

Лабораторная работа №1

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРОСТАТИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ В ПОКОЯЩЕЙСЯ ЖИДКОСТИ

### 1 Цель работы:

Закрепить экспериментом и расчетом теоретические знания по разделу «Гидростатика»; определить опытным путем гидростатическое давление в соответствующих точках покоящейся жидкости в резервуаре; построить эпюру давления в жидкости, находящейся в резервуаре под действием внешней силы и веса столба жидкости.

### 2 Содержание работы:

- изучить свойства гидростатического давления;
- установить взаимосвязь между давлением и высотой столба жидкости;
- ознакомиться с методикой экспериментального определения гидростатического давления.

### 3 Порядок выполнения работы:

- изучить содержание методического указания и теоретический материал, связанные с данной работой;
- ответить на контрольные вопросы;
- провести эксперименты;
- обработать результаты исследований и представить в табличном виде;
- оформить и защитить отчет.

### 4 Оборудование для работы:

Лабораторный испытательный стенд и методические указания.

### 5 Теоретическая часть

Гидростатическое давление – это нормальное сжимающее напряжение, возникающее в покоящейся жидкости под действием поверхностных и массовых сил,

$$P = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta S}, \quad (1.1)$$

где  $\Delta F$  - элементарная равнодействующая поверхностных сил (гидростатическая сила), Н;

$\Delta S$  - элементарная площадь, на которую воздействует сила, м<sup>2</sup>.

Из формулы (1.1) видно, что гидростатическое давление  $P$  есть предел отношения элементарной гидростатической силы  $\Delta F$  к элементарной площади действия  $\Delta S$ , когда последняя стремиться к нулю.

За единицу гидростатического давления принято равномерно распределённое давление, создаваемое силой в 1 Н, на площади в 1 м<sup>2</sup>, т.е.  $\frac{H}{м^2} = 1 \text{ Па} = 0.1 \text{ бар}$ .

Различают несколько понятий гидростатического давления: абсолютное, избыточное, вакуумметрическое. Соотношение этих давлений представлено на рисунке 1.1.

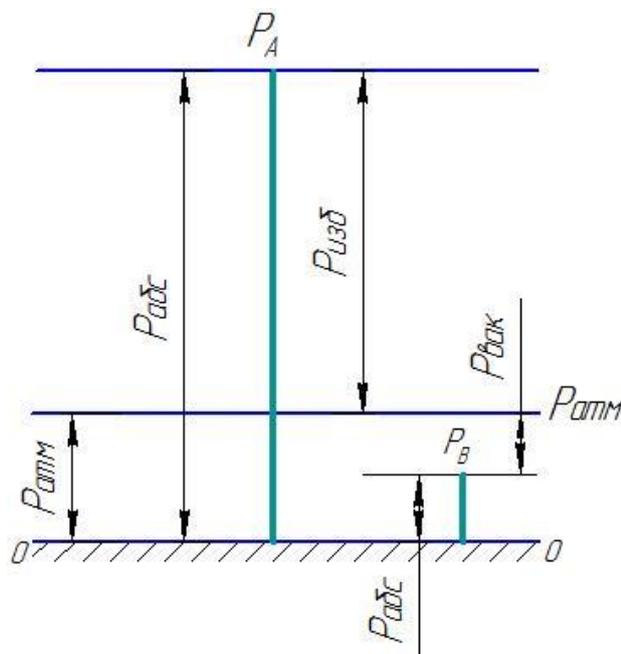


Рисунок 1.1 – Схема соотношения понятий гидростатического давления

Абсолютным называется давление, отсчитываемое от абсолютного нуля, т.е. при условии полной неподвижности молекул, или полной пустоты в рассматриваемом объеме. Так, жидкость на Земле находится под действием атмосферного давления, которое представляет собой абсолютное давление величиной 0.1033 МПа.

Избыточным (манометрическим) давлением  $P_{изб}$  называется избыток давления над атмосферным. Оно определяется как разность между абсолютным и атмосферным давлениями:

$$P_{изб} = P_{абс} - P_{атм}. \quad (1.2)$$

Вакуумом (разрежением) называется недостаток давления до атмосферного. Давление вакуума определяется как разность между атмосферным давлением и абсолютным:

$$P_{вак} = P_{атм} - P_{абс}. \quad (1.3)$$

Приборы, применяемые для измерения этих давлений называют соответственно манометрами и вакуумметрами. По принципу действия манометры и вакуумметры делятся на две группы: жидкостные и механические.

Жидкостный манометр (пьезометр) представляет собой стеклянную трубку, верхний конец которой открыт в атмосферу, а нижний присоединён к точке, где измеряется манометрическое давление (рисунок 1.2).

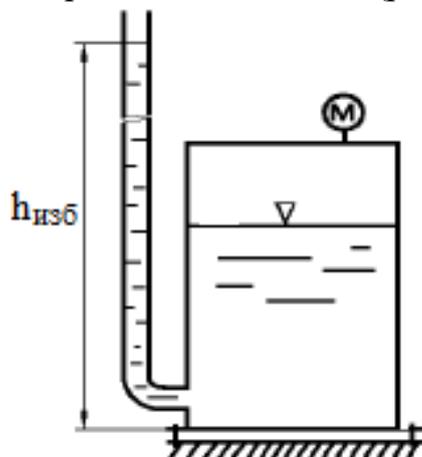


Рисунок 1.2 – Резервуар с пьезометром

Манометрическое давление, выраженное через показания пьезометра, равно:

$$P_{изб} = \rho g h_{изб}, \quad (1.4)$$

где  $\rho g = \gamma$  - объемный вес жидкости,  $\gamma$  - удельный вес жидкости, Н/м<sup>3</sup>;

$h_{изб}$  - пьезометрическая высота, т.е. высота, отсчитываемая от точки подключения пьезометра до уровня жидкости в нём.

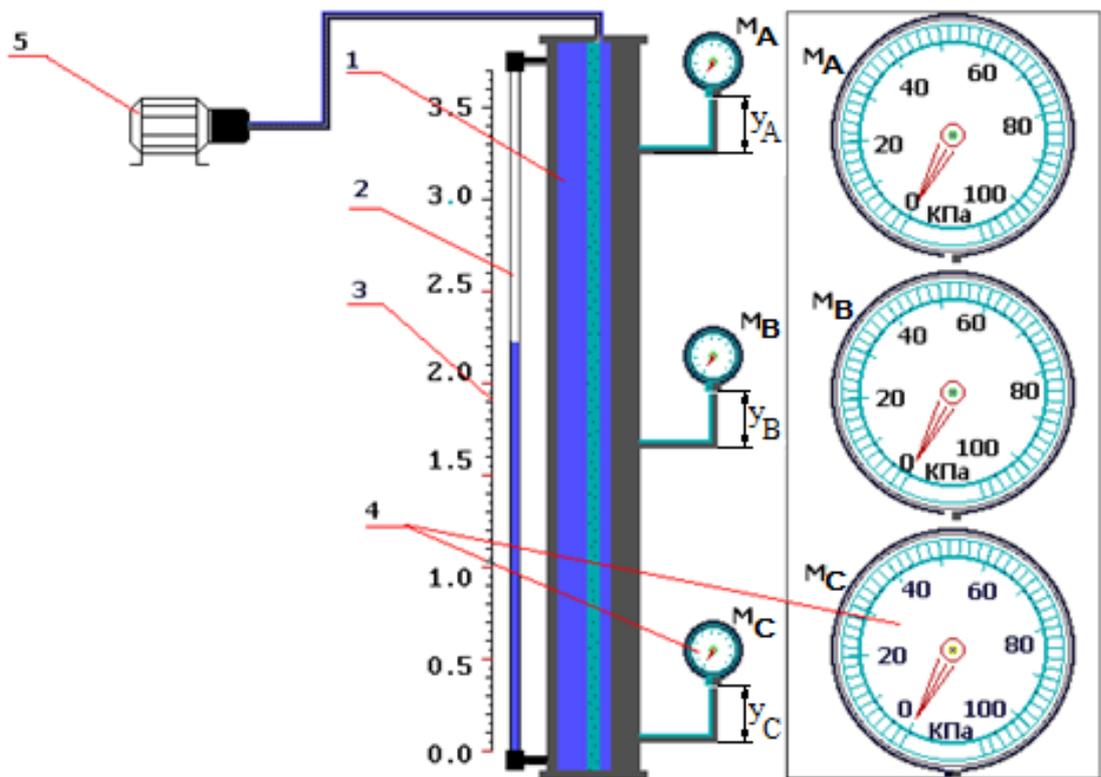
Действие механических приборов основано на деформации под действием давления упругого элемента (пружины или мембраны). Следует отметить, что пружинный манометр показывает давление в точке жидкости на уровне оси вращения его стрелки. Если высотное положение оси вращения стрелки и точки подключения манометра не совпадает (рисунок 1.3), в показание манометра  $P_m$  вводят поправку ( $\pm \rho g y$ ). Для случая, изображённого на рисунке 1.3,

$$P_{изб} = P_m + \rho g y, \quad (1.5)$$

где  $y$  - превышение оси вращения стрелки манометра над точкой его подключения;

$P_0$  - поверхностное давление, т.е. гидростатическое давление на свободной поверхности жидкости, Па;

$\rho g h$  - весовое давление, т.е. гидростатическое давление, создаваемое весом столба  $h$  жидкости, Па.



1-цилиндрический резервуар; 2- пьезометр; 3 -шкала;4 – манометр; 5-воздушный компрессор

Рисунок 1.3 - Схема экспериментальной установки

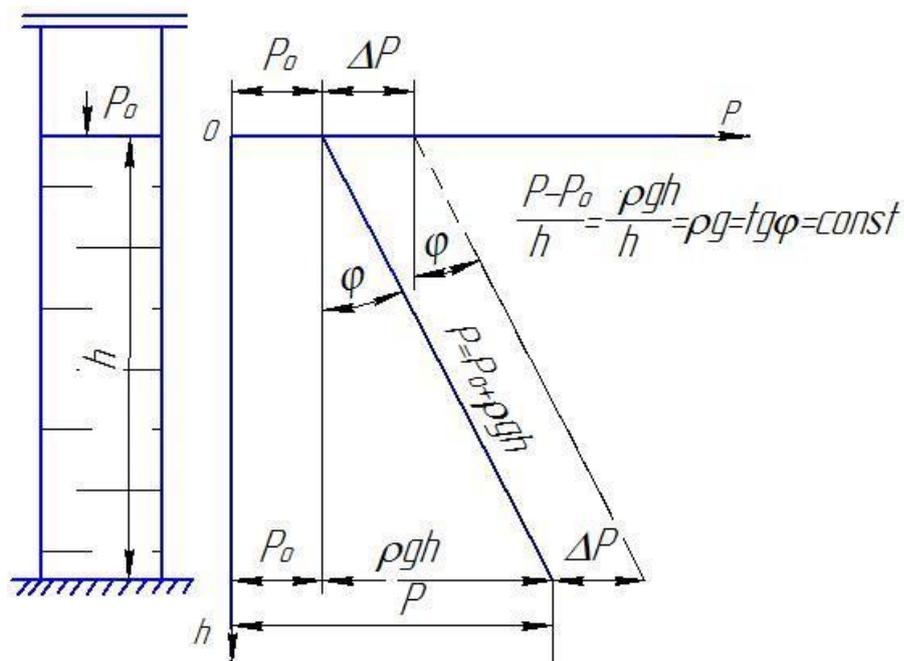


Рисунок 1.4 - К закону Паскаля и его экспериментальному подтверждению

Из уравнения (1.5) видно, что при  $P_0 = const$  и  $\rho g = const$  давление  $P$  с изменением величины  $h$  изменяется по линейному закону (рисунок 1.4). Вычислив по уравнению давление  $P$  в двух точках, заглублённых на разную

величину  $h$ , можно построить диаграмму распределения гидростатического давления по глубине, называемую эпюрой гидростатического давления.

Из уравнения (1.5) следует, что внешнее давление  $P_0$  в покоящейся жидкости передаётся во все точки её объёма без изменения (рисунок 1.4). Это следствие, вытекающее из уравнения (1.5), называют законом Паскаля.

## 6 Описание установки

Установка (рисунок 1.3) представляет собой толстостенный стальной цилиндр 1, частично заполненный водой, уровень которой измеряется водомерной трубкой 2 со шкалой 3.

Для изменения гидростатического давления над свободной поверхностью жидкости (точка А) и в точках В и С, заглублённых под уровень соответственно на  $h_B$  и  $h_C$ , подключены пружинные манометры  $M_A$ ,  $M_B$  и  $M_C$ .

В пространство над свободной поверхностью жидкости подается сжатый воздух от компрессора по трубопроводу через вентиль В1. Для сброса избыточного гидростатического давления в цилиндре установлен еще один вентиль В2.

## 7 Порядок выполнения работы и обработка опытных данных

Необходимо выполнить два опыта, обеспечив в первом  $P_{0abc} = P_{атм}$ , следовательно,  $P_{0изб} = 0$ , а во втором -  $P_{0abc} > P_{атм}$ , тогда  $P_{0изб} > 0$ .

**Опыт №1.** Открыть вентиль В2 для обеспечения  $P_{0изб} = 0$ , далее, измерить с помощью пьезометра 2 и шкалы 3 глубины погружения  $h_B$  и  $h_C$  точек В и С, а также превышения  $u_B$  и  $u_C$  осей вращения стрелок манометров  $M_B$  и  $M_C$  над точками их подключения. Затем измерить показания всех трёх манометров ( $M_A$ ,  $M_B$  и  $M_C$ ). Полученные данные записать в таблицу 1.1.

**Опыт №2.** Закрыть вентиль В2, а вентиль В1 открыть. Затем включить компрессор для подачи сжатого воздуха в цилиндр 1. Довести  $P_{0изб}$  до величины, указанной преподавателем, после чего компрессор отключить. Далее, измерить одновременно показания манометров  $M_A$ ,  $M_B$  и  $M_C$ . Результаты измерений записать в таблицу 1.1. Открыть вентиль В2 для сброса давления сжатого воздуха.

Выполнить все вычисления, предусмотренные таблицей 1.1. Произвести анализ результатов работы.

Таблица 1.1 – Результаты измерений и вычислений

№ позиций	Наименования и обозначения измеряемых и вычисляемых величин	Разм.	Результаты измер.и вычисл.		Примечания
			Опыт № 1	Опыт № 2	
1	Показания манометров $M_A$ , $M_B$ и $M_C$	$P_{M_A} \approx P_0$	Па		$h_A = \underline{\hspace{2cm}} м$ $h_B = \underline{\hspace{2cm}} м$
		$P_{M_B}$	Па		
		$P_{M_C}$	Па		

2	Избыточное гидростатическое давление в точках А, В, С	$p_A \approx p_{M_A} \approx p_0$	Па		$h_C = \text{---} \text{ м}$
		$p_B = p_{M_B} + \rho g y_B$	Па		$y_B = \text{---} \text{ м}$
		$p_C = p_{M_C} + \rho g y_C$	Па		$y_C = \text{---} \text{ м}$
3	Приращение избыточного гидростатического давления	$\Delta p_A \approx \Delta p_0 = p_{0_2} - p_{0_1}$	Па		$\rho = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ $g = 9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$
		$\Delta p_B = p_{B_2} - p_{B_1}$	Па		
		$\Delta p_C = p_{C_2} - p_{C_1}$	Па		
4	Средняя величина приращения избыточного гидростат. давления	$\Delta p_{cp} = \frac{\Delta p_0 + \Delta p_B + \Delta p_C}{3}$	Па		
5	Относит. расхождения приращений давления в точках А, В, С со средней величиной	$E_{\Delta p_0} = (\Delta p_{cp} - \Delta p_0) / \Delta p_{cp}$	-		
		$E_{\Delta p_B} = (\Delta p_{cp} - \Delta p_B) / \Delta p_{cp}$	-		
		$E_{\Delta p_C} = (\Delta p_{cp} - \Delta p_C) / \Delta p_{cp}$	-		

## 8 Контрольные вопросы

1. Что такое гидростатическое давление и каковы его свойства?
2. Поясните, что такое абсолютное и избыточное гидростатическое давление и какова связь между ними?
3. Объясните, что понимают под терминами: «внешнее давление» и «весовое давление»?
4. Напишите и поясните основное уравнение гидростатики.
5. Сформулируйте закон Паскаля.
6. Назовите приборы для измерения избыточного гидростатического давления и поясните принцип их действия.
7. В чём состояло принципиальное отличие в условиях проведения первого и второго опытов?
8. Для чего нужно знать превышение оси вращения стрелки пружинного манометра над точкой его подключения?
9. В чем заключается разница между давлением и напором?