

2 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА ГИДРОСТАТИЧЕСКОЕ ДАВЛЕНИЕ

Цель работы: измерить гидростатическое давление в различных точках покоящейся жидкости для случаев: $p_0 > p_a$, $p_0 = p_a$, $p_0 < p_a$, сопоставив, при этом, результаты измерения жидкостным и пружинными приборами.

Оборудование и приборы: колонка Паскаля, водомерное стекло с измерительной линейкой, пружинные приборы: манометры (М), вакуумметры (В), мановакуумметр (МВ).

2.1 Теоретические сведения

Рассмотрим понятия силы и давления. Сила – это векторная величина, являющаяся мерой механического действия одного тела на другое при их непосредственном контакте.

Результат действия одного тела на другое зависит не только от величины силы, но и от площади, к которой она приложена.

Давление – это сила, приложенная к единице площади поверхности тела. Частное от деления силы на площадь даёт среднее по площади нормальное сжимающее напряжение, как если бы сила была распределена по площади равномерно. Это условно усреднённое напряжение называется средним гидростатическим давлением.

Гидростатическое давление обладает тремя свойствами:

- 1) гидростатическое давление (как и сила) всегда направленно по внутренней нормали к площадке, по которой оно действует на жидкость;
- 2) гидростатическое давление в любой точке покоящейся жидкости по всем направлениям одинаково и не зависит от ориентации (положения) площадки, на которую оно действует; иными словами, любая частица (точка) покоящейся жидкости сжата со всех сторон одинаково;
- 3) гидростатическое давление в данной точке зависит только от её координат (положения) в объёме жидкости и от плотности жидкости, т.е.

$$p = f(x, y, z, \rho).$$

Абсолютное или полное гидростатическое давление (p , Па) в любой точке покоящейся жидкости определяется по формуле

$$p = p_0 + \rho \cdot g \cdot h, \text{ Па}, \quad (2.1)$$

где p_0 – абсолютное давление на свободной поверхности жидкости, Па (например, внешнее давление воздуха);

ρ – плотность воды, кг/м^3 ; $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$;

h – глубина погружения точки, м.

Для открытых сосудов давление на свободной поверхности жидкости равно атмосферному, т.е. $p_0 = p_a$, тогда уравнение (2.1) примет вид

$$p = p_a + \rho \cdot g \cdot h, \text{ Па.} \quad (2.2)$$

Манометрическое или избыточное давление - это давление сверх атмосферного, т.е. разность между абсолютным и атмосферным давлением.

Для герметичных сосудов:

$$p_m = (p_0 + \rho \cdot g \cdot h) - p_a, \text{ Па.} \quad (2.3)$$

Для открытых сосудов:

$$p_m = (p_a + \rho \cdot g \cdot h) - p_a = \rho \cdot g \cdot h, \text{ Па.} \quad (2.4)$$

Под вакуумметрическим давлением понимается недостаток (дефицит) давления до атмосферного или разность между атмосферным и абсолютным давлениями.

$$p_{\text{вак}} = p_a - p, \text{ Па.} \quad (2.5)$$

Тогда абсолютное давление будет

$$p = p_a - p_{\text{вак}} = p_a - \rho \cdot g \cdot h, \text{ Па.} \quad (2.6)$$

За единицу давления в СИ принят паскаль ($\text{Па} = \text{Н}/\text{м}^2$).

Иногда более удобными для практического использования являются кратные единицы: килопаскаль ($\text{кПа} = 10^3 \text{ Па}$) и мегапаскаль ($\text{МПа} = 10^6 \text{ Па}$).

В технике давление измеряют в технической (ат) и физической (атм) атмосферах, а также в метрах водяного и миллиметрах ртутного столба. Соотношения между различными единицами давления следующие:

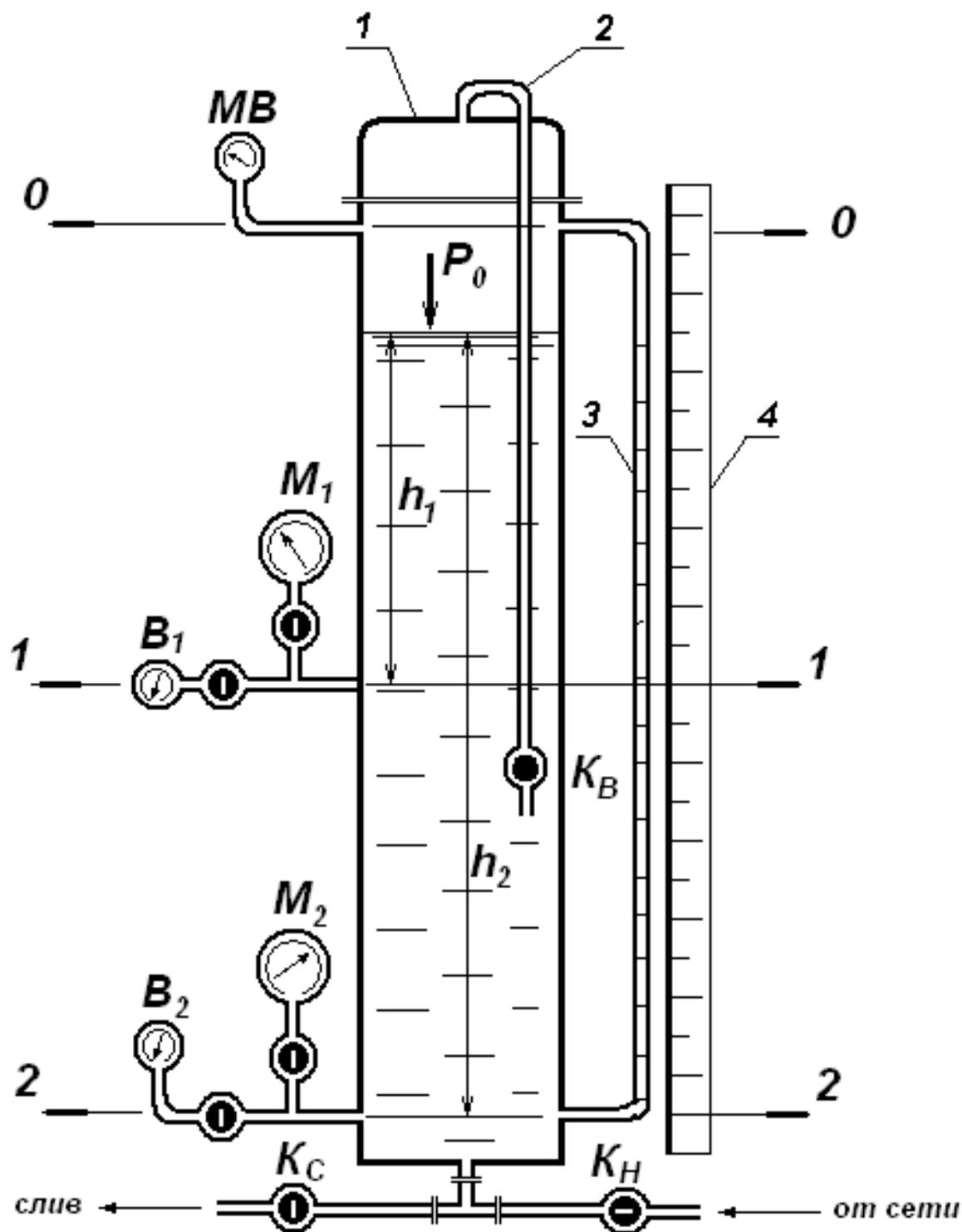
$$1 \text{ ат} = 1 \text{ кгс}/\text{см}^2 = 0,098 \text{ МПа} = 10 \text{ м вод.ст.} = 735 \text{ мм рт.ст.}$$

$$1 \text{ атм} = 1,033 \text{ ат} = 0,1 \text{ МПа} = 10,33 \text{ м вод.ст.} = 760 \text{ мм рт.ст.}$$

2.2 Схема установки

Установка для измерения давления (рисунок 2.1) состоит из колонки Паскаля 1, представляющей собой вертикальный замкнутый резервуар цилиндрической формы. Подвод жидкости осуществляется через напорный кран (K_H) от водопроводной сети, а слив – через сливной кран (K_C). К верхней крышке колонки присоединена металлическая трубка 2, снабжённая воздушным краном (K_B). На различных высотах колонки присоединены: в верхнем сечении (0-0) мановакуумметр (МВ), в среднем (1-1) и нижнем (2-2) сечениях манометры (М) и вакуумметры (В), оснащённые двухходовыми кранами, которые позволяют

включать либо отключать приборы. С противоположной стороны колонки на уровнях верхнего и нижнего сечений присоединено водомерное стекло 3 с измерительной линейкой 4.



1 – колонка Паскаля; 2 – металлическая трубка; 3 – водомерное стекло;
4 – измерительная линейка.

Рисунок 2.1- Схема установки

2.3 Порядок выполнения работы

2.3.1 Определение давления при $p_0 > p_a$.

1) Закрывать сливной кран (K_C), а краны при пружинных приборах установить в положения, показанные на рисунке 2.1. Открыть краны воздушный (K_B) и напорный (K_H) и по водомерному стеклу следить за поднятием уровня воды. Когда уровень воды достигнет отметки 100 см, закрыть кран (K_B) и продолжать наблюдения за поднятием воды до тех пор, пока уровень не достигнет отметки 180 или 190 см. Одновременно нужно следить за мановакуумметром, чтобы указательная стрелка не ушла за шкалу (предел шкалы 2,5 ат). Если стрелка двигается за отметку 2 ат, воздушным краном (K_B) нужно сбросить часть воздуха в атмосферу, удерживая стрелку на этой отметке. Затем кран (K_H) закрыть.

2) Снять показания мановакуумметра (МВ, манометров (M_1 и M_2)) и занести в таблицу 2.1.

3) Замерить по водомерному стеклу уровни воды над сечениями 1-1 (h_1), 2-2 (h_2) и занести в таблицу 2.1.

2.3.2 Определение давления при $p_0 = p_a$.

1) Открывая постепенно воздушный кран (K_B), выпустить сжатый воздух из колонки.

2) Записать в таблицу 2.1 показания манометров и водомерного стекла.

2.3.3 Определение давления при $p_0 < p_a$.

1) Закрывать воздушный кран (K_B), а двухходовыми кранами отключить манометры. Затем включить сливной кран (K_C) и по водомерному стеклу следить за опусканием уровня воды до его стабилизации.

2) Включить вакуумметры при помощи двухходовых кранов и выполнить операции, предусмотренные п.п. 1.2 и 1.3.

2.4 Обработка результатов

Абсолютные давления в сечениях с учётом показаний пружинных приборов для 3-х случаев вычисляют:

- при $p_0 \geq p_a$ по формуле: $p = p_a + p_m$;

- при $p_0 < p_a$ по формуле: $p = p_a - p_v$.

Абсолютные давления в сечениях с учётом показаний мановакуумметра и водомерного стекла вычисляют:

- при $p_0 > p_a$ по формуле (2.1),

- при $p_0 = p_a$ по формуле (2.2),

- при $p_0 < p_a$ по формуле (2.6),

где $p_a = 1 \text{ кгс/см}^2 = 10 \text{ м вод. столба}$.

Для оценки сопоставимости измерений жидкостным и пружинными приборами вычисляется относительная погрешность

$$\delta p = \frac{p_0 - p'_0}{p_0} \cdot 100\% . \quad (2.7)$$

Таблица 2.1 – Результаты измерений

№ сечения	Показания пружинного прибора кГс/см ²	Абсолютное давление в сечении кГс/см ²	Глубина погружения сечения, м	Избыточное давление в сечении, кГс/см ²	Абсолютное давление в сечении, кГс/см ²	Относит. погрешн-ть измерения, %
$p_0 > p_a$						
0-0	$p_{m0} =$	$p_0 = p_a + p_{m0} =$	0	$p_{изб0} =$	$p'_0 =$	$\delta p =$
1-1	$p_{m1} =$	$p_1 = p_a + p_{m1} =$	$h_1 =$	$p_{изб1} =$	$p'_1 =$	$\delta p_1 =$
2-2	$p_{m2} =$	$p_2 = p_a + p_{m2} =$	$h_2 =$	$p_{изб2} =$	$p'_2 =$	$\delta p_2 =$
$p_0 = p_a$						
0-0	$p_{m0} =$	$p_0 = p_a =$	0	$p_{изб0} =$	$p'_0 = p_a =$	$\delta p =$
1-1	$p_{m1} =$	$p_1 = p_a + p_{m1} =$	$h_1 =$	$p_{изб1} =$	$p'_1 =$	$\delta p_1 =$
2-2	$p_{m2} =$	$p_2 = p_a + p_{m2} =$	$h_2 =$	$p_{изб2} =$	$p'_2 =$	$\delta p_2 =$
$p_0 < p_a$						
0-0	$p_{m0} = -$	$p_0 = p_a + p_{m0} =$	0	$p_{изб0} =$	$p'_0 =$	$\delta p =$
1-1	$p_{m1} = -$	$p_1 = p_a + p_{m1} =$	$h_1 =$	$p_{изб1} =$	$p'_1 =$	$\delta p_1 =$
2-2	$p_{m2} = -$	$p_2 = p_a + p_{m2} =$	$h_2 =$	$p_{изб2} =$	$p'_2 =$	$\delta p_2 =$

2.5 Контрольные вопросы

- 1) От чего зависит величина атмосферного давления?
- 2) В чём состоит закон Паскаля? Приведите примеры простейших гидростатических машин.
- 3) Докажите с помощью эпюр избыточного давления закон Архимеда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Альтшуль, А.Д. Гидравлика и аэродинамика: учебник / А.Д.Альтшуль, Л.С.Животовский, Л.П.Иванов. - М.: Стройиздат, 1987. - 413. - Библиогр.: с. 409.
- 2 Альтшуль, А.Д. Примеры расчетов по гидравлике: Учебное пособие. / А.Д.Альтшуль, В.И.Калицун, Ф.Г.Майрановский и др.- М.: Стройиздат, 1976. – 256 с.
- 3 Башта, Т.М. Машиностроительная гидравлика. Справочное пособие. / Т.М.Башта. - М.: Машиностроение, 1973.
- 4 Большаков, В.А. Гидравлика: Общий курс: учеб. / В.А.Большаков, В.Н.Попов. - Киев: Вища. шк., 1989. - 215 с.: ил. - Библиогр.: с. 205-206.
- 5 Вильнер, Я.М. Справочное пособие по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам. / Я.М.Вильнер, Я.Т.Ковалёв, Б.Б.Некрасов. - Минск: Высшая школа, 1985.
- 6 Гидравлика, гидромашин и гидроприводы: учеб. для вузов / Т.М.Башта, С.С.Руднев, Б.Б.Некрасов и др. - 2-е изд. перераб. - М.: Машиностроение, 1982. - 423 с. - Библиогр.: с. 418.
- 7 Гидравлика, гидромашин и гидропневмопривод: учеб. пособие для вузов / под ред. С. П. Стесина. - М.: Академия, 2005. - 335 с. - (Высшее профессиональное образование). - Библиогр.: с. 332.
- 8 Гидравлика и гидропривод: учеб. пособие / Н.С.Гудилин, Е.М.Кривенко, Б.С.Маховиков, И.Л.Пастоев; Ред. И.Л.Пастоев. - 3-е изд., стереотип. - М.: МГГУ, 2001. - 519 с.: ил. - (Высшее горное образование). - Библиогр.: с. 518.
- 9 Гидравлика: учеб. пособие для ВУЗов / А.Д.Тян, М.К.Скаков, Ю.К.Назаров, В.А.Петров. - Алма-Ата: Рауан, 1992. – 240 с.
- 10 Константинов, Ю.М. Гидравлика: учеб. для вузов / Ю.М.Константинов. - 2-е изд., перераб. и доп. - Киев: Вища шк., 1988. - 398. - Библиогр.: с. 386.
- 11 Лойцянский, Л.Г. Механика жидкости и газа: учебник / Л.Г.Лойцянский. - 7-е изд., испр. - М.: Дрофа, 2003. - 840 с.
- 12 Механика жидкости и газа: учеб. пособие / Ред. В.С.Швыдкой. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: ИКЦ "Академкнига", 2003. - 462 с.: рис., табл. - Библиогр.: с.458.
- 13 Примеры гидравлических расчетов: Учеб. Пособие / Под ред. А.И. Богомолова - 2-е изд., перераб. - М.: Транспорт, 1977. – 526 с.
- 14 Сугуров, Ш.Б. Гидравлика (на казахском языке). / Ш.Б.Сугуров - Алматы, 1988. -198 с.
- 15 Ухин, Б.В. Гидравлика: учебник / Б.В.Ухин, А.А.Гусев. - М.: Инфра-М, 2008. - 431 с.: табл. - (Среднее профессиональное образование). - Библиогр.: с. 413-416.