**Гидравлика. Уравнение Бернулли. Давление жидкости**

Гидравлика — это наука о законах движения и равновесия жидкостей, а также о способах приложения этих законов к решению инженерных задач.

В космической отрасли гидравлика играет важную роль, ведь жидкости используются не только на Земле, но и в космосе. Как и для чего они нужны, вы узнаете на этом уроке.

Начнем с простого и уже знакомого. С расчета столба жидкости.

**Задание 1.** 12 апреля 1961 года Юрий Алексеевич Гагарин стал первым космонавтом Земли. В космос он отправился на космическом корабле «Восток», который вывела на орбиту одноименная ракета.

В зале «Утро космической эры» найдите макет ракеты-носителя «Восток» и рассчитайте значение давления жидкого топлива на дно каждой ступени ракеты. Для упрощения представим, что топливо в каждой ступени хранится в одном баке, а его плотность — это средняя плотность двух компонентов топлива: горючего (керосина) и окислителя (жидкого кислорода).

Высота первой ступени $h\_{1}$ = 19,8м, второй - $h\_{2}=28,75м$, $h\_{3}=10м.$

Плотности компонентов топлива $ρ\_{г}=850$ кг/м3, $ρ\_{о} $= 1140 кг/м3.

Формула расчета давления:

$p$ = $ρ$gh.

|  |
| --- |
| Место для расчетовСначала посчитаем среднюю плотность:ρ = (ρг + ρо)/2 = (850+1140)/2 = 995 кг/м3р1 = ρ\*g\*h1 = 995\*9,81\*19,8 = 193,3 кПар2 = ρ\*g\*h2 = 995\*9,81\*28,75 = 280,6 кПар3 = ρ\*g\*h3 = 995\*9,81\*10 = 97,6 кПа |

Ответ: р1 =193,3 кПа, р2 = 280,6 кПа, р3 = 97,6 кПа

Но наша ракета находится в покое, то есть она стоит на стартовом столе. А что будет с топливом в баке второй ступени, когда ракета начнет испытывать перегрузки? К ускорению свободного падения добавится еще несколько g. Сами баки могут выдержать довольно большое давление, но, какое именно, разработчикам ракет важно знать еще на Земле.

**Задание 2.** Максимальная перегрузка ракеты-носителя равна 4g. Найдите значение давления топлива на дно бака третьей ступени при старте ракеты при максимальном значении перегрузки.

|  |
| --- |
| Место для расчетовр3 = ρ\*4g\*h3 = 995\*4\*9,81\*10 = 390,4 кПа |

Ответ: р3 = 390,4 кПа

С помощью формулы вы рассчитали так называемое весовое давление жидкости в покое и с перегрузками, то есть давление, которое оказывает столб жидкости на поверхность из-за своего веса.

Но жидкости могут создавать и другое давление — динамическое.

Динамическое давление — это давление, которое создает жидкость, протекая в определенном направлении. Другими словами, если из шланга течет вода и вы пробуете закрыть пальцем отверстие в шланге, то вы чувствуете как раз динамическое давление.

Чтобы понять, что такое динамическое давление и как его рассчитывать, рассмотрим рис. 1.



Рис. 1

Жидкость поступает в трубу переменного диаметра через сечение 1-1 со скоростью $V\_{1}$ и перетекает в сечение 2-2, где выходит из трубы со скоростью $V\_{2}$. Применим к движению жидкости теорему кинетической энергии и определим, что приращение кинетической энергии равняется сумме работ всех сил, действующих на систему.

$Е\_{2}$ - $Е\_{1}$ = А

Изменение кинетической энергии выведем из формулы кинетической энергии:

$Е\_{2}$ = $\frac{mV^{2}}{2}$.

Тогда формула изменения энергии примет такой вид:

$Е\_{2}$ - $Е\_{1}$ = $\frac{mV\_{2}^{2}}{2}$ - $\frac{mV\_{1}^{2}}{2}$.

Теперь разберемся с работой всех сил, действующих на систему:

A = ΔpV,

где $Δ$p — это изменение давления жидкости, а V — объем жидкости. Исходя из этого получаем:

$\frac{mV\_{2}^{2}}{2}$ - $\frac{mV\_{1}^{2}}{2}$ = ΔpV.

Теперь представим объем как отношение массы и плотности (из формулы m = $\frac{V}{ρ}$ получается, что V = $\frac{m}{ρ}$ ).

$\frac{mV\_{2}^{2}}{2}$ - $\frac{mV\_{1}^{2}}{2}$ = Δp$\frac{m}{ρ}$

Отсюда находим формулу изменение давления:

Δp = $\frac{ρV^{2}}{2}$.

То есть динамическое давление равно:

$p\_{дин}$ = $\frac{ρV^{2}}{2}$.

**Задание 3.** В зале «Космический дом на орбите» найдите витрину, посвященную изучению растений в космосе. Среди экспонатов найдите экспериментальную кювету «Оазис», которая предназначена для изучения процесса переноса жидкости в сыпучих субстратах. В этой оранжерее есть специальная система полива. Посчитайте скорость потока жидкости в трубе, если по трубе течет обычная вода, а давление на выходе из системы равно 2 Па.

|  |
| --- |
| Место для расчетовВоспользуемся формулой $p\_{дин}$ = $\frac{ρV^{2}}{2}$ , отсюдаV = √(2pдин)/ρ = √(2\*2)/997 = 0,063 м2 |

Ответ: V = 0,063 м2

Но как учитывать все виды давления в потоке жидкости? Представим, что по трубе течет вода. Чему равна ее полная энергия? Ведь она тратится и на работу сил динамического давления, весового и общего, которое уже находится в системе. Другими словами, какой напор мы получим в результате?

Чтобы ответить на этот вопрос, надо использовать одно из самых важных уравнений в гидродинамике. Уравнение Бернулли.

 Это уравнение отражает зависимость между характеристиками плавно меняющегося жидкого потока. Основано это уравнение на законе сохранения энергии, то есть в любой части трубы с переменным диаметром полная энергия потока не меняется, и в сечении 1-1, и в сечении 2-2 она будет одинакова, $Е\_{2}$ = $Е\_{1}$ (см. рис.1).

Выглядит это уравнение так:

$p\_{1}$ + ρg$h\_{1}$ + $\frac{ρV\_{1}^{2}}{2}$ = $p\_{2}$ + ρg$h\_{2}$ + $\frac{ρV\_{2}^{2}}{2}$ ,

где p — это давление, ρgh — давление столба жидкости, то есть весовое, $\frac{ρV^{2}}{2}$ — динамическое давление.

В классическом виде эта формула выглядит несколько иначе. Обе ее части делят на $ρ$g и таким образом получают:

$h\_{1}$ + $\frac{p\_{1}}{ρg}$ + $\frac{V\_{1}^{2}}{2g}$ = $h\_{2}$ + $\frac{p\_{2}}{ρg}$ + $\frac{V\_{2}^{2}}{2g}$.

**Задание 4.** В зале «Космический дом на орбите» найдите витрину со скафандром «Орлан». В таком скафандре космонавты выходят в открытый космос. Чтобы космонавту внутри скафандра не было жарко, он использует специальный костюм водяного охлаждения (КВО). Этот костюм пронизан маленькими трубочками с водой, которая забирает тепло от человека и переносит его в теплообменник. Все эти трубочки в конце объединяются в одну большую трубку, которую вы можете видеть в открытом ранце скафандра.

Представим, что все маленькие трубочки — это одна общая трубка, у которой диаметр больше, чем у трубки, которая идет к теплообменнику.

Используя уравнение Бернулли, найдите суммарную скорость потока на выходе из трубы 2-2 (рис.2), если известно, что она в два раза меньше, чем скорость на входе 1-1. Плотность воды принять за 1000 кг/$м^{3}$, начальное давление - за 60 Па, давление на выходе - 300 Па.



Рис.2

|  |
| --- |
| Место для расчетовИсходя из условий задачи, высоты h1 и h2 равны, а искомая V2 = V1/2.Тогда уравнение Бернулли примет вид: $\frac{p\_{1}}{ρg}$ + $\frac{4V\_{2}^{2}}{2g}$ = $\frac{p\_{2}}{ρg}$ + $\frac{V\_{2}^{2}}{2g}$, найдем V2:V2 = √(2/ρ\*3)\*(p2 – p1) = √(2\*1000/3)\*(300 – 60) = 0,4 м/с |

Ответ: V2 = 0,4 м/с

**Задание 5.** Теперь, когда с различными видами давления мы ознакомились, надо закрепить полученные знания.

Напишите над каждой картинкой, какое там показано давление: весовое, динамическое или статическое (рис. 3).

 

Рис.3

**Задание 6.** Теперь разберемся с понятием расхода жидкости.

В космических кораблях и станциях используется большое число различных трубопроводов. Представьте себе трубу, как на рис.2.

Расход жидкости - это количество жидкости, которое протекает через поперечное сечение трубы в единицу времени. Обозначается расход буквой Q и вычисляется так:

Q = VS,

где V — это скорость потока, а S — площадь поперечного сечения трубы в конкретном месте.

Через трубу переменного диаметра течет жидкость с определенной скоростью. Площадь поперечного сечения трубы разная, но расход жидкости в двух сечениях (1-1 и 2-2) одинаковый, то есть $Q\_{1}$ = $V\_{1}S\_{1}$ , $Q\_{1}$ = $V\_{2}S\_{2}$.

С другой стороны,

$Q\_{1}$ = $Q\_{2}$ , то есть

$V\_{1}S\_{1}$ = $V\_{2}S\_{2}$ или

$\frac{V\_{1}}{V\_{2}}$ = $\frac{S\_{2}}{S\_{1}}$.

То есть скорости в поперечных сечениях потока при неразрывности движения обратно пропорциональны площадям этих сечений.

В зале «Космический дом на орбите» найдите витрину, посвященную питанию космонавтов. В витрине представлен экспонат — система водообеспечения «Колос-5Д». С помощью такого устройства космонавты, находясь в космическом корабле «Союз», могут попить. Достаточно лишь создать избыточное давление с помощью ручного насоса и открыть клапан на подающем устройстве.

Диаметр узкой белой трубки — 7 мм, диаметр отверстия в подающем устройстве — 3 мм. Найдите скорость, с которой в систему подается вода, если на выходе скорость потока 0,1 м/с.

|  |
| --- |
| Место для расчетовВоспользуемся формулой $\frac{V\_{1}}{V\_{2}}$ = $\frac{S\_{2}}{S\_{1}}$.С учетом формулы для нахождения площади поперечного сечения трубкиS = π\*d2/4 найдем скорость:V1 =(S2\*V2)/ S1 = $d\_{2}^{2}$ \* V2/$d\_{1}^{2}$ =(3\*10-3)2\*0.1/(7\*10-3)2 = 0,018 м/с |

Ответ: V1 = 0,018 м/с