АДМИНИСТРАЦИЯ ГОРОДСКОГО ОКРУГА САМАРА
муниципальное бюджетное общеобразовательное учреждение
«Лицей авиационного профиля №135» городского округа Самара
(МБОУ ЛАП №135 г.о. Самара)
Россия, 443077, г. Самара, ул. Свободы, дом 129
ИНН/КПП 6312021960/631201001
Тел./факс: +7(846)995-42-45, тел.: +7(846)995-10-84, +7(846)995-04-65, +7(846)995-01-76
e-mail: lap_samara@mail.ru сайт: lap-samara.ru

Утверждаю

Директор МБОУ ЛАП №135 г.о.Самара

_______________ Копытин С.Ю.

_________________________ 2019г.

Программа предпрофильного курса

Применение в технике законов гидростатики и гидродинамики

Автор составитель Самсонова Н.Ю.

Самара 2019

Пояснительная записка

Нам хорошо известны три основных агрегатных состояния вещества (кроме плазмы, являющейся четвертым состоянием вещества): твердое тело, жидкость, газ.

Развитие человеческой цивилизации теснейшим образом связано с использованием водной стихии. Еще в Древней Греции были сделаны первые попытки выяснения механических свойств воды и их использования.

Основным отличием жидкостей от твердых тел, объем и форму которых трудно изменить, даже прилагая значительные усилия, является подвижность (или текучесть) жидкостей, связанная со значительно меньшим, чем в твердых телах сцеплением между молекулами.

Хорошо известно, что жидкость приходит в движение под действием на нее даже очень малых усилий, касательных к ее поверхности. Это — так называемые сдвиговые напряжения, приводящие к нарушению равновесия жидкости, заставляя отдельные ее слои скользить один по другому. При этом сила трения покоя, играющая важную роль при рассмотрении движения твердых тел друг относительно друга, отсутствует, поэтому сила реакции при взаимодействии жидкости

от первых опытов изучения движения воды (*гидра* — по-гречески вода). Частным случаем этой науки является гидростатика — наука *о равновесии жидкостей.* Именно здесь большую роль играют силы, действующие перпендикулярно к поверхности раздела жидкости, поверхностям стенок сосуда, куда налита жидкость, или поверхности тела при его погружении в жидкость.

Цель элективного курса

1. Изучение основ гидродинамики с помощью демонстраций, визуализирующих течение жидкости.
2. Изучения основ гидродинамика теоретическим методом

3. Изучение свойства песка и жидкости

Задачи элективного курса

1. Углубить знания о понятии давление и законе Паскаля
2. Провести эксперимент по изучению свойств песка и воды
3. Углубить знания о законе Архимеда
4. Провести эксперимент по изучению выталкивающей силы из песка и воды
5. Изучить основы гидродинамики
6. Провести эксперимент по определению формы струи жидкости и песка
7. Теоретическое обоснование форм истечения
8. Обобщение всего курса. Подведение итогов

Содержание

1. Понятие давления в жидкости и газе. Единицы измерения давления. Закон Паскаля. Принцип сообщающихся сосудов. Изменение давления воздуха при подъеме над уровнем моря. (1 ч)

- Экспериментальное изучение закона Паскаля(1 ч)
- Обобщение полученных данных по опыту(1 ч)

2. Принцип работы гидравлического пресса и золотое правило механики.(1 ч)
3. Понятие выталкивающей силы (силы Архимеда). Закон Архимеда. Условия справедливости закона Архимеда.(1 ч)

- Опыт на доказательство закона Архимеда с водой и песком(1 ч)
- Обобщение полученных данных по опыту(1 ч)

4. Основы гидродинамики(2 ч)
5. Эксперимент на Изучение формы струи(1 ч)
6. Обобщение данного опыта(1 ч)
7. Итоговая конференция(1 ч)

Программа элективного курса 9 класс (12 ч)

1. Понятие давления в жидкости и газе. Единицы измерения давления. Закон Паскаля. Принцип сообщающихся сосудов. Изменение давления воздуха при подъеме над уровнем моря. (1 ч)

Если вопрос о том, что такое давление, касается жидкостей или газов, то обычно имеют в виду силу, действующую на единицу площади, а не общую силу. Так, когда хотят узнать достаточно ли воздуха в автомобильной шине, то выясняют это, определяя силу,йствующую на 1см^2, а не общую силу, действующую на всю поверхность шин изнутри.

Давлением в газе (или жидкости) называется величина, равная отношению модуля силы *F*, действующей по нормали к плоской поверхности, к площади этой поверхности *S*:

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

(1.1)

$$\text{давление} = \frac{\text{сила}}{\text{площадь}}$$

За единицу давления принимается такое давление, которое производит сила в 1 Н, действующая на поверхность площадью 1 перпендикулярно этой поверхности и называется паскалем (обозначается Па).

$$\mathbf{1}\text{Па} = \frac{\mathbf{1}\text{Н}}{\mathbf{1}\text{м}^{\mathbf{2}}}$$

Используются также другие единицы давления: гектопаскаль (гПа) и кило Паскаль (кПа).

1 кПа=1000 Па; 1 гПа = 100 Па ; 1 Па =0,001 кПа; 1 Па 0,01 гПа

Установленный в *XVIII*веке Б. Паскалем (1623-1662) один из основополагающих законов гидростатики, известный как **закон Паскаля,** утверждает: **если на жидкость (или газ), заключенную в замкнутый сосуд производить давление, то это давление передается по всем направлениям во все точки жидкости (газа) и на любую часть внутренней поверхности сосуда без изменения.**

Свойство передавать без изменения давление связано с не сжимаемостью жидкости (например, воды) при больших усилиях. Достаточно отметить, что сжатие воды, в частности, под действием атмосферного давления приводит к уменьшению ее объема на

1/20 000 часть исходного объема. В связи с этим в физике вводится представление о "несжимаемости" жидкости, подобно тому, как используется понятие абсолютно твердого тела в механике.

Рассмотрим следующую ситуацию, иллюстрирующую закон Паскаля. Возьмем сосуд, наполненный жидкостью (к примеру, водой), находящейся под неизменным давлением, $p=\frac{F}{S}$ создаваемым некоторой силой $\boldsymbol{F}$, приложенной к поршню, основание которого закрывает открытую часть сосуда. Перед тем как закрыть сосуд поршнем поместим в жидкость небольшой полый кубик (например, объемом 1 см^3) с тонкими металлическими стенками и площадью грани $\boldsymbol{S_k}$. На каждую грань этого кубика согласно закону Паскаля будет действовать сила $\boldsymbol{F_k=p\cdot S_k}$ независимо от его ориентации. Если жидкость покоится, то в любой ее малой по размерам части давление будет одинаковым во всех направлениях. Будь это не так, на небольшой кубик в жидкости действовала бы отличная от нуля результирующая сила, и он пришел бы в движение, что противоречит исходному условию равновесия жидкости. Следовательно, $\frac{F_k}{S_k}=\frac{F}{S}$ ил и $\frac{S}{S_k}=\frac{F}{F_k}$. Ниже будет показано, что данное соотношение лежит в основе работы **гидравлического пресса.**

Все эти рассуждения, демонстрирующие закон Паскаля, справедливы в отсутствие силы тяжести, или когда можно ею пренебречь. В этом случае давление во **всех точках** сосуда будет одинаковым, независимо от формы последнего.

В поле тяжести Земли давление жидкости возрастает с глубиной и численно равно на глубине h весу столба жидкости высотой h и площадью $1\ \text{см}^2$.

$$p_h = \rho \cdot g \cdot h \qquad (1.2)$$

Давление, которое появляется в жидкости из-за наличия поля тяжести, называется **гидростатическим.**

Уравнение (1.2) позволяет построить график зависимости давления в жидкости от глубины погружения (рис.1). Так как давление прямо пропорционально глубине *h,* то его график представляет собой прямую линию (линейную функцию), где $p_1 = \rho_1 \cdot g \cdot h$ и $p_2 = \rho_2 \cdot g \cdot h$. Понятно, что наклон прямой давления на графике зависит от плотности жидкости: чем она больше, тем больше давление на одной и той же глубине. На рис. 1 $\rho_2 > \rho_1$ поэтому $p_2 > p_1$ на глубине *h.* Если на поверхность жидкости оказывается еще и дополнительное давление , например, земной атмосферы, то полное давление на глубине h будет равно $p = p_0 + \rho \cdot g \cdot h$ (1.3) .

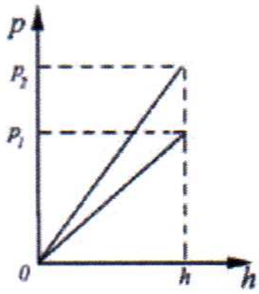


Рис.1

Тогда нетрудно найти разность давлений на двух уровнях жидкости, отстоящих друг от друга по вертикали на расстоянии h_1, что и будет составлять $\Delta p = \rho \cdot g \cdot h_1$

Это, в частности, приводит к тому, что в сообщающихся сосудах, заполненных однородной жидкостью, давление во всех точках жидкости, расположенных на **одном уровне, одинаково, независимо от формы сосудов,** если наружное давление для всех сосудов одинаково (см. рис.2).

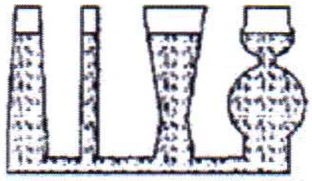


Рис. 2.

Поэтому в поле тяжести давление в любой точке сосуда не зависит от формы сосуда, а зависит лишь от глубины и плотности жидкости.

Важным следствием предыдущих рассуждений является **закон сообщающихся сосудов.** Если наливать жидкость в один из сосудов, изображенных на рис.2, то, перетекая через соединения в остальные сосуды, жидкость установится во всех сосудах на одном уровне. Это объясняется тем, что давление на свободных поверхностях жидкости в сосудах одно и то же и равно атмосферному. Вследствие этого все свободные поверхности должны находиться в одной горизонтальной плоскости.

Принцип сообщающихся сосудов используется в устройстве водомерных трубок современных электрочайников и кофеварок. Вода в них устанавливается на том же уровне, что и в объеме чайника. Если на этой трубке нанесены деления, то всегда можно контролировать заливаемый объем воды.

Другая ситуация наблюдается, когда имеются сообщающиеся сосуды с разными жидкостями. Для рассмотрения этого случая возьмем U-образную трубку с открытыми концами и зальем сначала воду с плотностью ρ. Совершенно ясно, что уровень воды в обоих коленах будет одинаков. Доливая теперь в одно из колен другую жидкость, к примеру керосин (с плотностью ρ_1), который не смешивается с водой, мы заметим, что уровни жидкостей в каждом колене поднимутся, но уже не одинаково (рис.3).

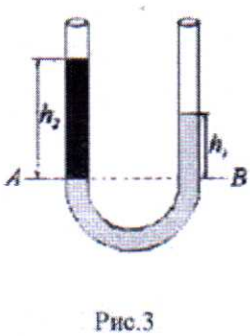


Рис.3

Поверхность раздела между жидкостями (на рис. 3 — уровень АВ) по мере доливания второй жидкости будет опускаться, и вследствие этого возникнет разность уровней h_1 и h_2 жидкостей в коленах U-образной трубки относительно границы раздела АВ.

Определим соотношение между высотами жидкостей в каждом из сосудов над уровнем АВ. Ниже этого уровня в сосудах находится одна и та же жидкость, поэтому давления p_A и p_B в точках А и В, лежащих на одной высоте должны быть одинаковыми. С другой стороны, эти давления равны, исходя из соотношения (1.3)

$$\begin{cases} p_A = \rho_1 \cdot g \cdot h_1 + \rho_0; \\ p_B = \rho \cdot g \cdot h_2 + \rho_0. \end{cases} \quad (1.4)$$

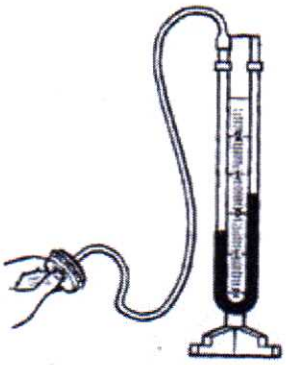
где p_0 — атмосферное давление. Приравнивая p_A и p_B, получим

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho}{\rho_1} \quad (1.5)$$

то есть в сообщающихся сосудах высоты столбов жидкостей над уровнем раздела обратно пропорциональны их плотностям. *При равенстве давлений высота столба жидкости с большей плотностью будет меньше высоты столба жидкости с меньшей плотностью.*

В практике для измерения атмосферного давления используют металлический барометр, называемый анероидом (в переводе с греческого — безжидкостный). Так барометр называют потому, что он не содержит ртути). Для измерения давлений, больших или меньших атмосферного, используют манометры (от греческих слов: м а н о с — редкий, неплотный, м е т р е о — измеряю).

Одним из примеров использования закона сообщающихся сосудов является открытый (жидкостной) манометр, который как раз и состоит из U-образной трубки, заполненной ртутью или другой жидкостью. На одно колено наносится шкала в сантиметрах или миллиметрах, а к другому колену подводится, к примеру, сжатый воздух. Под действием этого воздуха ртуть в одном колене опускается, в другом — поднимается, и возникает разность уровней. Зная разность высот и учитывая удельную плотность ртути, легко найти давление.



Воздух (как и любой газ) так же, как и жидкость, имеет вес, а значит создает давление, что было впервые открыто Э. Торричелли (1608-1647) в 1643 году. В 1644 году им же был изобретен ртутный барометр, с помощью которого и было впервые измерено атмосферное давление, известное теперь как нормальное.

согласно (1.3) давление у поверхности Земли равно высоте Земной атмосферы, умноженной на ускорение свободного падения и на среднюю по высоте плотность воздуха. Это давление уравновешивается столбиком ртути высотой 760 мм (при нормальных условиях) и называется **физической атмосферой, то есть p=** 760 **мм рт. ст. = 1 физ. атм.** В технике до сих пор используется внесистемная единица давления — **техническая атмосфера,** 1 тех. ат. = 1 кГ/см^2 (технические барометры проградуированы как раз в этих единицах). В частности, давление воздуха на уровне моря близко в среднем к одной физической атмосфере.**1 мм рт. ст. = 133,3 Па.**

Стеклянная трубка, опущенная вертикально в чашу со ртутью и проградуированная в миллиметрах ртутного столба может служить прибором для измерения атмосферного давления. Этот прибор и был изобретен Торричелли и носит название **ртутного барометра.** Измерять атмосферное давление можно и столбом воды, только высота соответствующей трубы будет 10.336 м при тех же условиях **(водяной барометр).**

Атмосферное давление, равное давлению столба ртути высотой 760 мм при температуре 0°С, называется нормальным атмосферным давлением.

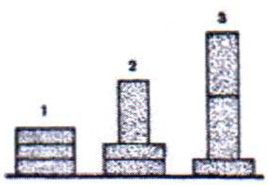
Нормальное атмосферное давление равно 101 300 Па = 1013 гПа.

Поднимаясь вверх от уровня моря, мы заметим, что давление воздуха уменьшается. При небольших изменениях высоты, когда плотность воздуха меняется незначительно, атмосферное давление подчиняется линейному закону $p = p_0 - \rho \cdot g \cdot h$ (1.9) .

Где p_0 — атмосферное давление на уровне моря, с которого обычно начинается отсчет высоты h (по соглашению). На высоте около 5.5 - 6 км давление и плотность воздуха уменьшаются примерно вдвое.

Примеры решения задач.

№1 Одинаковое ли давление производят на стол кирпичи, расположенные так, как показано на рисунке?



Ответ. Давление, производимое кирпичами, во всех трех случаях одинаковое, так как одинаковы и вес кирпичей и площадь опоры.

№2 Розетки прессуют из специальной массы (карбалитовой), действуя на нее силой 37,5 кН. Площадь розетки 0,0075 м^2 . Под каким давлением прессуется розетка?

Запись и решение задач в физике производят так:

Дано:	Решение:
$F = 37{,}5$ кН $= 37{,}5 \cdot 10^3$ Н	По определению $p = \dfrac{F}{S}$;
$S = 0{,}0075$ м^2	$p = \dfrac{37{,}5 \cdot 10^3 \text{Н}}{0{,}0075 \text{ м}^2} = 5000 \cdot 10^3 \text{Па} = 5 \cdot 10^6 \text{ Па} = 5 \text{ МПа}.$
p — ?	

Ответ : p=5МПа.

№3 Токарный станок массой 300 кг опирается на фундамент четырьмя ножками. Определите давление станка на фундамент, если площадь каждой ножки 50 см^2.

Дано:	Решение:
$m = 300$ кг $S_1 = 50$ см^2 = $= 50 \cdot 10^{-4}$ м^2 $n = 4$ $g = 10$ Н/кг	$p = \frac{F}{S}$; $F = P = mg$; $S = 4S_1$; $F = 300$ кг $\cdot 10$ Н/кг = $= 3000$ Н; $S = 4 \cdot 50 \cdot 10^{-4}$ м$^2 = 200 \cdot 10^{-4}$ м^2; $p = \frac{3000 \text{ Н}}{200 \cdot 10^{-4} \text{м}^2} = 15 \cdot 10^4$ Па $= 150$ кПа.
p — ?	

Ответ : p=150кПа.

№**4** Высота столба воды в стакане 8 см. Какое давление на дно стакана оказывает вода? Какое давление оказывала бы ртуть, налитая до того же уровня?

Дано:	Решение:
$h = 8$ см $= 0{,}08$ м $\rho = 1000$ кг/см^3 $\rho = 13{,}6 \cdot 10^3$ кг/м^3 $g = 10$ Н/кг	$p_1 = \rho_1 gh$; $p_2 = \rho_2 gh$; $p_1 = 1000$ кг/м$^3 \cdot 10$ Н/кг $\cdot 0{,}08$ м $= 800$ Па; $p_2 = 13{,}6 \cdot 10^3$ кг/м$^3 \cdot 10$ Н/кг $\cdot 0{,}08$ м = $= 10{,}88 \cdot 10^3$ Па $= 10{,}88$ кПа.
p_1 — ?; p_2 — ?	

Ответ: p_1=800 Па, p_2=10,88 кПа.

№**5** В цилиндрический сосуд налиты ртуть, вода и керосин. Определите общее давление, которое оказывают жидкости на дно сосуда, если объемы всех жидкостей равны, а верхний уровень керосина находится на высоте 12 см от дна сосуда.

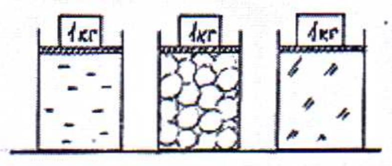
Дано:	Решение:
$h = 12$ см $= 0{,}12$ м $\rho_1 = 13{,}6 \cdot 10^3$ кг/м^3 $\rho_2 = 10^3$ кг/м^3 $\rho_3 = 0{,}8 \cdot 10^3$ кг/м^3 $V_1 = V_2 = V_3$	По условию объемы всех жидкостей равны, следовательно, высота столба каждой из них равна $h/3$. Общее давление на дно сосудов равно сумме давлений жидкостей: $p = \rho_1 gh_1 + \rho_2 gh_2 + \rho_3 gh_3 = \frac{h}{3} g (\rho_1 + \rho_2 + \rho_3) =$ $= \frac{0{,}12 \text{ м}}{3} \cdot 10$ Н/кг $\cdot (13{,}6 + 1{,}0 + 0{,}8) \cdot 10^3$ кг/м^3 = $= 6{,}16 \cdot 10^3$ Па $= 6{,}16$ кПа.
p — ?	

Ответ : p=6,16кПа.

- Экспериментальное изучение закона Паскаля(1 ч)

Проведем следующий опыт для изучения давления на разные виды жидкости(песок, вода).

Если заполнить одинаковые по размерам сосуды: один - жидкостью, другой - сыпучим материалом (например горохом), в третий поставить вплотную к стенкам твердое тело, на поверхность вещества в каждом сосуде положить одинаковые кружочки, например, из дерева /они должны прилегать к стенкам /, а сверху установить одинаковые по массе грузы,



то как изменится давление вещества на дно и стенки в каждом сосуде.

2. Принцип работы гидравлического пресса и золотое правило механики.(1 ч)

Закон Паскаля позволяет объяснить принцип действия гидравлического пресса, который состоит из двух сообщающихся между собой цилиндрических сосудов разного диаметра, снабженных поршнями (рис.4).

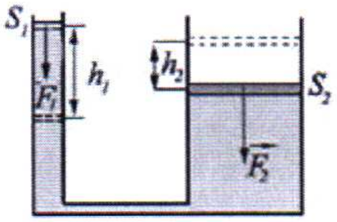


Рис.4.

Пространство под поршнями заполнено жидкостью (обычно маслом). Обозначим площадь малого поршня через S_1, а большого как S_2. Пусть к малому поршню приложена сила. Найдем какую силу F_2 необходимо приложить ко второму поршню, чтобы сохранить равновесие, то есть скомпенсировать усилие, приложенное к первому поршню. Другими словами, жидкость не должна быть вытеснена из первого цилиндра во второй и обратно.

Давление под первым поршнем будет равно $p_1 = \frac{F_1}{S_1}$ (2.1),

а под вторым $F_2 = F_1 \frac{S_2}{S_1}$ (2.2)

то есть сила F_2 во столько раз больше силы F_1 ,во сколько площадь второго поршня больше площади первого. Таким образом, с помощью гидравлического пресса можно малым усилием уравновесить большую силу. Предположим, теперь что первый поршень переместился (например, опустился) на расстояние h_1 (рис.4). Тогда часть жидкости будет вытеснена из первого цилиндра во второй, приподнимая второй поршень на высоту h_2. Если считать жидкость несжимаемой, то на основе равенства объемов вытесненной из первого цилиндра жидкости и поступившей во второй можно записать , то есть $\boldsymbol{h_1 \cdot S_1 = h_2 \cdot S_2}$, то есть $h_2 = h_1 \cdot \frac{S_1}{S_2}$. **(2.3)**

Сравнивая это соотношение с формулой (2.2), видим, что путь, проходимый поршнем с большей площадью, во столько раз меньше пути, проходимого поршнем с меньшей площадью, во сколько раз сила, действующая на больший поршень больше силы, действующей на меньший поршень. Подставляя (2.3) в (2.2), получим, что работа, совершаемая силой F_2 пути h_2 равна работе, совершаемой силой F_1 на пути h_1

$$F_2 \cdot h_2 = F_1 \cdot h_1, \quad (2.4)$$

то есть выполняется закон сохранения энергии. Кроме того, в рассматриваемом случае имеет место полная аналогия с соотношением между путями, проходимыми концами рычага, и силами, к ним приложенными. Другими словами, здесь выполняется золотое **правило механики,** гласящее, что *во сколько раз выигрываем в силе, во столько раз проигрываем в расстоянии.*

<u>Примеры решения задач.</u>

№1 Площадь меньшего поршня гидравлического пресса 10 см^2 . На него действует сила 200 Н. Площадь большего поршня 200 см^2. Какая сила действует на больший поршень?

<u>Дано:</u>	**<u>Решение:</u>**
$S_1 = 10$ см^2	$\frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1} \Rightarrow F_2 = \frac{F_1 \cdot S_2}{S_1};$
$F_1 = 200$ Н	
$S_2 = 200$ см^2	
F_2 — ?	$F_2 = \frac{200\ \text{Н} \cdot 200\ \text{см}^2}{10\ \text{см}^2} = 4000\ \text{Н} = 4\ \text{кН}.$

Ответ: **F_2=4 кН.**

№2 Малый поршень гидравлического пресса под действием силы 500 Н опустился на 15 см. При этом большой поршень поднялся на 5 см. Какая сила действует на большой поршень?

Дано:	Решение:
$F_1 = 500$ Н	$\frac{F_1}{F_2} = \frac{S_1}{S_2}$, но $S_1 = \frac{V_1}{h_1}$; $S_2 = \frac{V_2}{h_2}$;
$h_1 = 15$ см	$\frac{F_1}{F_2} = \frac{V_1/h_1}{V_2/h_2} \Rightarrow \frac{F_1}{F_2} = \frac{h_2}{h_1}$ (так как $V_1 = V_2$);
$h_2 = 5$ см	
F_2 — ?	

$$F_2 = \frac{F_1 \cdot h_1}{h_2}; \quad F_2 = \frac{500\ \text{Н} \cdot 15\ \text{см}}{5\ \text{см}} = 1500\ \text{Н} = 1{,}5\ \text{кН}.$$

Ответ: **F_2=1,5 кН.**

№3 Какой выигрыш в силе можно получить на гидравлических машинах, у которых площади поперечных сечений поршней относятся как: а) 1:10; б) 2:50; в) 1:100; г) 5:60; д) 10:100?

Ответ: а) Выигрыш в 10:1=10 раз; б) выигрыш в 50:2=25 раз; в) выигрыш в 100:1=100 раз; г) выигрыш в 60:5=12 раз; д) выигрыш в 100:10=10 раз.

№4 Выполняется ли закон сообщающихся сосудов на искусственном спутнике Земли?

Ответ. Нет. В условиях невесомости столб жидкости не оказывает давления на дно и стенки сосуда, жидкость находится в состоянии невесомости и может располагаться в сообщающихся сосудах как угодно, занимая такой объем, чтобы площадь свободной поверхности жидкости была минимальной.

Понятие выталкивающей силы (силы Архимеда). Закон Архимеда. Условия справедливости закона Архимеда.(1 ч)

Другим основополагающим законом гидростатики является закон Архимеда, открытый по преданиям греческим ученым и мыслителем Архимедом (ок. 287 — 212 до н. э.). Этот закон гласит: **"На тело, погруженное в жидкость или газ, действует выталкивающая сила, равная весу жидкости (или газа) в объеме погруженной части тела".** Возникновение этой силы легко понять на таком простом примере. Погрузим брусок высотой Lи площадью основания Sв жидкость с плотностью, не равной плотности погружаемого тела ($\rho_ж \neq \rho_{тела}$ (рис.5)).

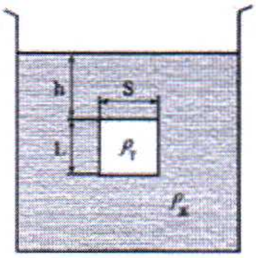


Рис. 5.

На поверхность тела, опущенного жидкость, действуют силы давления, которые увеличиваются с глубиной погружения. Силы, с которыми жидкость действует на боковые грани бруска, попарно равны и уравновешивают друг друга. Сила, действующая со стороны жидкости на нижнюю поверхность бруска, направлена вертикально вверх и равна по величине (как это следует из соотношений (1.1) и (1.2)):

$$F_A = \rho_ж g V_т$$

$$F_H = p_H \cdot S = \rho_ж \cdot g \cdot (h + L) \cdot S. \quad (3.1)$$

Выталкивающая сила, называемая еще **силой Архимеда,** — это алгебраическая сумма всех сил, действующих на поверхность погруженного в жидкость тела, со стороны жидкости (рис.6).

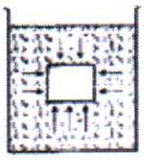


Рис. 6.

В нашем случае результирующая сила равна $F_H - F_B = \rho_ж \cdot g \cdot L \cdot S = M_ж \cdot g, \quad (3.2)$

где

$M_ж = \rho_ж \cdot L \cdot S$ — масса жидкости, вытесненная бруском. Итак, на тело действует сила, направленная вертикально вверх и равная весу вытесненной жидкости. В поле земного тяготения эта сила направлена против силы тяжести самого тела и приложена в центре тяжести вытесненного объема жидкости. Эту точку называют центром давлений, потому что выталкивающая сила есть результирующая всех сил давлений со стороны жидкости на поверхность погруженного в нее тела.

Закон Архимеда справедлив и в случае, когда тело плавает в жидкости или частично опущено в нее через свободную, то есть не соприкасающуюся со стенками сосуда, поверхность жидкости. Закон Архимеда позволяет объяснить, почему одни тела плавают, а другие тонут; почему стальная пластина тонет, а огромные стальные корабли плавают; почему тяжелое тело становится гораздо легче в воде. Во всех этих случаях для объяснения явления достаточно сравнить величины выталкивающей силы и силы тяжести, которые направлены противоположно друг другу.

1) если сила тяжести больше архимедовой силы, то тело будет опускаться на дно, тонуть, т. е. если $\boldsymbol{F > F_A}$,то тело тонет;

2) если сила тяжести равна архимедовой силе, то тело может находиться в равновесии в любом месте жидкости, т. е. если $\boldsymbol{F = F_A}$, то тело плавает внутри жидкости;

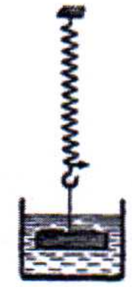
3) если сила тяжести меньше архимедовой с

Если тело плавает в жидкости, то вес вытесненной им жидкости равен весу этого тела в воздухе. Легко доказать, что если плотность сплошного твердого тела больше плотности жидкости, то тело в такой жидкости тонет. Тело с меньшей плотностью всплывает в этой жидкости. Тело же, плотность которого равна плотности жидкости, остается в равновесии внутри жидкости. Кусок железа, например, тонет в воде, но всплывает в ртути. Закон Архимеда применим и к телам, находящимся в воздухе. В этом случае на тело действует выталкивающая сила, равная весу воздуха в объеме тела, что необходимо учитывать при точном взвешивании тел.

Закон Архимеда иногда формулируют и так: *тело, погруженное в жидкость или газ, теряет в своем весе столько, сколько весит вытесненная им жидкость или газ.*

<u>Примеры решения задач.</u>

№1Стальной брусок, вес которого 15,6 Н, погрузили в воду. Определите значение и направление силы натяжения пружины.



Дано:

$P_0 = 15{,}6$ Н

$\rho_в = 1000$ кг/м^3

$\rho_{ст} = 7800$ кг/м^3

$g = 10$ Н/кг

$F_н$ — ?

Решение:

Сделаем чертеж и определим силы, действующие на груз. Так как груз находится в равновесии

$mg = F_A + F_н \Rightarrow F_н = mg - F_A$.

Сила тяжести mg приблизительно равна весу бруска в воздухе P_0, т. е. $P_0 = mg$. По формуле

$F_A = \rho_в g V$, $V = \dfrac{m}{\rho_{ст}}$; $m = \dfrac{P_0}{g}$. Последовательно подставляя, получим

$$F_A = \rho_в \cdot g \cdot \frac{P_0}{\rho_{ст} \cdot g} = \frac{\rho_в}{\rho_{ст}} \cdot P_0 = \frac{1000 \text{ кг/м}^3 \cdot 15{,}6 \text{ Н}}{7800 \text{ кг/м}^3} = 2 \text{ Н};$$

$F_н = P_0 - F_A$; $F_н = 15{,}6 \text{ Н} - 2 \text{ Н} = 13{,}6$ Н.

Ответ: $F_Н = 13{,}6$ Н.

№2 Плот состоит из 12 сухих еловых брусьев. Длина каждого бруса 4 м, ширина 30 см и толщина 25 см. Можно ли на этом плоту переправить через реку автомашину весом 10 кН?

Дано:

$N = 12$; $a = 4$ м

$b = 0{,}3$ м; $c = 0{,}25$ м

$\rho_д = 0{,}6 \cdot 10^3$ кг/м^3

$\rho_в = 1 \cdot 10^3$ кг/м^3

$g = 10$ Н/кг

$P_{авт} = 10$ кН

$F_{под}$ — ?

Решение:

В задаче необходимо найти подъемную силу плота и сравнить с весом автомобиля. Из предыдущей задачи $F_{под} = gNV_1(\rho_в - \rho_д)$, где $V_1 = a \cdot b \cdot c$.

$V_1 = 4 \text{ м} \cdot 0{,}3 \text{ м} \cdot 0{,}25 \text{ м} = 0{,}3 \text{ м}^3$;

$F_{под} = 10 \text{ Н/кг} \cdot 12 \cdot 0{,}3 \text{ м}^3 (1 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3 - 0{,}6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3) = 14{,}4 \cdot 10^3 \text{ Н} = 14{,}4$ кН.

Так как $F_{под} > P_{авт}$, автомашину можно переправить на плоту.

Ответ: $F_{под} = 14{,}4$ кН.

№3 Судно, погруженное в пресную воду до ватерлинии, вытесняет воду объемом 15 000 м^3. Вес судна без груза равен $5 \cdot 10^6$ Н. Чему равен вес груза?

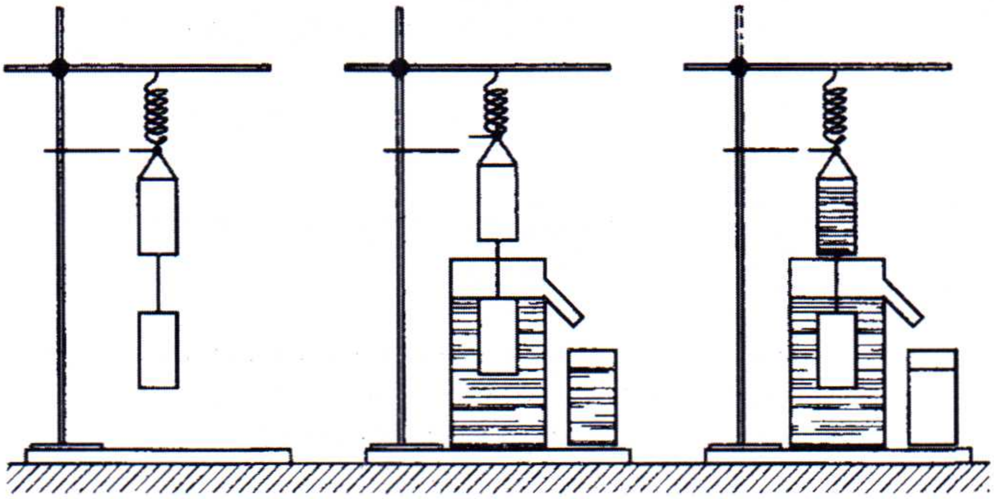
Дано:	**Решение:**
$V = 15\,000$ м^3	Груз, принятый баржей $P = P_о + \Delta P$.
$P_о = 5 \cdot 10^6$ Н	$\Delta P = P - P_о$; $P = F_A = \rho_в g V$; $\Delta P = \rho_в g V - P_о$;
$\rho_в = 1000$ кг/м^3	$\Delta P = 1 \cdot 10^3$ кг/м$^3 \cdot 10$ Н/кг $\cdot 15 \cdot 10^3$ м$^3 - 5 \cdot 10^6$ Н =
$g = 10$ Н/кг	$= 145 \cdot 10^6$ Н.
ΔP — ?	Вес груза, принятого баржей $\Delta P = 145 \cdot 10^6$ Н.

Ответ: $\Delta P = \mathbf{145 \cdot 10^6}$ Н

- Опыт на доказательство закона Архимеда с водой и песком

На рисунке 9.34 изображена схема опыта, подтверждающего закон Архимеда. На пружине подвешены стакан и цилиндр (рис. 9.34, *а*). При погружении цилиндра в сосуд с трубкой для слива вытесняемой воды (рис. 9.34, *б*) он вытесняет воду, а пружина сжимается. Вес вытесненной воды равен архимедовой силе. Проверяется это так: выливают вытесненную воду в подвешенный стакан и замечают, что указатель пружины принимает первоначальное положение (рис. 9.34, *в*).

Благодаря действию выталкивающей силы возможно плавание тел: лодок, кораблей и др. Для этого необходимо, чтобы вес



а) *б*) *в*)

Рис.9.34

4. Основы гидродинамики(3 ч)

Мы познакомились с некоторыми механическими свойствами неподвижных жидкостей. Явления в движущихся жидкостях намного сложнее. Они изучаются в гидродинамике. Раздел механики, изучающий движения жидкостей и газов, а также взаимодействие движущихся жидкостей и газов с твердыми телами, называется гидро- и аэродинамикой.

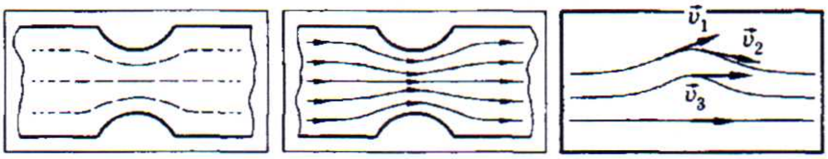
Гидродинамика

Движение воды в реке или по трубам водопроводов, движение огромных масс атмосферного воздуха, крови в кровенос-

Ламинарное и турбулентное течение

Движение жидкости, при котором отдельные слои ее скользят друг относительно друга, не перемешиваясь, называется л а м и н а р н ы м (слоистым) течением. Движение жидкости, сопровождающееся перемешиванием ее различных слоев с образованием завихрений, называется т у р б у л е н т н ы м (вихревым).

Все многообразие движений жидкости можно разделить на эти два вида движения. Ламинарным является течение воды в спокойных реках. Оно наиболее просто и поэтому хорошо изучено. Мы в основном ограничимся рассмотрением ламинарного течения.



а) *б*) *в*)

Рис. 9.35

блесток. Если сфотографировать жидкость с малой выдержкой, то каждая блестка дает на фотографии небольшую черточку, длина которой пропорциональна модулю скорости частиц жидкости, а направление движения указывает на направление их скорости. Полученная таким способом фотография дает наглядную картину распределения скоростей, существующих в данный момент в жидкости.

На рисунке 9.35, *а*, сделанном с фотографии текущей жидкости, видно, что наибольшая скорость наблюдается в самом узком сечении трубы.

При более длительной выдержке черточки на фотографии сливаются в сплошные линии (рис. 9.35, *б*), представляющие собой траектории частиц, которые совпадают с так называемыми л и н и я м и т о к а. Под этим термином понимают *линии, проведенные так, что касательные к ним совпадают по направлению со скоростями частиц жидкости в соответствующих точках пространства* (рис. 9.35, *в*). По картине линий тока можно судить не только о направлении, но и о модуле скорости $\vec{v}$ в разных точках пространства текущей жидкости: там, где скорость больше, линии тока расположены гуще и, наоборот, где скорость меньше, линии тока расположены реже (см. рис. 9.35, *б*).

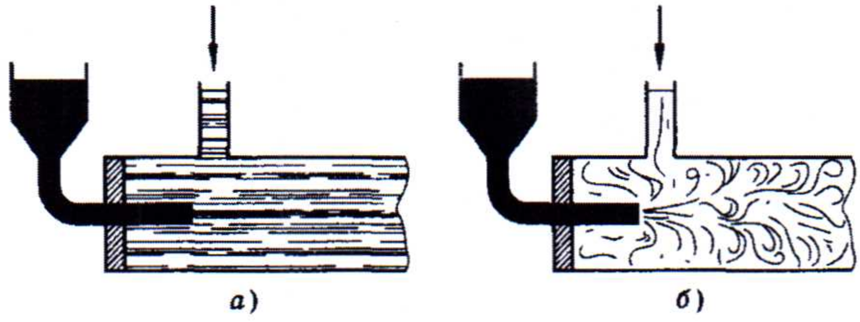


Рис. 9.36

Однако наиболее распространенным является турбулентное движение. Именно с ним чаще всего имеют дело при изучении явлений в атмосфере, в потоках быстрых рек и океанских течениях и т. п. Примерами турбулентного движения могут служить беспорядочное движение дыма из заводских труб, завихрения воды в реках за сваями мостов и за кормой быстроходного катера, движение газов, выбрасываемых из выхлопных труб двигателей внутреннего сгорания и ракетных двигателей, образование смерчей и т. п.

Ламинарное течение переходит в турбулентное, если увеличивается скорость течения. Течение жидкости удобно наблюдать с помощью прибора, изображенного на рисунке 9.36, *а*, *б*. Прибор состоит из широкой стеклянной трубки, соединенной через боковой отросток с водопроводом. В торец трубки через пробку введена тоненькая трубочка, соединенная с сосудом, в который налита подкрашенная жидкость. Пока скорость воды невелика, струйка подкрашенной жидкости спокойно, не распадаясь, движется вместе с водой по трубе. Это ламинарное течение (см. рис. 9.36, *а*).

Постепенно открывая водопроводный кран, мы можем так увеличить скорость движения воды, что возникнет турбулентное течение. Жидкость завихряется, и окрашенная струйка размывается в широкую ленту с неровными краями (рис. 9.36, *б*).

Турбулентное движение в реальных жидкостях очень сложно. До сих пор нет полной теории его, хотя проблемы турбулентности изучаются уже более ста лет.

Наиболее простым является ламинарное (без завихрений) движение жидкостей. Его мы будем изучать в дальнейшем. Турбулентное (вихревое) движение наиболее часто встречается, но слишком сложно для изучения его в школе.

При описании движения жидкости можно поступить так же, как и при рассмотрении движения твердого тела: разбить жидкость на малые элементы и следить за движением каждого такого элемента в пространстве с течением времени. Картина движения элементов жидкости в общем случае очень сложна. Как правило, проследить за движением отдельных элементов жидкости очень трудно. Поэтому обычно используют другой способ описания. Вместо того чтобы следить за движением отдельных элементов жидкости, можно фиксировать скорости различных элементов жидкости в одних и тех же точках пространства.

Стационарное движение жидкости. Трубки тока

Скорости элементов жидкости в различных точках пространства, вообще говоря, различны. Если во всех точках пространства скорости элементов жидкости не меняются со временем, то движение жидкости называется стационарным (установившимся). При стационарном течении любая частица жидкости проходит данную точку с одним и тем же значением скорости $\vec{v}$. В другой какой-либо точке скорость частицы будет иной, но также постоянной во времени.

Картина линий тока при стационарном течении остается неизменной. Линии тока в этом случае совпадают с траекториями частиц.

Объем жидкости, ограниченный линиями тока, называется трубкой тока (рис. 9.37). Скорости элементов жидкости в каждой точке поверхности трубки тока направлены по касательной к этой поверхности. Поэтому частицы при своем движении не пересекают стенок трубки тока. При исследовании течения жидкости вместо реальных труб можно рассматривать трубки тока.

Уравнение неразрывности для несжимаемой жидкости

Разобьем жидкость, текущую по трубе переменного сечения, на отдельные трубки тока, настолько тонкие, что в каждом сечении скорости элементов жидкости можно считать одинаковыми.

Рассмотрим два сечения трубки тока с площадями S_1 и S_2 (рис. 9.38). Обозначим через $\vec{v}_1$ и $\vec{v}_2$ соответствующие скорости течения жидкости.

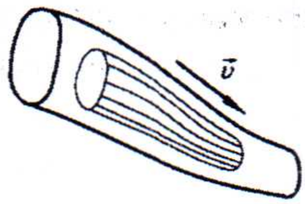


Рис. 9.37

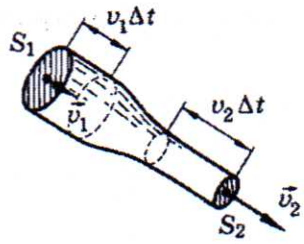


Рис. 9.38

За малое время Δt через первое сечение проходит жидкость, масса которой равна $\rho_1 S_1 v_1 \Delta t$, а через второе — $\rho_2 S_2 v_2 \Delta t$. Здесь ρ_1 и ρ_2 — плотности жидкости в первом и втором сечениях. Для несжимаемой жидкости $\rho_1 = \rho_2$ и объем жидкости, прошедшей через первое сечение, равен объему жидкости, протекающей через второе сечение:

$$S_1 v_1 \Delta t = S_2 v_2 \Delta t, \tag{9.9.1}$$

ведь жидкость не пересекает стенок трубки тока и не может в ней накапливаться вследствие несжимаемости.

Разделив обе части равенства (9.9.1) на Δt, получим:

$$S_1 v_1 = S_2 v_2,$$

или

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{S_2}{S_1}. \tag{9.9.2}$$

Результат можно сформулировать так: *модули скоростей несжимаемой жидкости в двух сечениях трубки тока обратно пропорциональны площадям сечений.* Соотношение (9.9.2) представляет собой **уравнение неразрывности несжимаемой жидкости**. Оно справедливо как для стационарного течения, так и для нестационарного.

Согласно уравнению неразрывности скорость жидкости в узких местах трубки больше, чем в широких.

Наш результат справедлив непосредственно для узких трубок тока. Однако если скорости при переходе от одной трубки тока к другой вдоль одного и того же сечения потока (например, в трубке с твердыми стенками) меняются не очень значительно, то уравнение неразрывности можно приближенно применять и для течения всей жидкости. В этом случае под $\vec{v}_1$ и $\vec{v}_2$ следует понимать средние по сечениям скорости жидкости.

Если при течении жидкости сжимаемостью жидкости можно пренебречь, то справедливо уравнение неразрывности.

Уравнение Бернулли

Зависимость давления идеальной жидкости от скорости ее стационарного течения и перепада высоты была установлена в математической форме Д. Бернулли в 1738 г.

Наиболее просто уравнение Бернулли можно вывести, если применить закон сохранения механической энергии к потоку жидкости. Для движения идеальной жидкости закон сохранения применим, так как в идеальной жидкости нет сил трения[1].

Пусть труба переменного сечения расположена наклонно к горизонту. Выделим некоторый объем жидкости между сечением AB в широкой части трубы и сечением CD в узкой части (рис. 9.41).

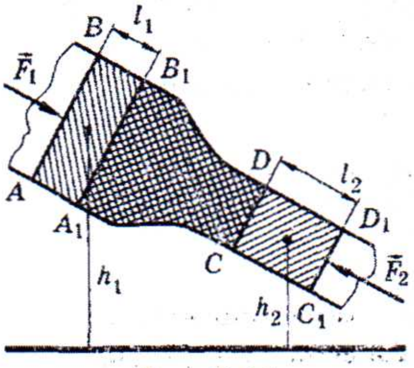


Рис. 9.41

Пусть площадь поперечного сечения, давление и модуль скорости потока в широкой части соответственно равны S_1, p_1, υ_1, а в узкой части — S_2, p_2, υ_2.

Если жидкость течет слева направо, то под действием сил давления $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ и силы тяжести выделенный объем жидкости за малое время Δt сместится вправо и займет часть трубы, ограниченную сечениями A_1B_1 и C_1D_1. Силы давления $\vec{F}_1$ и $\vec{F}_2$ совершат работу

$$A = A_1 + A_2 = F_1 l_1 - F_2 l_2 = p_1 S_1 \upsilon_1 \Delta t - p_2 S_2 \upsilon_2 \Delta t.$$

Существенно, что при стационарном течении жидкости энергия объема жидкости, заключенного между сечениями A_1B_1 и CD (изображен на рисунке 9.41 двойной штриховкой), остается неизменной. Все происходит так, как если бы жидкость, занимавшая объем ABB_1A_1, переместилась бы и заняла объем CDD_1C_1. Поэтому достаточно учесть лишь изменение энергии элемента жидкости, переходящей из области ABB_1A_1 в область CDD_1C_1. Работа внешних сил давления согласно закону сохранения энергии равна изменению энергии этого элемента. Его объем ΔV не изменяется вследствие несжимаемости жидкости.

Изменение энергии этого элемента жидкости равно:

$$\Delta E = \Delta E_k + \Delta E_p = \frac{1}{2}\rho\Delta V(v_2^2 - v_1^2) + \rho g(S_2l_2h_2 - S_1l_1h_1).$$

Учитывая, что $\Delta E = A$, получим:

$$\frac{1}{2}\rho\Delta V(v_2^2 - v_1^2) + \rho g(\Delta V h_2 - \Delta V h_1) = p_1S_1v_1\Delta t - p_2S_2v_2\Delta t.$$

Так как $S_1v_1\Delta t = S_2v_2\Delta t = \Delta V$, то после сокращения на ΔV находим:

$$\frac{1}{2}\rho v_2^2 - \frac{1}{2}\rho v_1^2 + \rho g h_2 - \rho g h_1 = p_1 - p_2.$$

Откуда

$$\boxed{p_1 + \rho g h_1 + \frac{\rho v_1^2}{2} = p_2 + \rho g h_2 + \frac{\rho v_2^2}{2}.} \qquad (9.11.1)$$

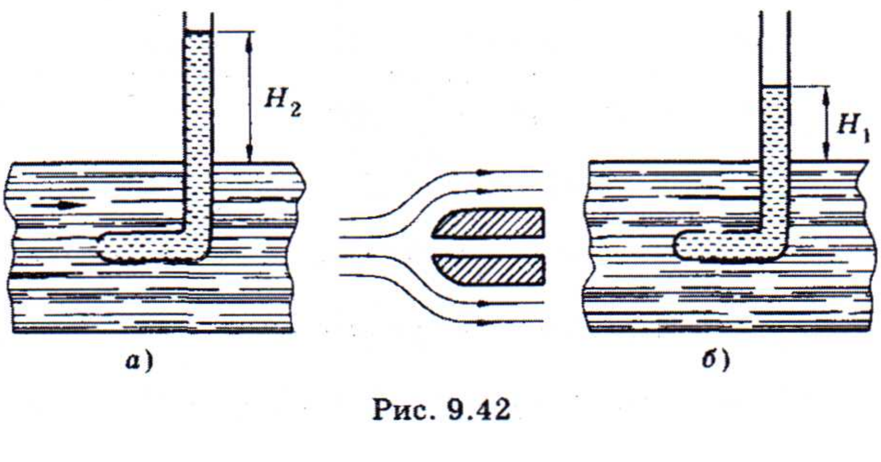


Рис. 9.42

перед отверстием (см. рис. 9.42, *а*, справа). Применим уравнение Бернулли (9.11.2). Подставляя $\upsilon_2 = 0$, получим:

$$p_2 = p_1 + \frac{1}{2}\rho\upsilon_1^2. \qquad (9.12.1)$$

Давление p_1 измеряется с помощью манометрической трубки, помещенной в поток жидкости так, как показано на рисунке 9.42, *б* (у нее плоскость отверстия расположена параллельно линиям тока). Течение жидкости вдоль боков трубки остается практически таким же, как и без трубки. Это означает, что показание манометра будет совпадать с показанием манометра, который движется вместе с жидкостью.

Манометр, обращенный отверстием к потоку, измерит большее давление, чем манометр с отверстием, параллельным линиям тока. Избыток давления $\frac{1}{2}\rho\upsilon_1^2$ получается потому, что частицы жидкости тормозятся перед манометром, вследствие этого давление повышается. Создается «динамический напор». Измерив давления p_2 и p_1, можно, пользуясь формулой (9.12.1), определить скорость потока υ_1.

Пусть поток жидкости возникает, например, вследствие движения в воде подводной лодки. Тогда, применив рассмотренный выше способ, можно измерить скорость лодки. Согласно формуле (9.12.1) она равна:

$$\upsilon = \sqrt{\frac{2}{\rho}(p_2 - p_1)}. \qquad (9.12.2)$$

Уравнение Бернулли справедливо и для газов, если скорость течения достаточно мала, так как в этом случае можно пренебречь их сжимаемостью. Формула (9.12.2) может быть использована в этом случае для определения скорости самолета.

Скорость истечения жидкостей из отверстия в сосуде

С помощью уравнения Бернулли можно найти скорость истечения идеальной жидкости из отверстия, расположенного в сосуде на глубине h относительно поверхности жидкости. Если сосуд широкий, а отверстие мало, то скорости жидкости в сосуде малы. Ко всему потоку жидкости в целом можно применить уравнение Бернулли. В верхнем сечении (рис. 9.43) у поверхности жидкости давление p_0 равно атмосферному, а скорость $\upsilon_0 \approx 0$. В нижнем сечении трубки — в отверстии давление также равно атмосферному. Если скорость в отверстии обозначить через υ, то из выражения (9.11.1) для этих двух сечений получим:

$$\frac{1}{2}\rho\upsilon^2 + p_0 = \rho g h + p_0,$$

или

$$v = \sqrt{2gh}\,, \tag{9.12.3}$$

где h — высота жидкости в сосуде над отверстием.

Истечение происходит с той же скоростью, какую имело бы тело при свободном падении с высоты h. Этот результат вытекает и из закона сохранения механической энергии, так как жидкость идеальная (без вязкости).

Опыты, объясняемые уравнением Бернулли

1) Опыт с картонным кружком и катушкой. Положите на стол небольшой картонный кружок, в центр которого вставлена булавка или небольшой гвоздик. Приблизьте к кружку катушку от ниток так, чтобы булавка входила в отверстие (для направляющего действия), и начните сильно дуть через верхнее отверстие катушки (рис. 9.44). Вы увидите, что

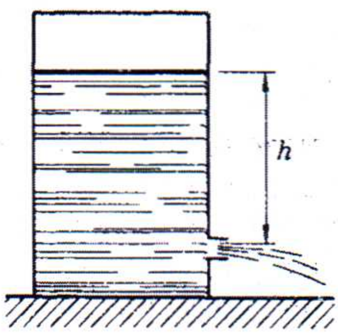


Рис. 9.43

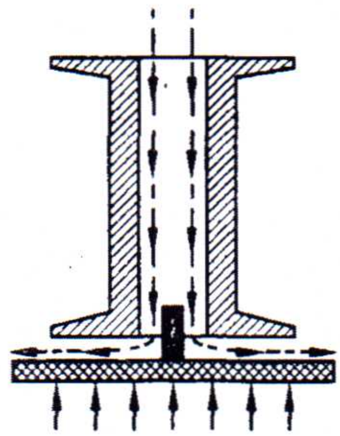


Рис. 9.44

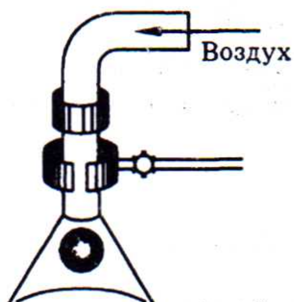


Рис. 9.45

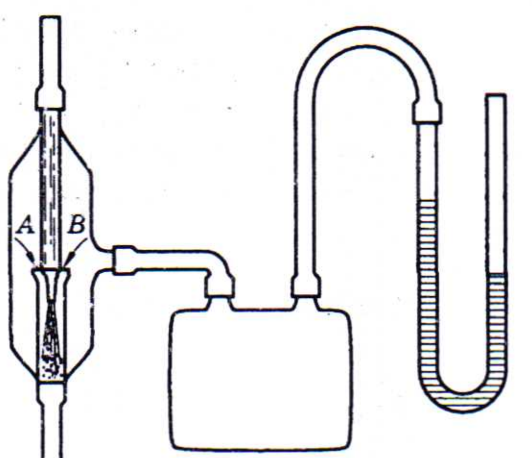


Рис. 9.46

кружок протянется к катушке. В узком промежутке между катушкой и кружком скорость воздушной струи может достичь такого значения, при котором давление внутри струи на кружок станет меньше атмосферного. В результате кружок картона прижмется к катушке. Потом он отскочит под напором воздуха и вновь прижмется к катушке, т. е. будет вибрировать.

2) Опыт с двумя листами бумаги. Расположите два листа бумаги параллельно друг другу и подуйте между ними. Вы заметите резкое сближение листов — они как бы слипаются. Объяснение аналогично объяснению предыдущего опыта.

3) Опыт с воронкой и легким шариком. Легкий целлулоидный шарик кладут на руку и вводят его снизу в воронку, приближая шарик к входной трубке. Затем сильно продувают воздух через трубку (рис. 9.45) и наблюдают, что шарик поднимается внутрь конуса воронки, где создается пониженное давление. Слегка вибрируя, шарик удерживается там.

Использование уравнения Бернулли в технике

Зависимость давления в жидкости и газе от их скорости лежит в основе принципа действия многих устройств и приборов. На рисунке 9.46 изображена схема устройства водоструйного насоса. Струя воды подается в трубку A, имеющую на одном конце сужение. По сужению вода течет с большей скоростью. Из-за этого давление в струе в этом месте оказывается меньше атмосферного, воздух из сосуда всасывается в струю через трубку B и удаляется вместе с водой.

Изучение формы струи

В данной работе исследуется истечение ньютоновской жидкости (воды), струйное течение сыпучих материалов (песок), а так же течение нанопорошка. Для экспериментальной работы используются следующая установка (Рис. №3):

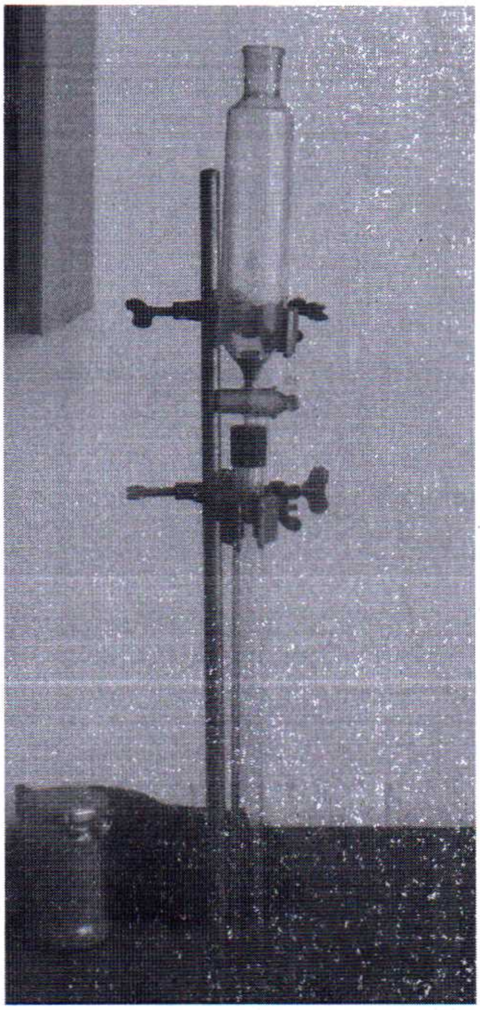


Рис. №3 Лабораторная установка

- лабораторный штатив
- 3 муфт
- 3 лапки
- стеклянная прозрачная трубка длинною 1 метр и диаметром 4 сантиметра;
- сосуд для исследуемых веществ с регулятором потока, высотой порядка 18 сантиметров и диаметром отверстия для истечения 1,5 сантиметра;
- колба, объёмом 250 миллилитров.
- стеклянная воронка

Лабораторный штатив ставился на стол, и на него закреплялась стеклянная трубка, так что бы ее нижняя часть могла быть опущена в колбу, стоящую на полу. Диаметр колбы 6 см. Чтобы исследуемое вещество полностью оставалось в колбе разность между диаметрами закрывалось скрученным листом бумаги и закреплялось на трубке 2 скрепками.

Трубка выравнивалась по уровню, для идеального течения жидкости по ней. Сверху трубы закреплялся резервуар и выравнивался с помощью уровня так, что бы исследуемое вещество истекало строго по центру трубы.

Для фиксирования течения воды, песка и нанопорошка использовалась фотокамера olympus с 5 кратным увеличением и камерой 14 мегапикселей. Выдержка данного фотоаппарата составляет 0,0005 с

Цель работы:

Исследования течения песка, воды и нанопорошка.

Задачи работы:

- Провести эксперимент с ньютоновской жидкостью (водой) и сыпучими веществами (песок и нанопорошок).
- Зафиксировать данные по полученным результатам фотокамерой и обработать фотографии на компьютере
- сделать вывод из полученных данных путём анализа фотографий и делать соответствующие предположения по данной тематике.

2. Струйное течение ньютоновской жидкости.

Анализ экспериментальных данных

Проведен эксперимент по изучению истечения ньютоновской жидкости (воды) и в ходе данного эксперимента получены следующие данные:

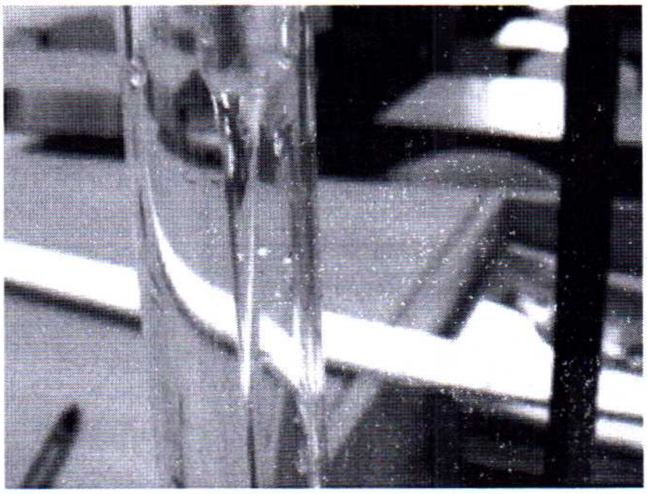


Рис. №4 Область ламинарного течения

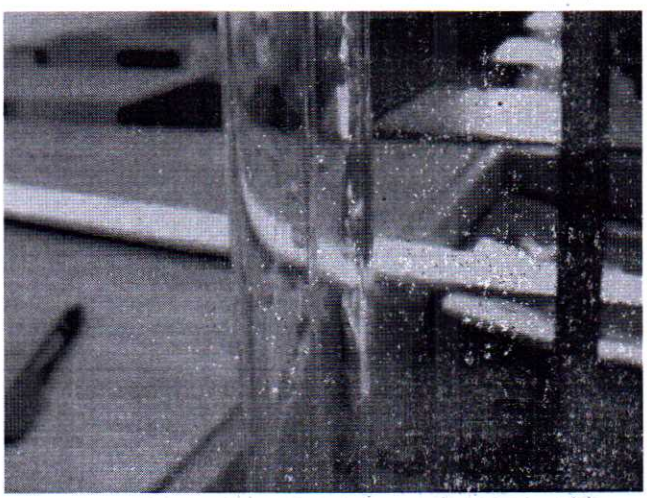


Рис. № 5 Переходный слой

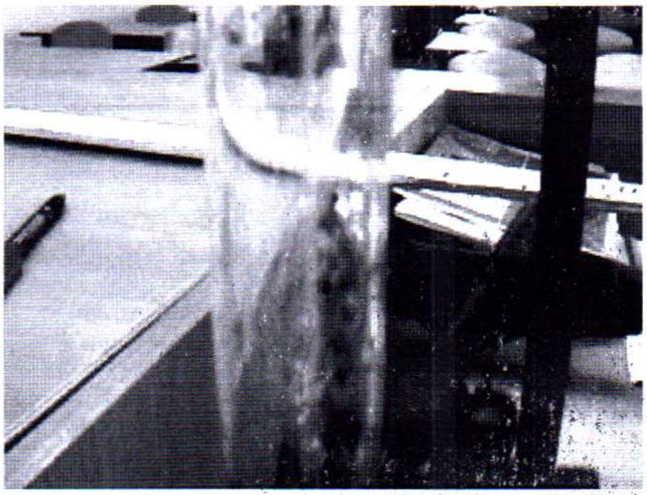


Рис. № 6 Область турбулентного течения

Были выявлены 3 области течения струи воды:

- Ламинарное течение Рис.№4
- Переходный слой Рис. №5
- Область турбулентного течения Рис. № 6

Как видно на Рис. № 4 при удалении от отверстия истечения диаметр струи начинает уменьшаться.

На Рис. №5 изображен переходный слой, когда диаметр струи до некоторой точке сужается, но после нее начинает увеличиваться пограничный слой и в нем возникает турбулентность.

На Рис. № 7 видна отчетливо турбулентность жидкости.

Для обоснования полученных результатов, найдем теоретическим путем уравнения, описывающее форму и поведения ламинарного течения. Описание теории турбулентности струи очень сложна и до конца не изучена и поэтому данную теорию мы рассматривать не будем.

Поиск формы струи и распределение скоростей в ней.

В работе [7] указано, что имеется отверстие радиуса a (рис. №7) , из которой вытекает струя идеальной жидкости (υ=0), не подверженная возмущениям. Течение под влиянием сил тяжести ускоряется, скорость увеличивается и поэтому сечение сужается.

$v_0 S_0 = v(z) S(z);$

$S(z) = S_0 \frac{v_0}{v(z)}$

$v(z) > v_0, S(z) < S_0$

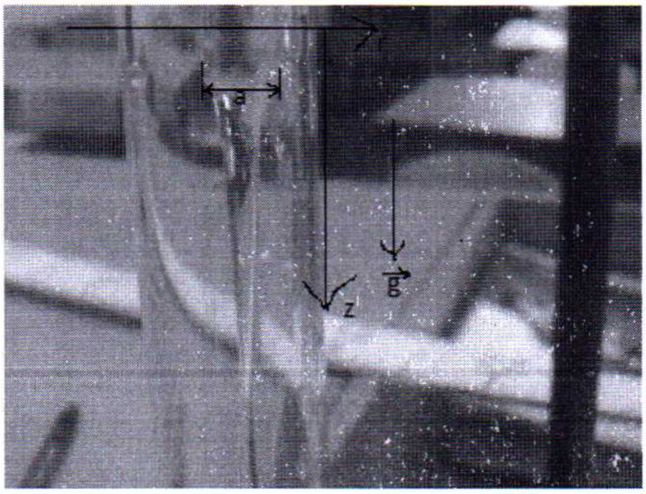


Рис. №7 Область ламинарного течения

Требуется найти форму струи и распределение скоростей в ней.