06.04.2023 ХКМ2/1

Теоретические основы гидродинамики: основные понятия и определения гидродинамики

Гидродинамика - раздел гидравлики, в котором рассматриваются законы движения и взаимодействия жидкости с неподвижными и подвижными поверхностями.

Движение жидкости существенно отличается от движения твердого тела. При движении жидкости расстояние между ее частицами не остается постоянным. Перемещение достаточно малого объема жидкости можно представить в виде суммы трех движений - поступательного, вращательного движения всего объема в целом, а также перемещения различных частиц объема относительно друг друга. В движущейся жидкости учитывают как массовые силы, так и силы трения (вязкость).

Движущаяся жидкость характеризуется двумя параметрами: скоростью течения $\boldsymbol{v}$ и гидродинамическим давлением $\boldsymbol{p}$. Основной задачей гидродинамики является определение этих параметров при заданной системе внешних сил.

При движении жидкости скорость и давление могут изменяться в пространстве и во времени. В связи с этим различают два вида движения жидкости: установившееся и неустановившееся.

Установившимся называется движение, при котором скорость и давление в каждой точке пространства, занятого жидкостью, не изменяются во времени и является функцией только ее координат, т. е.

$$v = f_1(x, y, z); \; p = f_2(x, y, z).$$

При ***неустановившемся движении*** давление p и скорость v изменяются в каждой точке не только с изменением координат, но и во времени:

$$v = f_1(x, y, z, \tau); \; p = f_2(x, y, z, \tau).$$

Под ***жидкой частицей*** в гидродинамике понимают условно выделенный очень малый объем жидкости, изменением формы которого можно пренебречь. Каждая частица жидкости при движении описывает кривую, которая называется ***траекторией движения***.

Под ***потоком жидкости*** понимают движущуюся массу жидкости, полностью или частично ограниченную поверхностями, Поверхности раздела могут быть твердыми или образованными самой жидкостью на границе раздела фаз. Границами потоков служат стенки труб, каналов, открытая поверхность жидкости, а также поверхность обтекаемых потоком тел.

Напорным называется движение потока в закрытых руслах при полном заполнении поперечного сечения жидкостью, например, напорное движение в трубах. оно возникает за счет разности давлений в начале и конце трубопровода.

Безнапорным называется движение жидкости в открытых руслах, когда поток имеет свободную поверхность. В этом случае движение осуществляется только за счет сил тяжести, т.е.при наличии уклона (движение воды в каналах, реках, лотках и т.д.).

Струи представляют собой потоки жидкости, вытекающие через отверстия или сопла под действием напора. Струи могут быть ограничены со всех сторон газообразной или жидкой средой, в первом случае они называются свободными, во втором - затопленными.

Линией тока называют воображаемую кривую в движущемся потоке жидкости, для которой векторы скоростей каждой из частиц жидкости, находящихся на ней в данный момент времени, являются касательными к этой кривой.

Линия тока при установившемся движении совпадает с траекторией частиц.

Для неустановившегося движения линии тока не совпадают с траекторией. Линия тока характеризует направление движения всех частиц, расположенных на ней в данный момент, а траектория представляет собой путь, пройденный одной частицей за какое-то время τ.

Движение жидкости зависит от многих факторов, учесть которые очень трудно. Поэтому действительное движение заменяют упрощенной моделью. В основе гидродинамики лежит струйчатая модель движения, которая предполагает, что поток жидкости состоит из бесконечно большого числа элементарных струек.

Живым сечением потока F называется площадь сечения потока, перпендикулярная к направлению линий тока и ограниченная его внешним контуром. Площадь живого сечения потока равна сумме площадей живых сечений элементарных струек.

Смоченным периметром потока П называется длина контура живого сечения, по которой жидкость соприкасается с ограничивающими ее стенками.

При напорном движении жидкости смоченный периметр *П* совпадает с геометрическим периметром *Пг*, при безнапорном не совпадает.

Гидравлическим радиусом R, называется отношение площади живого сечения к смоченному периметру:

$$R_г = F/П$$

Геометрический радиус и гидравлический радиус - совершенно разные понятия, даже в случае напорного движения жидкости в круглой трубе. Например, для трубы диаметром d геометрический радиус r = d/2, а гидравлический $R = \pi d^2/(4\pi d) =. d/4=r/2$

Расходом называется количество жидкости, протекающей через живое сечение потока в единицу времени. Различают объемный V_c, массовый M_c и весовой G_c расходы жидкости. Между ними существует связь

Скорость жидкости в различных точках живого сечения потока различна, и точный закон изменения скорости по сечению не всегда известен, поэтому для упрощения расчетов вводят понятие средней скорости для данного живого сечения $v_{ср}$, тогда

$$V_c = v_{ср} F.$$

Средняя скорость - фиктивная скорость потока, которая считается одинаковой для всех частиц данного сечения и подобрана так, что расход, определенный по ее значению, равен истинному значению расхода.

Установившееся движение характеризуется постоянством расхода во времени. Различают равномерное и неравномерное установившееся движение.

Равномерным установившемся движением называется такое движение жидкости, при котором средняя скорость и площади живых сечений потока не изменяются по его длине, например, установившееся движение в цилиндрической трубе, движение в канале призматической формы.

Неравномерным установившемся движением называется такое движение, при котором средняя скорость и площади живых сечений изменяются по длине, например, движение в трубе переменного сечения, движение в открытых руслах при наличии перегораживающих сооружений.

Уравнение неразрывности потока

Его можно записать в следующем виде:

$$F\, v_{ср.} = \text{const (вдоль потока)}$$

Это первое ***основное уравнение гидродинамики***. Оно читается так: при установившемся движении несжимаемой жидкости произведение площади живого сечения на среднюю скорость есть величина постоянная. Иначе

$$F_1\, v_{ср1} = F_2\, v_{ср2} \text{ или}$$

$$v_{ср1} / v_{ср2} = F_2 / F_1$$

т.е. средние скорости обратно пропорциональны площадям соответствующих живых сечений потока.

Режимы движения жидкости

Еще В 1839 г. Г. Хагеном и в 1880 г.Д.И. Менделеевым в результате экспериментальных исследований движущихся жидкостей было установлено, что существует два режима движения жидкости. Наиболее полные лабораторные исследования режимов движения жидкости и их влияния на потери напора провел английский физик О.Рейнольдс в 1883 г.

Режим движения жидкости, наблюдаемый при малых скоростях, при котором отдельные струйки жидкости движутся параллельно друг другу и оси потока, называется ***ламинарным*** (от лат. lamina - лента, полоска), т. е. ленточным, слоистый. Он наблюдается в тонких капиллярных трубках, в кровеносных сосудах, а также при движении по трубам очень вязких жидкостей: нефти, мазута, смазочных масел и т. п.

Режим движения жидкости при больших скоростях отличается неупорядоченным движением элементов жидкости и называется ***турбулентным*** (от лат. turbulentus - беспорядочный). Не смотря на свою сложность, турбулентный режим движения имеет определенные закономерности. В жидкости наблюдаются отдельные слои с ламинарным режимом, с переходным режимом и турбулентный поток. Турбулентный режим встречается довольно часто в природе и в искусственных сооружениях: при движении воды в реках, каналах, трубах и т. д.

Обобщив результаты опытов, проведенных с трубами круглого сечения, Рейнольдс пришел к выводу, что основными факторами, определяющими характер режима движения, являются: средняя скорость жидкости v, диаметр трубопровода d, плотность жидкости p и ее вязкость μ. При этом была установлена следующая зависимость: чем больше размеры поперечного сечения потока и плотность жидкости и чем меньше ее вязкость, тем быстрее при увеличении скорости движения жидкость переходит от ламинарного режима к турбулентному. Скорость, при которой происходит смена режимов движения жидкости, называется ***критической***.

На основании экспериментальных данных Рейнольдс установил, что значения критических скоростей, соответствующих точкам перехода ламинарного режима в турбулентный, непостоянны. Поэтому для характеристики режима движения жидкости был введен более объективный показатель - безразмерный параметр, названный критерием, или **числом Рейнольдса** (Re):

$$Re=\upsilon d/\nu$$

где $\nu = \mu/\rho$ - кинематический коэффициент вязкости.

Выполненными исследованиями было установлено, что минимальное значение числа Рейнольдса, соответствующее переходу ламинарного режима в турбулентный, равно 2320. Это число было названо критическим числом Рейнольдса:

Re= 2320.

Число Re = 2320 не следует рассматривать как строго регламентированное. Оно может меняться в довольно широких пределах и зависит не только от входящих в формулу величин, но и еще от ряда внешних факторов: шероховатости труб, сотрясения трубопровода, резкого изменения скорости и др. Если устранить влияние этих факторов, то можно задержать переход ламинарного режима в турбулентный и довести значение $Re_{кр}$ до11 000-13 000.

Из сравнения верхнего и нижнего значений критического числа Рейнольдса видно, что верхнее значение превышает нижнее значение почти в б раз. Следовательно, между ними лежит большая зона, где движение жидкости в зависимости от условий может происходить в ламинарном или турбулентном режимах. Однако ламинарный режим движения в этой зоне неустойчив и легко переходит в турбулентный. Такая зона называется переходной. В настоящее время в практических расчетах обычно исходят из одного критического значения числа Рейнольдса Re= 2320.Считается, что при Re < 2320 всегда имеет место ламинарный режим, а при Re > 2320 - турбулентный. Такой подход обеспечивает некоторый запас прочности при гидравлических расчетах.