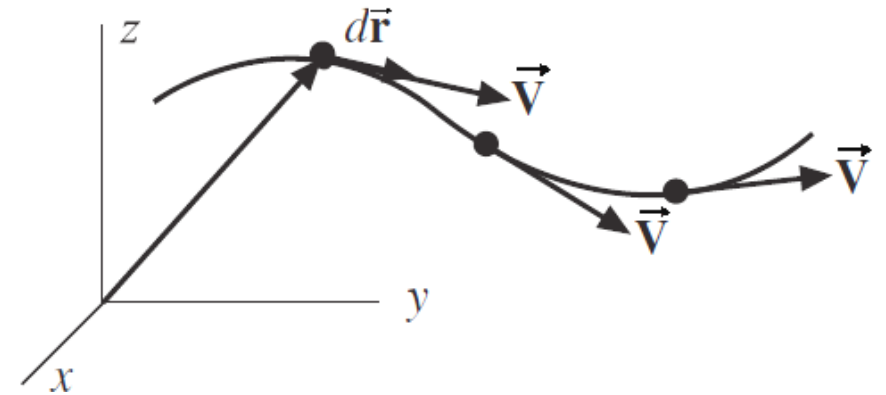


ЛЕКЦИЯ №6

Движение жидкостей и газов

Движение жидкостей и газов

- Движение жидкостей называется *течением*. Совокупность частиц движущейся жидкости – *поток*. Графически движение жидкостей изображается с помощью *линий тока*, которые проводятся так, что касательные к ним совпадают по направлению с вектором скорости жидкости в соответствующих точках пространства.
- Линии тока проводятся так, чтобы густота их, характеризуемая отношением числа линий к площади перпендикулярной им площадки, через которую они проходят, была больше там, где больше скорость течения жидкости, и меньше там, где жидкость течет медленнее. По картине линий тока можно судить о направлении и модуле скорости в разных точках пространства, т. е. можно определить состояние движения жидкости.



Линии тока в жидкости можно «проявить», например, подмешав в нее какие-нибудь заметные взвешенные частицы.

Движение жидкостей и газов

- *Элементарной струйкой* называется струйка, боковая поверхность которой образована линиями тока, проходящими через точки очень малого (в пределе – бесконечно малого) замкнутого контура. Струйка оказывается изолированной от окружающей ее массы жидкости и имеет малую площадь поперечного сечения ΔS (в пределе – dS), которая может меняться по длине. Длина этой струйки не ограничена. Боковая поверхность струйки непроницаема для жидкости, т. е. ее можно представить в виде *трубки*, внутри которой течет жидкость.
- Часть жидкости, ограниченную линиями тока, называют *трубкой тока*. Течение жидкости называется *установившимся* (или *стационарным*), если форма и расположение линий тока, а также значения скоростей в каждой ее точке со временем не изменяются.
- *Установившееся движение* жидкости – такое движение, при котором все характеристики движения являются постоянными и не меняются во времени. В гидравлике вводятся некоторые идеальные схемы и модели, заменяющие реальный поток жидкости. Принято считать струйчатую такую структуру течения жидкости, в соответствии с которой поток представляется как совокупность элементарных струек, вплотную прилегающих друг к другу и образующих сплошную массу движущейся жидкости.

Движение жидкостей и газов

- Пусть в некотором поперечном сечении элементарной струйки скорость равна v . За время dt частицы жидкости переместятся на расстояние:

$$dl = v dt$$

- Следующие за ними частицы жидкости заполнят все освобождаемое пространство, и поэтому за указанное время dt через поперечное сечение пройдет объем жидкости:

$$dV = dl \cdot dS = v \cdot dS \cdot dt$$

- Объем жидкости, протекающей через сечение за единицу времени, называют *объемным расходом* жидкости. Обозначив расход элементарной струйки через dQ , получим для него выражение:

$$dQ = v \cdot dS$$

- Так как поток жидкости представляют состоящим из элементарных струек, то расход потока жидкости равен алгебраической сумме расходов элементарных струек, составляющих данный поток.

Движение жидкостей и газов

- При достаточно большом количестве элементарных струек в потоке жидкости от алгебраической суммы переходят к интегралу:

$$Q = \int dQ = \int_S v dS$$

- Скорость жидкости в различных точках поперечного сечения потока, или так называемая местная скорость, очевидно, может быть неодинаковой, поэтому для характеристики движения всего потока вводится *средняя* по всему сечению скорость потока. *Средняя скорость* определяется выражением:

$$v_{\text{ср}} = \frac{\int_S v dS}{S} = \frac{Q}{S}$$

- из которого следует, что расход потока жидкости равен средней скорости, умноженной на площадь его поперечного сечения:

$$Q = v_{\text{ср}} \cdot S$$

Движение жидкостей и газов

- Рассмотрим какую-либо трубку тока. Выберем два ее сечения S_1 и S_2 , перпендикулярные направлению скорости. За время Δt через сечение S проходит объем жидкости $vS\Delta t$, т. е. За 1с через S_1 пройдет объем жидкости v_1S_1 , где v_1 – скорость течения жидкости в месте сечения S_1 . Через сечение S_2 за 1 с пройдет объем жидкости v_2S_2 , где v_2 – скорость течения жидкости в месте сечения S_2 . Положим, что скорость течения жидкости в сечении постоянна (или равна v_{cp}). Тогда для несжимаемой жидкости будет выполняться *закон постоянства расходов*:

$$v_1 \cdot S_1 = v_2 \cdot S_2 = const$$

- Следовательно, произведение скорости течения несжимаемой жидкости на поперечное сечение трубки тока есть величина постоянная для данной трубки тока.
- Очевидна связь между массовым и объемным расходом:

$$Q_m = \rho \cdot Q$$

Движение жидкостей и газов

- *Живым сечением* потока называют часть поперечного сечения канала (трубы), заполненную жидкостью. Так, в круглой трубе диаметром d живое сечение потока меньше площади круга, если не все сечение трубы заполнено жидкостью. Тогда как для случая, когда все поперечное сечение занято жидкостью, живым сечением потока является площадь круга.
- *Смоченным периметром* называют ту часть периметра живого сечения потока, по которой жидкость соприкасается со стенками канала (трубы).
- Смоченный периметр обозначают обычно греческой буквой χ . Если, например, все сечение трубы занято жидкостью (живое сечение $S = \frac{\pi d^2}{4}$), то смоченный периметр равен длине окружности $\chi = \pi d$.

Движение жидкостей и газов

- *Гидравлическим радиусом* называют отношение живого сечения потока к смоченному периметру. В частности, для круглых труб, заполненных жидкостью, гидравлический радиус равен четверти диаметра. Действительно,

$$\bullet R = \frac{S}{\chi} = \frac{\pi d^2}{4\pi d} = \frac{d}{4}$$

- В отопительной и вентиляционной практике широко пользуются понятием «эквивалентный диаметр», который определяют по формуле:

$$\bullet d'_{\text{ЭКВ}} = 4R = \frac{4S}{\chi}$$

Движение жидкостей и газов

- Определение режима течения жидкости является важной частью решения технических задач, так как от вида течения зависит распределение скоростей в сечении, потери давления и другие параметры. Для вязких жидкостей (ньютоновских) существуют два режима течений: ламинарное и турбулентное. При течении неньютоновских жидкостей важную роль играет структурообразование, поэтому обсуждение их течений требует отдельного рассмотрения. Остановимся на ньютоновских жидкостях.
- Течение называется ламинарным, если вдоль потока каждый выделенный тонкий слой скользит относительно соседних, не перемешиваясь с ними, и турбулентным, если вдоль потока происходит интенсивное вихреобразование и перемешивание жидкости (газа).
- Ламинарное течение жидкости наблюдается при небольших скоростях ее движения. Внешний слой жидкости, примыкающий к поверхности трубы, в которой она течет, из-за сил молекулярного сцепления прилипает к ней и остается неподвижным. Скорости последующих слоев тем больше, чем больше их расстояние до поверхности трубы, и наибольшей скоростью обладает слой, движущийся вдоль оси трубы.

Движение жидкостей и газов

- При турбулентном течении частицы жидкости приобретают составляющие скоростей, перпендикулярные течению (вторичное течение), поэтому они могут переходить из одного слоя в другой. Скорость частиц жидкости быстро возрастает по мере удаления от поверхности трубы, затем изменяется довольно незначительно. Так как частицы жидкости переходят из одного слоя в другой, то их скорости в различных слоях мало отличаются. Из-за большого градиента скоростей у поверхности трубы обычно происходит образование вихрей.
- Для определения режима течения используют критерий Рейнольдса. Выделяют три класса течений:
 - ламинарный режим $0 < 2300 < Re$;
 - переходный режим $2300 < Re < 10000$;
 - турбулентный режим $10000 < Re$.

$$Re = \frac{\rho v d_{\Gamma}}{\mu},$$

Где d_{Γ} - гидравлический диаметр.

Движение жидкостей и газов

- Физически число Рейнольдса характеризует отношение сил инерции и сил вязкости в потоке жидкости. Многочисленными опытами установлено предельное значение числа Рейнольдса, при превышении которого поток из ламинарного переходит в турбулентный. Это значение называется критическим числом Re , $Re_{кр} = 2300$ (для круглых труб). Для потоков с сечением другой формы в качестве характеристики используют гидравлический радиус R_r или эквивалентный диаметр $d_{эКВ}$.

$$Re = \frac{4vR_r}{\nu} = \frac{vd_{эКВ}}{\nu}$$

- При переходе из одного режима в другой наблюдается промежуточный (переходный) режим ($Re=2300\dots4000$). Вполне развитое турбулентное течение в трубах устанавливается при $Re=4000$.

Движение жидкостей и газов

- Стоит заметить, что иногда переходный режим считают уже турбулентным и отдельно его не выделяют. Это связано с тем, что режим уже ламинарным не является и формулы для расчета технологических параметров не подходят.
- Также следует обращать внимание на тип жидкости, а также геометрию канала при расчете числа Рейнольдса и использовать соответствующую формулу для его вычисления.
- *Примечание.* Для неньютоновских сред существует несколько режимов движения, а также критерии по установлению того или иного режима.

Задания к лекции №6

1. Какой режим течения жидкости называют неустановившимся?
2. Определить режим течения в трубе диаметром d , по которой перекачивается нефть с расходом Q . Коэффициент кинематической вязкости нефти принять равным 10^{-4} м²/с. Каким будет режим течения, если вместо нефти по трубе перекачивать с тем же расходом воды при температуре 20 °С?

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
d, мм	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300
Q, л/с	85,0	87,5	90,0	102,5	110,0	122,5	130,0	150,0	175,0	190,0