**Методические указания**

*Давление и законы гидростатики*

Гидростатика – это раздел гидравлики, в котором изучаются законы равновесие жидкости и применение этих законов для решения задач.

При выполнении практической работы по разделу «Гидростатика» необходимо знание следующих понятий, определений и законов.

Гидростатическим давлением в точке называется напряжение сжатия в ней равное.

𝑃𝐴= lim∆𝑆→0 ∆𝐹 ∆𝑆 ,

где 𝑃𝐴 – давление в точке А; ∆𝑆 - величина элементарной площадки, содержащей точку А; ∆𝐹 - сжимающая сила, действующая на площадку ∆𝑆.

Гидростатическое давление направлено по нормали к площадке, в данной точке по всем направлениям одинаково, зависит от положения точки в покоящейся жидкости. Единицей давления в СИ является паскаль (Па);

1Па = 1 Н/м2 = 10−3кПа = 10−6МПа.

Давление, характеризующее величину полного напряжения от действия всех внешних сжимающих сил в жидкости, называется абсолютным давлением Р.

Поверхности уровня (поверхности равного давления) представляют горизонтальные поверхности. Полное (абсолютное) гидростатическое давление в любой точке жидкости

Р = Р0 + 𝜌 ∙ 𝑔 ∙ ℎ (Па),

где Р0 - давление на свободной поверхности, 𝜌 ∙ 𝑔 ∙ ℎ - вес столба жидкости высотой ℎ с площадью поперечного сечения, равной единице (ℎ - глубина погружения точки).

Избыточным или манометрическим давлением называется разность между абсолютным и атмосферным давлением.

Рман= Р − Рат.

Вакуум – это недостаток давления до атмосферного

Рвак = Рат − Р

Величины

ℎ𝑝= 𝑃манн/𝜌𝑔 = (𝑃 − 𝑃ат)/𝜌𝑔

ℎвак = 𝑃вак/𝜌𝑔 = (𝑃ат − Рабс)/𝜌𝑔

называется соответственно пьезометрической и вакуумметрической высотами. Плоскость, во всех точках которой давление равно атмосферному, называется пьезометрической плоскостью «П – П».

Если сосуд открыт, то пьезометрическая плоскость совпадает со свободной поверхностью жидкости.

Для закрытого сосуда пьезометрическая плоскость может располагаться и выше свободной поверхности жидкости (при Р0 > Рат) и ниже ее (при Р0 < Рат).

Избыточное (манометрическое) давление в любой точке жидкости

𝑃ман = 𝜌 ∙ 𝑔 ∙ 𝐻,

где 𝐻 - глубина погружения точки под пьезометрической плоскостью. Силы гидростатического давления Избыточная сила гидростатического давления 𝐹(н)на плоскую стенку равна давлению в центре тяжести стенки, умноженному на ее площадь,

𝐹 = (𝑃0 + 𝜌 ∙ 𝑔 ∙ ℎ𝑐)𝑆

где ℎ𝑐 - глубина погружения центра тяжести стенки под свободной поверхностью, м; 𝑆 - площадь стенки, м2; 𝑃0 – избыточное давление на свободной поверхности.

Формулу можно представить в виде

𝐹 = 𝐹0 + 𝐹ж,

где 𝐹0 = 𝑃0 𝑆(Н) – сила, обусловленная внешним давлением;

𝐹ж = 𝜌 ∙ 𝑔 ∙ ℎ𝑐 𝑆(Н) - сила, обусловленная только давлением в жидкости.

Сила 𝐹0- приложена в центре в центре тяжести стенки, сила 𝐹ж - в центре давления, координата которого определяется по формуле

𝑦 = 𝑦𝑐 = У0/𝑆𝑦,

где 𝑦𝑐 - координата центра тяжести; У0 - момент инерции плоской фигуры относительно центральной оси.

Избыточная сила давления на плоскую стенку

𝐹 = 𝜌 ∙ 𝑔 ∙ ℎ𝑐 ∙ 𝑆,

где ℎ𝑐 - расстояние от центра тяжести стенки до пьезометрической плоскости П – П

Сила гидростатического давления на криволинейную поверхность

где 𝐹𝑥, 𝐹𝑦, 𝐹𝑧 – составляющие силы избыточного давления по соответствующим координатными осями. Для цилиндрической криволинейной поверхности

,

где 𝐹𝑥 и 𝐹𝑧 - горизонтальная и вертикальная составляющие силы давления F.

Горизонтальная составляющая

𝐹𝑥 = 𝜌 ∙ 𝑔 ℎ𝑐 ∙ 𝑆в,

где ℎ𝑐 - расстояние от центра тяжести вертикальной проекции до пьезометрической плоскости; 𝑆в - площадь проекции криволинейной поверхности на вертикальную плоскость.

Вертикальная составляющая

𝑃𝑧 = 𝜌 ∙ 𝑔 ∙ 𝑉,

где 𝑉 - объем тела давления – вертикального столба жидкости, расположенного между пьезометрической плоскостью, криволинейной поверхностью и вертикальной проецирующей поверхностью, проходящей по контору стенки.

Указание к решению задачи 1. При решении задачи необходимо использовать основное уравнение гидростатики, которое для открытого сосуда (пьезометрическая поверхность совпадает со свободной поверхностью) в общей форме может быть записано так

𝑃 = 𝑃ат + 𝜌 ∙ 𝑔 ∙ ℎ.

Кроме того, необходимо учитывать, что во всех точках горизонтальной плоскости проходящей в однородной жидкости, давление одинаково (поверхности равного давления), следовательно Рв = Рс.

Далее решение задачи сводится к составлению математических выражений для определения давления в точках В и С по формуле (1); приравнивание правых частей уравнений дает искомое выражение для определения плотности бензина.

Указание к решению задачи 2. При решении задачи необходимо, использовать основное уравнение гидростатики, которое применительно к закрытому сосуду записывается так

Р = Р0+ 𝜌 ∙ 𝑔 ∙ ℎ (Па),

где Р0 - абсолютное давление на свободной поверхности жидкости

Р0 = Рат + Р0изб,

где Р0изб - избыточное (манометрическое) давление, создаваемое воздухом на свободной поверхности жидкости; Рат - атмосферное давление – принимается равным 100 000 Па.

Избыточное (манометрическое) давление в точке «В′ » измеряется манометром, который расположен на высоте Z от точки его подключения и, следовательно, не учитывает давление, создаваемого жидкостью высотой столба «𝜌 ∙ 𝑔 ∙ 𝑍».

Решение задачи сводится к определению:

1 Полного избыточного (манометрического) давления в точке В - Ризб (Па).

2 Избыточного (манометрического) давления на свободной поверхности жидкости – Р0(изб), Па.

3 Расстояние от свободной поверхности, до пьезометрической плоскости «П – П» - ℎп(м).

4 Абсолютного давления на свободной поверхности жидкости - Р0(Па).

Указание к решению задачи 3. Сила разрывающая сосуд по образующей определяется, как горизонтальная составляющая равнодействующей силы давления на криволинейную поверхность

𝐹𝑥= 𝑃𝑐∙ 𝑆в (Н),

где Рс= Рман + 𝜌 ∙ 𝑔 𝐻/2 – избыточное давление в центре тяжести проекции стенки резервуара на вертикальную ось, т.е. как на плоскую стенку, площадь которой составит

𝑆 = Д ∙ Н(м2).

**Исходные данные**

Задача 1. Задача 1. В сообщающиеся сосуды налиты вода плотностью 𝜌в( кг м3) и бензин плотностью 𝜌Б ( кг/м3). Определить: плотность бензина, если высота столба воды h (мм), а разность уровней жидкости в сосудах а (мм). Во сколько раз уровень бензина, больше уровня воды?

Исходные данные приведены в таблице 1.

Рисунок 1.1 – Схема к задаче



Рисунок 1.2 – Схема к задаче 2



Рисунок 1.1 – Схема к задаче 3

Задача 2. Манометр, подсоединенный к закрытому резервуару с нефтью (точки В’) показывает избыточное давление Рман(кПа). Определить:

- абсолютное давление воздуха на поверхности жидкости Р0;

- положение пьезометрической плоскости, если уровень нефти в резервуаре Н (м), а расстояние от точки подключения до центра манометра Z( м).

Исходные данные приведены в таблице 1.

Задача 3. Вертикальный цилиндрический сосуд диаметром Д (м) и высотой цилиндрической части Н (м) заполнен водой, находящейся под избыточным давлением, характеризуемым показанием манометра Рман (кПа). Определить силу 𝐹𝑥 , разрывающую цилиндрическую часть по образующей. Исходные данные приведены в таблице 1.



**Контрольные вопросы**

1. Что такое гидростатический парадокс?

2. Какие есть внесистемные единицы изменения давления.

3. В условиях физических задач часто можно встретить формулировку «нормальные условия». Что этот значить?

4. Что такое сообщающиеся сосуды?

5. Что такое гидравлический пресс?

Ответы к практической работе 1:

**Вопрос 1.** Что такое гидростатический парадокс?

**Ответ.** Гидростатический парадокс – явление, когда вес жидкости в сосуде не совпадает с весовым давлением, которое она оказывает на стенки сосуда. Возникает в сосудах конусообразной формы.

**Вопрос 2.** Какие есть внесистемные единицы изменения давления:

**Ответ.** Внесистемные единицы давления: миллиметр ртутного столба; бар; атмосфера.

**Вопрос 3.** В условиях физических задач часто можно встретить формулировку «нормальные условия». Что этот значить?

**Ответ.** Это значит, что давление нужно брать равным 101325 Па (или 760 мм рт. ст.), а температуру – 0 градусов Цельсия (или 273 Кельвина).

**Вопрос 4.** Что такое сообщающиеся сосуды?

**Ответ.** Сообщающиеся сосуды – это емкости, соединенные между собой. Жидкость может свободно перетекать из одного сосуда в другой. Уровень жидкости с одной плотностью в сообщающихся сосудах всегда одинаков. Простейший пример сообщающихся сосудов: обычный чайник. Если мы нальем в него воду, уровень будет одинаковым как в носике, так и в основном объеме. Если же плотности жидкостей разные, то выше будет уровень той, у которой плотность меньше.

**Вопрос 5.** Что такое гидравлический пресс?

**Ответ.** Гидравлический пресс – устройство, в основе действия которого лежит закон Паскаля и принцип сообщающихся сосудов. Пресс состоит из двух соединённых и заполненных маслом цилиндров: узкого и широкого. При нажатии на поршень узкого цилиндра, широкий цилиндр получает во столько раз большее давление, во сколько раз площадь большего поршня больше площади меньшего поршня.

Гидростатика: немного теории

Гидростатика – раздел физики, изучающий равновесие жидкостей.

Равновесие жидкостей – очень важный раздел. Например, если вы выпили много пива, просто необходимо, чтобы оно находилось в равновесии. Но шутки в сторону! Какие фундаментальные понятия нужно знать, чтобы решать задачи по гидростатике?

**Давление и плотность**

Давление – физическая величина, равная отношению модуля силы, перпендикулярно действующей на поверхность, к площади этой поверхности.



[Давление](https://infourok.ru/go.html?href=https%3A%2F%2Fzaochnik-com.ru%2Fblog%2Fdavlenie-dlya-chajnikov-opredelenie-obyasnenie%2F) столба жидкости называют гидростатическим, а измеряется оно в Паскалях. Гидростатическое давление столба жидкости высотой *h* на дно сосуда рассчитывается по формуле:



Греческое «*ро*» - плотность жидкости. Плотность измеряется в килограммах на кубический метр и равна отношению массы тела к его объему.



Манометр, подключенный к закрытому резервуару с нефтью, показывает избыточное давление *рма„* = 36 кПа. Определить абсолютное давление воздуха на поверхности жидкости *р0* и положение пьезометрической плоскости, если уровень нефти в резервуаре *Н* = 3,06 м, а расстояние от точки подключения до центра манометра z = 1,02 м (рис. 2.3), атмосферное давление *р„* = 100 кПа (рис. 2.3)

С другой стороны, то же давление: *рв* = *р0* + *pgH*. Отсюда избыточное давление на поверхности жидкости

*Решение.* Избыточное давление в точке В



а полное давление



Расстояние пьезометрической плоскости от свободной поверхности жидкости

