

# **П о т о к и**

## 2. Потoki жидкостей и газов

Многие экскаваторы, некоторые подъемные краны и многие другие машины приводятся в движение гидравлическим способом. Это значит, что некоторая жидкость гонится насосом по трубам и шлангам в разные места, где и совершает различные перемещения.

Кроме того, существуют машины и приборы, приводимые в движение пневматически как, например, пневматический отбойный молоток. Пневматические устройства действуют подобно гидравлическим только в них в качестве энергоносителя используется сжатый воздух.

В данной главе мы рассмотрим как в упомянутых устройствах используются потоки жидкостей и газов. При этом мы откроем некоторые простые законы. Их стоит запомнить, т.к. они пригодны не только для потоков жидкости и газов. Они применимы, если их немного видоизменить, также для совсем других потоков: для электрического тока, потоков тепла и для так называемых потоков импульса.

### 2.1. Давление

Если открыть водопроводный кран, то вода сильной струей начнет вытекать из него (рис. 2.1). Это происходит потому, что вода в трубе имеет большое давление. При открывании клапана надутой покрышки велосипеда или автомобиля воздух с шипением вырывается наружу. Причиной этому является высокое давление воздуха в покрышке.

Давление является физической величиной подобно весу, длине и энергии. Единицей измерения давления служит бар. Прибор для измерения давления называется манометром (рис. 2.2). В таблице 2.1 приведены типичные значения для величин давления.



Таблица 2.1. Характерные величины давления в единицах бар.

Водопровод	5
Покрышка автомобиля	4
Водяной пар в котле электростанции	150
Гидравлическая жидкость в экскаваторе	150
В самом глубоком месте океана	1000
В заполненном кислородном баллоне	150
В баллоне, заполненном пропаном	8
Для получения искусственных алмазов графит подвергается давлению в среднем	15 000
Внутри Солнца	221 000 000 000

Кроме бара для давления используется еще одна единица измерения - паскаль, или сокращенно Па. Для них справедливо следующее соотношение:

$$1 \text{ бар} = 100\,000 \text{ Па.}$$

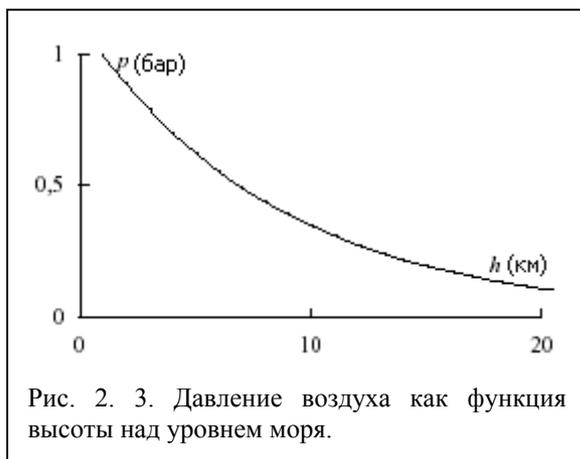
Бар удобнее и чаще используется, чем паскаль. Однако для физиков более мелкая единица паскаль имеет свои преимущества: в этом случае связь давления с другими физическими величинами является более простой. Позднее ты это лучше поймешь.

### 2.2. Давление воздуха, избыточное давление, вакуум

Окружающий нас воздух имеет давление приблизительно 1 бар. Это давление обычно называют нормальным давлением. Давление воздуха или атмосферное давление возникает из-за того, что верхние слои воздуха своим весом давят на более низкие слои воздуха.

Поэтому давление воздуха уменьшается при подъеме вверх, причем сначала достаточно быстро, а потом медленно.





На рис. 2.3 приводится зависимость давления воздуха от высоты над уровнем моря. Высоко в горах на высоте 4000 м давление воздуха составляет около 0,6 бара.

Давление воздуха не является постоянным и меняется со временем. Его величина зависит от состояния погоды. Прибор, с помощью которого измеряется давление окружающего воздуха, называется барометром.

Мы не ощущаем давления воздуха потому, что он давит на наше тело со всех сторон. Даже внутри тела, например, в легких или внутри уха, воздух имеет такое же давление как и снаружи. Многие манометры показывают не абсолютное давление, т.е. действительное давление, а так называемое избыточное давление. Такой манометр при измерении давления, например, внутри камеры автомобильного колеса, показывает разность давлений воздуха внутри камеры и окружающего воздуха.

В некотором сосуде давление воздуха может быть ниже, чем наружное давление. Тогда говорят, что в сосуде пониженное давление или разреженное состояние. Если в сосуде нет больше воздуха и не содержатся другие вещества, то давление в нем составляет 0 бар. Такой свободный от вещества объем называется вакуумом.

### Задачи

1. Если у тебя дома есть барометр, то в течение семи дней утром и вечером посмотри его показания. Нарисуй график изменения давления со временем.
2. Автомобилист контролирует давление воздуха в запасном колесе. Манометр показывает избыточное давление равное 0 бар. Как велико действительное значения давления внутри запасного колеса?

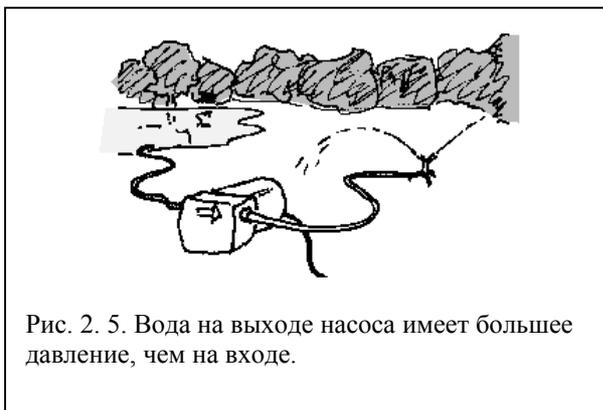


### 2.3. Разность давлений как причина для потока газа или жидкости

Если открыть вентиль надутого автомобильного колеса, то воздух начнет выходить наружу. Он выходит из камеры, в которой давление выше, в окружающее пространство, где давление ниже. Если открыть пакетик с орехами в “вакуумной упаковке”, то раздастся шипение. При этом воздух будет быстро заполнять пакетик с орехами, т.к. внутри него давление ниже, чем снаружи. В обоих случаях воздух течет от места с более высоким давлением к месту с более низким давлением. Оденем на водопроводный кран длинный и тонкий шланг, а потом откроем кран. Ясно, что вода потечет наружу. Вода в водопроводе имеет высокое давление. В конце шланга давление воды низкое, а именно нормальное. Поэтому и вода течет от места с высоким давлением к месту с низким давлением. Это справедливо и для других газов и жидкостей.

Жидкости и газы сами по себе текут от мест с высоким давлением к местам с низким давлением. Разность давлений является причиной для возникновения потоков жидкостей и газов.

Пусть надутое автомобильное колесо соединено шлангом с не надутым колесом. Вначале слышно как воздух перетекает по шлангу, а через некоторое время этот звук пропадает. Отсоединим шланг и измерим давление в обоих колесах. В результате оказывается, что давление в обоих колесах одинаковое. В надутом колесе, у которого до того давление было больше, давление уменьшилось, а во втором увеличилось. Что же произошло? Воздух из колеса с более высоким давлением перетекал в колесо с



с низким давлением до тех пор, пока не исчезла разность давлений, т.е. причина потока. Конечное состояние, в котором воздух уже не течет, хотя соединение все еще сохраняется, называется состоянием равновесия давления.

Обрати внимание на то, что количество воздуха в конечном состоянии в обоих колесах неодинаковое: в большем колесе находится больше воздуха.

Здесь ясно видно, что причиной потока воздуха является не давление само по себе, а разность давлений: при равновесии давления воздух больше не течет, хотя давление может быть очень высоким.

#### Задача

Давление воздуха в большом колесе равно 1 бару, а в маленьком - 4 бара. Оба колеса соединяются шлангом так, что воздух может перетекать из одного колеса в другое.

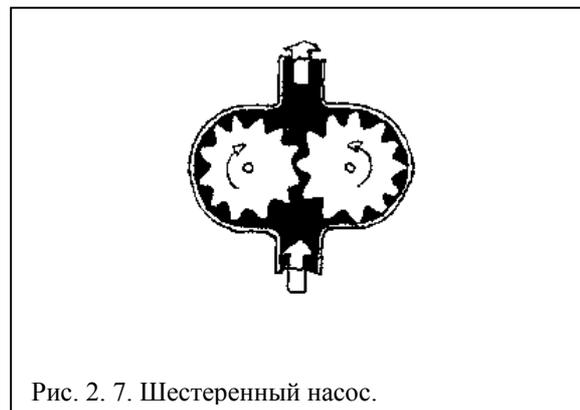
а) Что произойдет?

б) Будет установившееся давление ближе к 1 бару или к 4 барам?

в) В каком колесе в конечном состоянии будет больше воздуха?

## 2.4. Насосы

Часто бывает необходимость доставлять жидкость или газ из места с низким давлением в место с высоким давлением. Этого добиваются с помощью насоса. На выходе водяного насоса на рис. 2.5 вода имеет более высокое давление, чем на входе.



Существуют различные виды насосов. На рис. 2.6 показан центробежный насос. Поступающая вода попадает в межлопастное пространство колеса с лопастями. Так как колесо вращается, то вода захватывается колесом и тоже вращается. При этом она отбрасывается от центра вращения наружу (как пассажиры в автомобиле, когда он едет по искривленной дороге) и выталкивается через выходное отверстие. Центробежный насос используется, например, чтобы накачать воду в стиральную машину. Способ действия шестеренного насоса представлен на рис. 2.7. Эти насосы пригодны для создания очень высоких разностей давления. Наиболее изощренная конструкция такого насоса используется в качестве гидравлического насоса в экскаваторах. Насосы, которые приводят газ в состояние с высоким давлением, называются компрессорами.

Насосы доставляют газы и жидкости из мест с низким давлением в места с высоким давлением.

## 2.5. Сила тока

Предположим, что необходимо сравнить два потока воды. В этом случае возникают вопросы: какой из потоков шире или какой из потоков течет быстрее. Часто, однако, интересуются не только шириной и скоростью потока, но силой тока его. Сила тока некоторого потока воды равна количеству воды, протекающего за некоторое время через некоторое место, деленное на время протекания:

$$\text{Сила тока воды} = \frac{\text{количество воды}}{\text{время протекания}}$$



Рис. 2. 8. Сила тока в любом месте реки одна и та же по величине.

Количество воды можно измерять в литрах или килограммах. Тогда единицами силы тока воды будут соответственно л/с или кг/с. Через водопад на Рейне вблизи Карлсруэ ежесекундно протекает 1 500 000 литров воды. Поэтому сила тока воды в Рейне составляет 1 500 000 л/с.

В предыдущей главе мы уже познакомились с потоком энергии. Она показывает сколько джоулей в секунду протекает через определенное место.

Очень легко силу тока некоторого потока можно заменить его скоростью. Река на рис. 2.8 во всех местах имеет одну и ту же силу тока. Скорость же потока в узких местах больше, чем в широких.

На рис. 2.9 по трубе А слева течет к месту соединения труб поток воды силой 1 л/с. От места соединения труб по трубе В течет 0.5 л/с, а по трубе С соответственно 0.2 л/с. Спрашивается какова сила тока воды в трубе D и в каком направлении она течет? Если в месте соединения труб вода не исчезает и не впрыскивается извне, то общее количество воды, притекающее к месту соединения труб в единицу времени, должно совпадать с тем количеством воды, которое растекается от места соединения труб тоже в единицу времени. Поэтому, чтобы в нашем случае был соблюден баланс воды, от места соединения труб по трубе D должно протекать 0.3 л/с:

по направлению к месту соединения труб течет  
1 л/с,  
а от места соединения труб отток составляет  
 $0.5 \text{ л/с} + 0.2 \text{ л/с} + 0.3 \text{ л/с} = 1 \text{ л/с}$ .

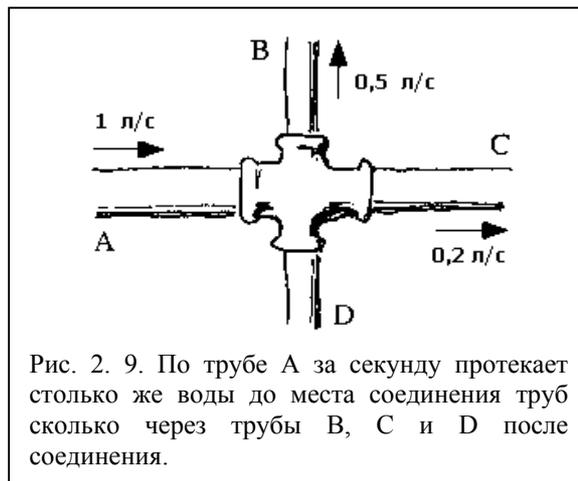


Рис. 2. 9. По трубе А за секунду протекает столько же воды до места соединения труб сколько через трубы В, С и D после соединения.

Место, в котором встречается несколько потоков, называется узлом. Для вычисления силы тока воды в трубе D необходимо воспользоваться правилом узла:

**полная сила тока одна и та же для притекающих к узлу потоков и вытекающих из него потоков.**

#### Задачи

1. Ванна для купания емкостью 120 л заполняется за 20 мин. Какова сила тока воды, наливаемой в ванну?
2. В одной водопроводной трубе сила тока равна 2 л/с, в другой - 3 л/с. Можно ли на основании этих данных сказать в какой трубе вода течет быстрее? Обоснуй свой ответ.
3. Три речки с потоками силой  $5 \text{ м}^3/\text{с}$ ,  $2 \text{ м}^3/\text{с}$ ,  $3 \text{ м}^3/\text{с}$  в некотором месте сливаются в одну реку. Какой будет сила тока воды после соединения потоков вместе?

## 2.6. Сила тока и причина ее возникновения

Ты открутил водопроводный кран до упора, но воды из него вытекает не так много как обычно. Почему это возможно? Очевидно это связано с давлением в водопроводе. Разница в 1 бар между давлением в водопроводе и окружающим давлением, т.е. нормальным давлением, является причиной для вытекания воды из крана. Чем выше давление в водопроводе, тем выше указанная разница давлений и тем самым больше сила тока. Пусть пластиковый пакет заполняется воздухом из накачанной автомобильной шины (рис. 2.10). Один опыт сделаем с шиной,

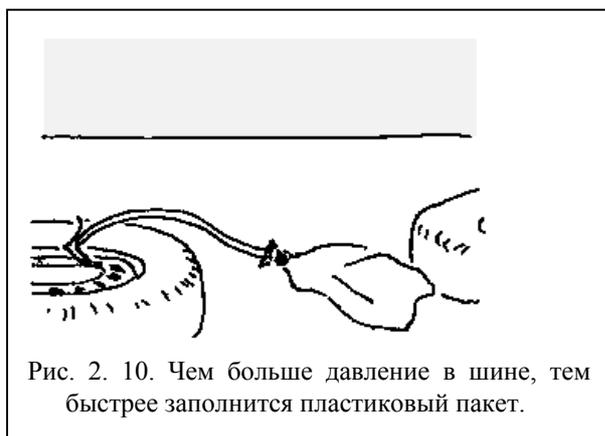


Рис. 2. 10. Чем больше давление в шине, тем быстрее заполнится пластиковый пакет.

имеющей избыточное давление 2 бара, а другой для избыточного давления 0.5 бара. При этом устанавливаем, что в первом случае пакет заполняется быстрее, чем во втором случае. И в данном случае большая разница давлений приводит к большей силе тока.

Чем больше отличие (разность) давлений в двух местах, тем сильнее поток, текущий из одного места в другое.

### Задачи

По трубе, изображенной на рис. 2.11, течет вода.

а) Сила тока воды на левом конце трубы равна 10 л/с. Чему равна сила тока воды на правом конце трубы. Обоснуй свой ответ.

в) Разность давлений между левым концом трубы и местом сужения трубы составляет 2 бара. Будет ли разность давлений между правым концом трубы и местом ее сужения больше или меньше 2 бар. Ответ обоснуй.

## 2.7. Сила тока и сопротивление

Присоединим к водопроводному крану, из которого вода обычно вытекает сильной струей, садовый шланг длиной 50 м. Если теперь кран полностью открыть, то выходящая из шланга струя воды будет намного слабее. Сила тока воды при наличии шланга оказывается меньше, чем у крана без шланга (рис. 2.12). В чем причина? В обоих случаях вода в кран подается с одинаковым напором.



Рис. 2. 12. Шланг оказывает сопротивление для потока воды.

Очевидно уменьшение силы тока воды связано со шлангом: он препятствует потоку воды или оказывает ему сопротивление.

Сделаем еще эксперимент с автомобильной шиной и пластиковым пакетом. Дважды заполним пакет воздухом из шины. Первый раз для их соединения используем насколько возможно короткий шланг, а во второй раз очень длинный, но в обоих случаях шланги берем одной и той же толщины. В первом опыте пакет заполнится быстрее, чем во втором, т.к. сила тока воздуха в первом случае больше, чем во втором. Длинный шланг оказывает воздуху большее сопротивление, чем короткий. Говорят, что длинный шланг "имеет" большее сопротивление.

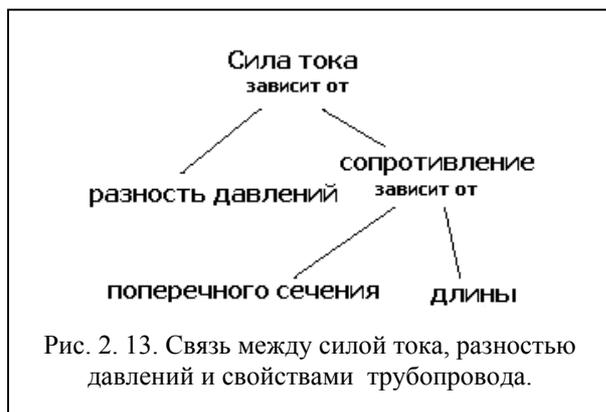
Мы можем также сравнить сопротивление двух одинаковой длины шлангов или трубок, имеющих разную толщину, и при этом установить, что сопротивление тем меньше, чем больше поперечное сечение шланга или трубки.

**Каждый трубопровод оказывает сопротивление потокам газов или жидкостей, протекающих через него. Сопротивление это тем больше, чем меньше поперечное сечение трубопровода и чем больше длина трубопровода.**

Таким образом сила некоторого потока зависит не только от напора, но и от воздействия трубопровода, по которому он течет.



Рис. 2. 11. Будет ли разность давлений между сужением трубы и ее правым концом больше или меньше 2



**Сила тока потока газа или жидкости в некотором трубопроводе тем больше, чем**

- больше разность давлений на концах трубопровода;
- меньше сопротивление трубопровода.

Связь между силой тока, разностью давлений и сопротивлением, а также между сопротивлением, длиной и поперечным сечением трубопровода приводится еще раз на рис. 2.13.

На рис. 2.14 показан длинный водопровод, у которого на равных расстояниях размещены манометры. Мы должны попытаться понять почему манометры показывают именно такие значения давления. Из того, что манометры слева показывают большее давление, чем справа, следует, что вода течет слева направо, т.е. от места с большим давлением к месту с меньшим давлением. Уже второй манометр должен показывать меньшее давление, т.к. напору воды надо преодолеть первый отрезок трубопровода. То же самое имеет место для второго отрезка, для третьего и т.д. Мы также замечаем, что в тонкой трубке трубопровода разность давлений между соседними манометрами одна и та же и равна 0.6 бар.

Разность давлений между соседними манометрами для толстой трубке также одинакова и равна 0.2 бара. Ясно, что



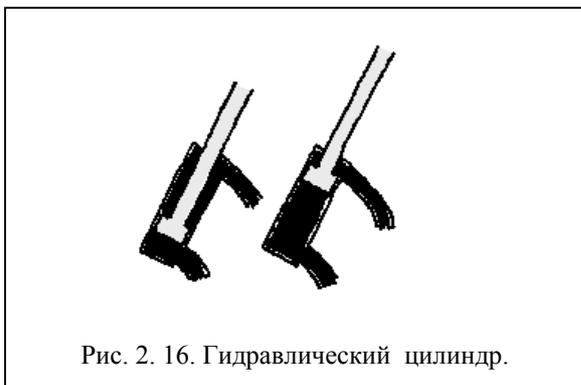
разность давлений между соседними манометрами для толстой и тонкой трубок не должны быть одинаковыми. Действительно, чтобы одно и то же количество воды протолкнуть через узкую трубку, необходима большая разность давлений, чем для проталкивания воды через широкую трубку.

## 2.8. Гидравлический преобразователь энергии

Экскаватор - это машина, которая может выполнять много различных действий. Он может перемещаться, поворачивать свою верхнюю часть, поднимать и сгибать стрелу, а также опрокидывать ковш, находящийся на конце стрелы (рис. 2.15). Все эти виды деятельности возможны благодаря системе циркуляции гидравлического потока.

Дизельный мотор приводит в движение насос. Насос в свою очередь проталкивает гидравлическое масло по трубам и шлангам к определенным местам, где что-то должно приводиться в движение. По второму трубопроводу масло стекает назад к насосу.

Там, где что-то должно поворачиваться (колеса экскаватора или его верхняя часть), находится гидравлический мотор с гидравлическим цилиндром, в котором поршень движется туда и обратно и это движение используется для совершения



каких-то действий (рис. 2.16).

На рис. 2.17 показан фрагмент гидравлической системы экскаватора: насос и один из гидравлических моторов. Заметим, что гидравлическое масло течет по замкнутому контуру. Во входном по отношению к мотору трубопроводе масло находится под высоким давлением, а в отводящем трубопроводе оно имеет низкое давление.

Рассмотрим еще данный процесс с энергетической точки зрения. Энергия передается насосу дизельным мотором с помощью носителя импульс вращения. В насосе энергия меняет носитель: она загружается в гидравлическое масло. С гидравлическим маслом по трубопроводу высокого давления энергия поступает в гидравлический мотор и там опять перегружается в энергоноситель импульс вращения. После отдачи энергии масло возвращается назад в насос. На рис. 2.18 показана схема потока в этом цикле.

