Цена деления стрелочного манометра					

УрФУ им. первого Президента России Б.Н.Ельцина  
Институт новых материалов и технологий  
Кафедра металлургии железа и сплавов

## **ОТЧЕТ**

по лабораторной работе № 1  
на тему «Определение гидростатического давления»  
По курсу «Механика жидкости и газа»

Преподаватель

Лозовая Е.Ю.

Студент

Иванова А.П.

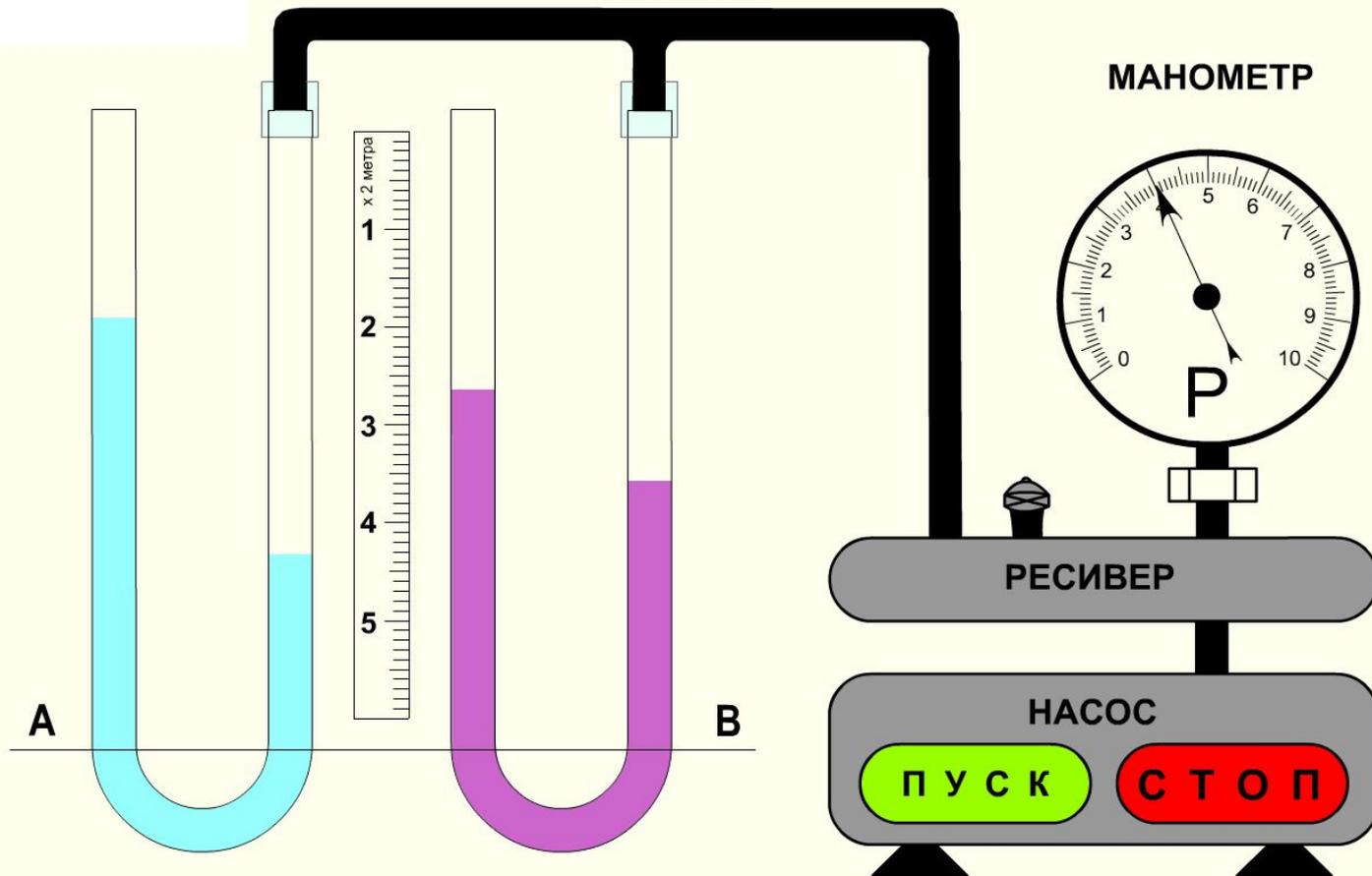
Группа НМТВ – 263201-ВС

2017

## 2. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Определить цену деления стрелочного манометра в атмосферах,  $\text{H}/\text{m}^2$ , Па, мм рт. ст. учитывая, что манометр имеет сто элементарных делений.
2. Определить плотность второй жидкости, считая, что в левом дифференциальном пьезометре - вода.

# ВАРИАНТ №5



Лаб. №1. Определение гидростатического давления.

Результат измерения  $\Delta h_2 = 0,9 \cdot 2 \text{ м} = 1,8 \text{ м.вод ст.}$

Результаты измерения  $\Delta h_1 = 2,4 \cdot 2 \text{ м} = 4,8 \text{ м.вод ст.}$

$$\Delta h_1 = 47088 \text{ Па}$$

$$\Delta h_1 = 0,48 \text{ атм.}$$

$$\Delta h_1 = 4800 \text{ кгс/м}^2$$

$$\Delta h_1 = 352,8 \text{ мм. Рт.ст.}$$

Определить цену деления стрелочного манометра в атмосферах;  
кгс/м<sup>2</sup> ; м вод.ст.; мм.рт.ст; Па и результаты расчетов внести в  
таблицу 1

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

**Алексеев Г.В., Бриденко И.И.** ВИРТУАЛЬНЫЙ ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО КУРСУ «МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ И ГАЗА»: Учеб. Пособие с CD. – СПб.: ЗАО ГИОРД, 2007. –152 с.