



# Виртуальный курс физики

# МЕХАНИКА

Лекция 5. Механика жидкостей и газов.

---

ТЕОРИЯ, ЗАДАЧИ, ПОДГОТОВКА К ЕГЭ



**Уважаемые друзья!**

**Вы выбрали Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I и поступили, несомненно, правильно!**

**Наш университет основан в 1809 году. Это старейший инженерный транспортный вуз России. Это "особенный институт" - так в манифесте назвал его Император Александр I.**

**Для того, чтобы успешно пройти вступительные испытания и стать студентом одного из лучших технических вузов России, необходимо иметь высокую подготовку по физике.**

**Как правило, уровень подготовки выпускников школ не всегда соответствует требованиям, предъявляемым к поступающим в высшие учебные заведения. Повысить этот уровень и качественно подготовиться к вступительным испытаниям по физике в технический университет помогут преподаватели факультета довузовской подготовки.**

**Факультет довузовской подготовки организует и проводит курсы по подготовке к поступлению в вуз по программам, соответствующим требованиям ЕГЭ.**

**Занятия проводятся по очной и заочной формам обучения. Занятия по очной форме обучения проводятся в дневное время - с 16.25 (тел. [457-84-04](tel:457-84-04)), и в вечернее время - с 18.00 (тел. [457-87-83](tel:457-87-83)). Мы с удовольствием ответим на все Ваши вопросы.**

**Факультет довузовской подготовки**

***Курс дистанционного обучения по физике  
изложен в авторской редакции доцента  
Петербургского государственного университе-  
та путей сообщения Императора Александра I  
Кытина Юрия Александровича***

# МЕХАНИКА

## Лекция 5.

*Тема: Механика жидкостей и газов. Давление. Закон Паскаля. Гидростатическое давление. Сообщающиеся сосуды. Гидравлический пресс. Закон Архимеда для жидкостей и газов. Условия плавания тел.*

### 5.1. Давление. Закон Паскаля. Гидростатическое давление

*Гидроаэродинамикой* называется раздел физики, в котором изучаются законы равновесия и движения жидкостей и газов, а так же механические взаимодействия жидкостей и газов с твердыми телами.

Раздел гидроаэродинамики, изучающий условия и закономерности равновесия жидкостей и газов, находящихся под воздействием внешних сил, а так же условия равновесия твердых тел, находящихся в жидкостях и газах, называется *гидроаэростатикой*.

Взаимодействия между слоями жидкости и газа, а так же взаимодействия жидкостей и газов с твердыми телами осуществляются не в отдельных точках, а по поверхности их соприкосновения. Возникающие при этом силы упругости действуют перпендикулярно к рассматриваемым поверхностям и их действие принято характеризовать давлением.

*Давлением* называется физическая скалярная величина, равная отношению нормальной составляющей силы  $F_n$ , равномерно распределенной по поверхности, к площади этой поверхности:

$$p = \frac{F_n}{S},$$

где  $F_n = F \cos \alpha$ , а  $\alpha$  – угол между направлением силы и перпендикуляром к поверхности, на которую действует эта сила. Давление в системе СИ измеряется в паскалях (Па).

Так как сила, действующая на поверхность тела, находящегося в покоящейся жидкости или газе, всегда направлена перпендикулярно к этой поверхности и не зависит от ее ориентации, то для жидкости можно записать:

$$p = \frac{F}{S}.$$

Если на твердое тело действует внешняя сила, то давление, создаваемое этой силой, передается в направлении действия силы. В отличие от твердых тел частицы и отдельные слои жидкости и газа могут свободно

перемещаться относительно друг друга по всем направлениям. Это обстоятельство приводит к **закону Паскаля**: *внешнее давление, производимое силами на жидкость или газ, заключенные в замкнутый сосуд, передается без изменения по всем направлениям в каждую точку жидкости или газа.*

Давление, оказываемое жидкостью или газом на глубине  $h$  под свободной поверхностью вследствие действия сил тяжести, называется **гидростатическим давлением**. Оно зависит от плотности жидкости  $\rho$  и глубины  $h$ :

$$p = \rho gh.$$

Если на свободную поверхность жидкости действует внешнее давление  $p_0$  (например, атмосферное давление, или давление прилегающего к поверхности жидкости поршня), то давление  $p$  на произвольной глубине  $h$  будет равно:

$$p = p_0 + \rho gh.$$

Давление, оказываемое атмосферным воздухом, называется **атмосферным давлением**. Это давление обусловлено силой тяжести, действующей на молекулы, входящие в состав воздуха. Атмосферное давление, равное  $p_0 = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$  (или  $p_0 = 760 \text{ мм рт. ст.}$ ), называется **нормальным атмосферным давлением**. Атмосферное давление уменьшается с увеличением высоты над поверхностью Земли.

## 5.2. Сообщающиеся сосуды

Поведение жидкости в сообщающихся сосудах определяется гидростатическим давлением, оказываемым на дно сосудов, и внешним давлением, действующим на свободные поверхности жидкости в этих сосудах.

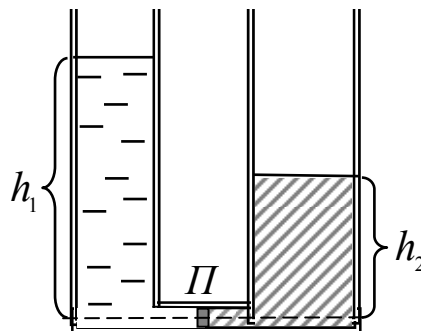


Рис. 5.71

Если в сообщающихся сосудах находятся две разнородные жидкости с плотностями  $\rho_1$  и  $\rho_2$ , разделенные между собой свободно перемещающимся поршнем  $\Pi$  (рис. 5.71), препятствующим их перемешиванию, то поршень будет находиться в равновесии при условии равенства давлений, оказываемых на него со стороны жидкости и внешних сил:

$$p_{01} + \rho_1 g h_1 = p_{02} + \rho_2 g h_2,$$

где  $p_{01}$  и  $p_{02}$  – внешние давления, оказываемые на свободные поверхности жидкостей,  $h_1$  и  $h_2$  – высоты столбов жидкостей в сообщающихся сосудах. Если сосуды открыты, то внешние давления  $p_{01}$  и  $p_{02}$  равны друг другу и равны атмосферному давлению  $p_0$ . Следовательно,

$$\rho_1 g h_1 = \rho_2 g h_2.$$

Это равенство выражает **закон сообщающихся сосудов**:

а) *высоты столбов разнородных жидкостей в открытых сообщающихся сосудах обратно пропорциональны плотностям этих жидкостей:*

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}.$$

б) *свободные поверхности столбов однородной жидкости в сообщающихся сосудах ( $\rho_1 = \rho_2 = \rho$ ) устанавливаются на одном и том же уровне:  $h_1 = h_2$ .*

### 5.3. Гидравлический пресс

Гидравлический пресс представляет собой устройство, состоящее из двух сообщающихся сосудов, заполненных однородной жидкостью и закрытыми поршнями с различными площадями  $S_1$  и  $S_2$  поверхностей (рис. 5.72).

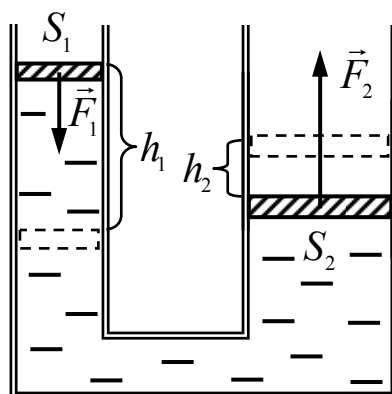


Рис. 5.72

Если на малый поршень действует сила  $\vec{F}_1$ , то она создает давление  $P = \frac{F_1}{S_1}$ , которое в соответствии с законом Паскаля передается во все точки жидкости. Вследствие этого на большой поршень со стороны жидкости будет действовать сила  $\vec{F}_2$ , модуль которой равен:

$$F_2 = PS_2 = F_1 \frac{S_2}{S_1},$$

где  $S_2$  — площадь большого поршня. Отсюда видно, что  $F_2 > F_1$  в  $\frac{S_2}{S_1}$  раз, т. е. гидравлический пресс даёт выигрыш в силе во столько раз, во сколько раз площадь большого поршня больше площади малого поршня

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1}.$$

В процессе перемещения малый поршень опускается вниз, проходя путь, равный  $h_1$ , а большой поршень при этом поднимается вверх на высоту  $h_2$ .

Вследствие несжимаемости жидкости ее объём, вытесненной из первого сосуда, равен объёму, поступившей во второй сосуд:

$$S_1 h_1 = S_2 h_2.$$

Следовательно,

$$h_2 = h_1 \frac{S_1}{S_2}.$$

Так как  $S_1 < S_2$ , то  $h_2 < h_1$ . Это означает, что пресс даёт проигрыш в расстоянии.

Работа, совершаемая силой  $F_1$ ,  $A_1 = F_1 h_1$ , а работа, совершаемая силой  $F_2$ ,  $A_2 = F_2 h_2$ . В реальных гидравлических прессах  $A_2 < A_1$ , так как часть энергии расходуется на работу против сил трения между жидкостью и стенками сосудов.

Эффективность работы пресса характеризуется *коэффициентом полезного действия*:

$$\eta = \frac{A_2}{A_1} \cdot 100\% = \frac{F_2 h_2}{F_1 h_1}.$$



#### 5.4. Закон Архимеда для жидкостей и газов. Условия плавания тел

На поверхность твердого тела, погруженного в жидкость (или газ), действуют силы давления. Так как давление увеличивается с глубиной погружения, то сила давления, действующая на нижнюю поверхность тела и направленная вверх, будет больше, чем сила, действующая на верхнюю его поверхность и направленная вниз. Поэтому результирующая сил давления должна быть направлена вверх, т. е. на тело, погруженное полностью или частично в жидкость (в газ), должна действовать **выталкивающая сила**, которая определяется **законом Архимеда**: на тело, погруженное в жидкость или газ, действует выталкивающая сила, равная по модулю силе тяжести жидкости или газа, вытесненных телом, направленная вертикально вверх и приложенная в центре тяжести вытесненного объема жидкости или газа.

Пусть тело, погруженное в жидкость, имеет форму прямоугольного параллелепипеда (рис. 5.73.) высотой  $h$ , верхняя и нижняя грани которого имеют площадь  $S$ .

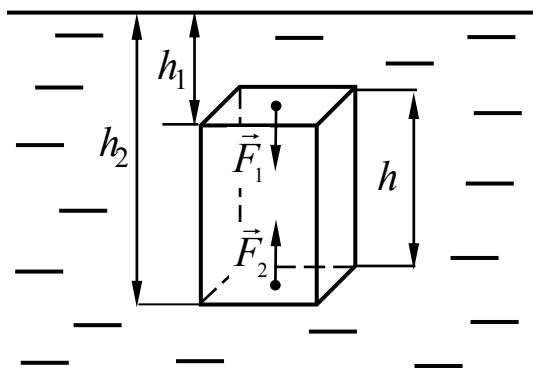


Рис. 5.73

Силы, с которыми жидкость действует на противоположные боковые грани, уравновешиваются.

На верхнюю грань действует направленная вниз сила  $\vec{F}_1$ , модуль которой  $F_1 = p_1 S$  ( $p_1$  – давление жидкости на глубине  $h_1$ , где находится эта грань).

На нижнюю грань действует направленная вверх сила  $\vec{F}_2$ , модуль которой  $F_2 = p_2 S$  ( $p_2$  – давление жидкости на глубине  $h_2$ ).

Если плотность жидкости равна  $\rho_{\text{ж}}$ , то  $p_1 = \rho_{\text{ж}} g h_1$ ,  $p_2 = \rho_{\text{ж}} g h_2$  и, следовательно, силы, действующие на верхнюю и нижнюю грани будут соответственно равны:

$$F_1 = \rho_{\text{ж}} g h_1 S, \quad F_2 = \rho_{\text{ж}} g h_2 S.$$

Результирующая сила  $\vec{F}_A = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$ , а её модуль  $F_A = F_2 - F_1$ , так как  $F_2 > F_1$  вследствие того, что  $h_2 > h_1$ . Таким образом, приходим к выводу: на параллелепипед со стороны жидкости действует направленная вертикально вверх выталкивающая сила:

$$F_A = F_2 - F_1 = \rho_{ж} g h_2 S - \rho_{ж} g h_1 S = \rho_{ж} g (h_2 - h_1) S = \rho_{ж} g h S,$$

где  $h$  – высота параллелепипеда.

Так как  $hS = V$  представляет собой объем параллелепипеда, то выталкивающая сила

$$F_A = \rho_{ж} g V.$$

Если тело погружено в жидкость не полностью, то в формуле для силы Архимеда  $V$  – объем погруженной части тела. Если учесть, что  $\rho_{ж} V = m_{ж}$ , где  $m_{ж}$  – это масса вытесненной жидкости, то формулу для силы Архимеда можно записать в следующем виде:  $F_A = m_{ж} g$ , то есть архимедова сила равна по модулю силе тяжести, действующей на вытесненную жидкость.

Линия действия выталкивающей силы проходит через центр масс вытесненного объема жидкости и не зависит от того, где расположен центр масс погруженного тела.

**Условие плавания тел.** На тело, погруженное полностью в жидкость, действует сила тяжести  $m\vec{g}$  и выталкивающая сила  $\vec{F}_A$ .

Если  $F_A = mg$ , то тело находится в состоянии безразличного равновесия – плавает внутри жидкости; если  $F_A < mg$ , то тело тонет; если  $F_A > mg$ , то тело всплывает.

Так как  $F_A = \rho_{ж} g V$ , а  $mg = \rho_{т} g V$ , то условие плавания однородного сплошного тела в жидкости можно записать в виде:

$$\rho_{ж} \geq \rho_{т},$$

где  $\rho_{ж}$  и  $\rho_{т}$  – плотности жидкости и тела соответственно.

Приведенные рассуждения справедливы также и в том случае, если тело погружено в газ.

## **От авторов**

***Возникли трудности в усвоении теоретического курса или в его применении при решении конкретных задач, тестов – записывайтесь на наши курсы и мы поможем Вам подойти к экзамену во всеоружии.***

***Наш адрес:***

***190031, г. Санкт-Петербург, Московский проспект, дом 9, ПГУПС, факультет довузовской подготовки.***

***Наши телефоны отдела заочной формы обучения:***

***8 (931) 214-51-45;***

***8 (812) 457-88-07 .***