

Вакуум — это газовая среда, имеющая давление ниже атмосферного.

Для измерения давления применяют манометры и вакуумметры.

В основу принципа действия многих гидравлических машин положены законы гидростатики. Одним из наиболее широко применяемых в технике является закон Паскаля. Например, гидравлические прессы и гидравлические домкраты представляют собой конструкции из сообщающихся сосудов, в которых установлены поршни. Сила, приложенная к одному поршню, через гидростатическое давление передается другому поршню, причем в пропорциональной зависимости от их площадей.

Глава 7

ОСНОВЫ ГИДРОДИНАМИКИ

7.1. Виды движения жидкостей

Гидродинамика рассматривает законы движения жидкостей. Параметры, характеризующие движение, — скорость и давление — изменяются в потоке жидкости, в пространстве и во времени. Основная задача гидродинамики состоит в исследовании этих параметров в потоке жидкости.

Установившимся называют такое движение жидкости, при котором скорость потока и давление в любой его точке не изменяются с течением времени и зависят только от ее положения в потоке, т. е. являются функциями ее координат. Примерами установившегося движения может служить истечение жидкости из отверстия резервуара при постоянном напоре, а также поток воды в канале при неизменном его сечении и постоянной глубине.

Неустановившимся называют такое движение жидкости, при котором скорость движения и давление в каждой данной точке изменяются с течением времени, т. е. являются функциями не только координат, но и времени. Примером неустановившегося движения служит истечение жидкости из отверстия резервуара при переменном напоре. В этом случае в каждой точке сечения струи, вытекающей из отверстия, скорость движения и давление изменяются во времени.

Если в нескольких точках потока, взятых на определенном расстоянии друг от друга, провести векторы, показывающие значение и направление скоростей движения частиц жидкости в данный момент времени, то образуется ломаная линия. Если уменьшить длину отрезков, в пределе ломаная линия станет кривой. Эта кривая, называемая *линией тока*, характеризуется тем, что в данный момент времени во всех ее точках векторы скоростей будут касательными к ней.

Если в движущейся жидкости выделить бесконечно малый замкнутый контур и через все его точки провести линии тока, соответствующие данному моменту времени, получится как бы трубчатая непроницаемая поверхность, называемая трубкой тока. Жидкость, движущаяся внутри трубки тока, образует *элементарную струйку*.

Совокупность элементарных струек, представляющая собой непрерывную массу частиц, движущихся по какому-либо направлению, образует *поток жидкости*. Поток может быть полностью или частично ограничен твердыми стенками, например в трубопроводе или канале, и может быть свободным, например струя, выходящая из сопла гидромонитора.

7.2. Равномерное и неравномерное движение

Живым сечением потока называют поперечное сечение потока, перпендикулярное его направлению.

Расходом потока Q называют объем жидкости, проходящей в единицу времени через живое сечение потока. Расход жидкости измеряют в м³/с или л/с. Иногда пользуются понятием *весового расхода G* , под которым подразумевают вес жидкости, проходящей в единицу времени через сечение потока. Между весовым и объемным расходами существует такая зависимость:

$$G = \gamma Q,$$

где γ — удельный вес жидкости.

Равномерным называют такое установившееся движение жидкости, при котором живые сечения и средняя скорость потока не меняются по его длине. Примером равномерного движения служит движение жидкости в цилиндрической трубе или канале неизменного сечения и постоянной глубины.

Неравномерным называют такое установившееся движение жидкости, при котором живые сечения и средние скорости потока изменяются по его длине. Примером неравномерного движения служит движение жидкости в конической трубе, в естественном русле, на перепаде.

При равномерном движении линии тока представляют собой систему прямых параллельных линий. Такое движение называется *параллельноструйным*. При движении жидкости в естественных руслах живое сечение обычно непрерывно изменяется вдоль потока как по форме, так и по площади. Такое движение жидкости является установившимся неравномерным. Для облегчения изучения такого движения в гидравлике введено понятие *плавно изменяющегося движения*, которое характеризуется следующими свойствами:

- кривизна линий тока в потоке считается весьма незначительной;

- угол расхождения между отдельными линиями тока очень мал;
- живые сечения потока являются плоскими;
- давление распределяется по живому сечению по гидростатическому закону.

7.3. Режимы движения жидкостей

В 1880 г. Д. И. Менделеевым было высказано предположение о существовании двух отличающихся друг от друга режимов течения. В 1883 г. О. Рейнольдс экспериментально изучил эти режимы. Опыты показали, что при невысоких скоростях наблюдается *ламинарное (слоистое) течение* без перемешивания частиц и пульсаций скорости. При этом при течении отсутствует поперечное перемещение жидкости, ее частицы перемещаются почти по параллельным траекториям. При постоянном перепаде давления течение стационарно (не зависит от времени).

При значительных скоростях наблюдается течение, в котором частицы жидкости перемещаются по достаточно сложным траекториям. Скорости движения меняются по величине и направлению, поэтому в потоке возникают вихри. Слои жидкости перемешиваются, а отдельные частицы совершают неупорядоченное хаотическое движение по сложным траекториям. Такое течение называется *турбулентным*. Если в турбулентном потоке пустить по течению капелюшку красителя, то окрашивается все сечение потока.

О. Рейнольдсом было установлено, что ламинарный режим течения происходит при малых скоростях течения, поперечных размерах потока, плотностях и больших коэффициентах шероховатости. Турбулентные режимы течения характеризуются большой скоростью, большим поперечным размером и малой вязкостью текущей среды. Рейнольдсом было введено число, названное впоследствии *числом Рейнольдса (Re)*. Оно пропорционально отношению силы инерции к вязкости. В ходе испытаний было установлено, что в трубах круглого сечения напорных трубопроводов переход ламинарного течения в турбулентное происходит приблизительно при значении $Re = 2300$. При числах Re , меньших 2300, течение обычно бывает ламинарным, а при числах Re , больших 2300, — турбулентным. Критическое число Рейнольдса зависит от формы поперечного сечения канала. Для безнапорного течения в открытом русле $Re = 900$.

Примером турбулентного течения может служить процесс вытекания газообразных продуктов сгорания из трубы котельной или печной трубы.

Пример ламинарного течения — это истечение воды из крана умывальника, если открыть очень малую струйку воды. Большинство течений, окружающих нас в природе, турбулентные. Ламинарные течения встречаются только в очень узких каналах, какими являют-

ся капилляры кровеносных сосудов человека, или при течении жидкостей с большой вязкостью (например, мазута) в трубопроводах.

Ньютон в 1686 г. сформулировал закон вычисления касательной силы трения, действующей на единицу площади жидкости или стенки твердого тела, находящегося в жидкости, который был экспериментально доказан в 1883 г. профессором Н. П. Петровым. С его помощью можно определить, при каком значении коэффициента вязкости произойдет переход ламинарного течения в турбулентное.

Для воды коэффициент вязкости в системе СИ при температуре $20\text{ }^\circ\text{C}$ равен $10^{-6}\text{ м}^2/\text{с}$.

В протяженных трубопроводах становятся существенными потери напора за счет трения жидкости о стенку трубы, приводящие к превращению части механической энергии в теплоту. Эта часть потерь напора называется потерями напора по длине трубы. К потерям напора приводят также повороты, резкие сужения, расширения и другие изменения геометрии трубы, способствующие вихреобразованию. Эти препятствия потоку называются местными сопротивлениями. Значения коэффициентов местного сопротивления приведены в справочной литературе.

7.4. Истечение жидкости из отверстий через водосливы. Гидравлический удар в трубопроводах

Истечение жидкости из отверстий. Струя, вытекающая из отверстия, преодолевает местные сопротивления. При вытекании струи через отверстие, имеющееся в вертикальной стенке емкости, на некотором расстоянии от него происходит сжатие ее поперечного сечения. По характеру сжатия бывает полным, если струя сжата по всему периметру отверстия, и неполным, если струя не имеет бокового сжатия с одной или нескольких сторон, например если отверстие примыкает к стенке или ко дну сосуда, которые при этом являются направляющими для вытекающей струи.

Полное сжатие будет совершенным, если отверстие расположено на значительном расстоянии от боковых стенок и дна сосуда (они не оказывают влияния на сжатие струи), и несовершенным, если на него оказывают влияние стенки или дно сосуда.

Насадком называют короткую трубу, присоединенную к отверстию в тонкой стенке. Длина насадка равна трем — пяти диаметрам отверстия. По форме насадок может быть внешним цилиндрическим, внутренним цилиндрическим, коническим сходящимся, коническим расходящимся и коноидальным.

Водосливом называют сооружение (стенку), через которое происходит перелив жидкости. По форме выреза в стенке водосливы бывают прямоугольными, трапецеидальными, треугольными, круглыми, параболическими и т. д.

По условиям бокового сжатия потока различают водосливы без бокового сжатия, когда ширина русла равна ширине водослива, и водосливы с боковым сжатием — ширина русла больше ширины водослива. При проектировании водослива рассчитывают объемный расход жидкости, через водослив, который определяется как объем жидкости, истекающей из прямоугольного отверстия.

Гидравлический удар в трубопроводах. Называя жидкость несжимаемой или капельной, имеют в виду малую ее сжимаемость по сравнению с газами. При изменении давления на 0,1 МПа объем жидкости изменяется всего на сотые доли процента. Есть, однако, процессы, при которых и эти изменения объема существенны и ими нельзя пренебрегать. К их числу относится большая группа динамических процессов, связанных с распространением волн давления в трубопроводах, в частности явление гидравлического удара.

В напорном трубопроводе при внезапном изменении скорости движения жидкости, мгновенной остановке или появлении движения возникает гидравлический удар, сопровождающийся резким повышением и понижением давления. Например, при мгновенной остановке движения жидкости, когда кинетическая энергия переходит в работу сил давления, т.е. жидкость оказывается сжатой, в трубопроводе возникает удар непосредственно у крана. Ударная волна распространяется по жидкости с постепенным затуханием колебаний.

Возникающее добавочное давление внутри трубопровода может привести к разрыву стыковых соединений, арматуры, стенки трубопровода. Если трубопровод перекрыт с обеих сторон, то наблюдается постепенное затухание ударной волны. При наличии свободной поверхности (бака) волна затухает сразу.

На явлении гидравлического удара основано действие некоторых механизмов, например гидравлического тарана, поднимающего воду в горных местностях.

Глава 8

ВОДОСНАБЖЕНИЕ ПОСЕЛЕНИЙ

8.1. Источники водоснабжения

Водоснабжение населенных пунктов осуществляют из подземных и поверхностных источников. Подземные воды могут быть безнапорными и напорными (артезианскими).

Безнапорные воды заполняют водоносные горизонты не полностью и имеют свободную поверхность. Водоносные горизонты, расположенные непосредственно у поверхности земли или в уровне соседних водоемов, называют грунтовыми. Они характеризуются

повышенной загрязненностью и должны очищаться при использовании их для целей водоснабжения.

Напорные воды заполняют водоносные горизонты полностью. Примером может служить вода в водоносном горизонте, расположенном ниже близлежащих водоемов или их питающих. Артезианские воды, как правило, характеризуются высоким качеством и в большинстве случаев могут использоваться для хозяйственно-питьевых целей без очистки.

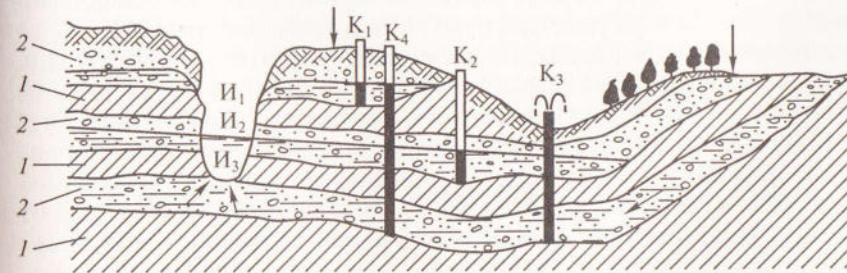
В колодце, вскрываемом напорный водоносный горизонт, вода поднимается до пьезометрической линии, т.е. уровня поверхности воды близлежащего водоема (рис. 8.1). Если пьезометрическая линия проходит выше поверхности земли, то наблюдается излив воды из колодца. Такие колодцы называют *самоизливающимися (артезианскими)*.

Уровень воды, устанавливающийся в колодце при отсутствии водозабора, называют *статическим*. Статический уровень безнапорных вод совпадает с уровнем подземных вод, а напорных вод — с пьезометрической линией. При откачке воды из колодца уровень ее снижается тем больше, чем интенсивнее откачка. Такой уровень называют *динамическим*.

Уровни воды и пьезометрические линии, устанавливающиеся вокруг колодцев при откачке из них воды (в поперечном разрезе они имеют выпуклую форму), называют *кривыми депрессии*. Область, ограниченную кривыми депрессии, называют *депрессионной воронкой*.

Безнапорные и напорные воды могут выходить на дневную поверхность (родники). Выход безнапорных вод называют *нисходящим ключом*, а выход напорных вод — *восходящим ключом*. Ключевая вода отличается высоким качеством и также может использоваться для целей водоснабжения без очистки.

К поверхностным источникам водоснабжения относятся реки, водохранилища и озера. Для промышленных целей может использоваться и морская вода. При отсутствии в приморских районах пресной воды морская вода после опреснения может использо-



• Рис. 8.1. Схема образования и залегания подземных вод:

1 — водоупорные породы; 2 — водоносные породы; K₁... K₄ — колодцы; И₁... И₃ — источники (родники)