

определении F_x отсчет надо вести от пьезометрической плоскости, при этом $W_{т.д}$ не зависит от внешнего давления.

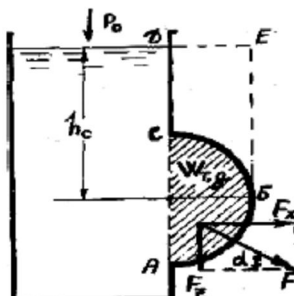


Рис.2.10

2.6. Основные понятия гидродинамики

Гидродинамика - раздел гидравлики, в котором изучаются законы движения жидкости и их применение в инженерной практике.

В гидродинамике широко используется понятие "идеальная жидкость", решения для которой применяются и к реальной жидкости с учетом влияния вязкости. Движение жидкости характеризуется скоростью движения частиц и давлением, являющимися функциями координат x, y, z и времени t .

Различают два вида движения: установившееся и неустановившееся.

Установившимся движением называется такой вид движения, при котором скорость U и давление P в данной точке не меняются с течением времени, а зависят только от положения рассматриваемой точки, являясь функцией координат:

$$U = f_1(x, y, z); \quad P = f_2(x, y, z); \quad \rho = f_3(x, y, z).$$

При неустановившемся движении:

$$U = f_1(x, y, z, t); \quad P = f_2(x, y, z, t); \quad \rho = f_3(x, y, z, t).$$

Установившееся движение делится на равномерное и неравномерное.

Л и н и е й т о к а называется линия, проведенная в данный момент времени в движущейся жидкости так, что в любой ее точке вектор скорости частиц совпадает с касательной (рис.2.II). При установившемся движении линия тока совпадает с траекторией частиц.



Рис.2.11

Элементарная струйка. Если в движущейся жидкости взять элементарный замкнутый контур и в данный момент через все точки его провести линии тока, то образуется поверхность, называемая трубкой тока. Часть жидкости, заключенная внутри трубки, называется элементарной струйкой (рис.2.12), которая при установившемся движении обладает следующими свойствами: а) имеет постоянную форму, так как линии тока с течением времени не меняются; б) частицы жидкости данной струйки не проникают в соседние струйки наоборот, т.е. элементарная струйка “непроницаема”; в) скорость частиц во всех очках данного поперечного сечения струйки принимается одинаковой ввиду бесконечно малого поперечного сечения.



Рис.2.12

Поток жидкости - совокупность элементарных струек. Потoki, не имеющие свободной поверхности, называются напорными в отличие от безнапорных. Например, движение в трубах при полном заполнении сечения является напорным, а в открытых каналах - безнапорным. Поток жидкости или газа, ограниченный газообразной или жидкой средой, называется струей. Гидравлические струи формируются при помощи специальных устройств (сопла, насадки).

Установившееся струйное движение потока, при котором угол расхождения между линиями тока и их кривизна - величины пренебрежимо малые, называется медленно изменяющимся движением.

Живым сечением называется поверхность, в каждой точке которой скорости частиц жидкости направлены по нормали. В общем случае живое сечение имеет форму криволинейной поверхности. Для параллельно-струйного и медленно изменяющегося движения живое сечение будет плоским.

Местной скоростью называется скорость частиц в данной точке потока. Скорость, определенная в некоторый момент времени, называется мгновенной, а среднее значение из достаточно большого числа измерений называется средней по времени скоростью. При движении жидкости вследствие шероховатости стенок и прилипания частиц к твердой поверхности (гипотеза прилипания) происходит торможение движению жидкости. Поэтому у стенок скорость меньше, чем в отделении от них. Происходит распределение скоростей с образованием некоторого профиля в данном живом сечении (а-а, рис.2.13).

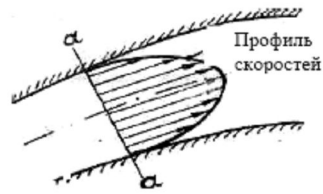


Рис.2.13.

Объемным расходом Q ($\text{м}^3/\text{с}$, л/с) называется объем жидкости, протекающей через живое сечение потока в единицу времени. Количество протекающей жидкости можно измерять также в единицах веса (весовой расход - G , Н/с) или массы (массовый расход - M , кг/с).

Средняя скорость потока - это такая скорость, с которой если двигались бы все частицы жидкости, то расход через рассматриваемое живое сечение потока был бы равен истинному расходу, имеющему место при реальном распределении скоростей.

Для элементарной струйки расход через живое сечение $d\omega$ будет

$$dQ = U dS$$

Расход всего потока через данное живое сечение A равен сумме расходов всех элементарных струек.

$$Q = \int_A U dS.$$

Тогда, согласно определению, средняя скорость U будет

$$V = \frac{Q}{S} = \frac{\int U dS}{S}. \quad (2.13)$$

Уравнение неразрывности для установившегося движения. Основываясь на законе сохранения вещества, на предположении о сплошности (неразрывности) среды и на свойстве "непроницаемости" элементарной струйки, можно для установившегося движения несжимаемой жидкости утверждать, что расход во всех сечениях элементарной струйки один и тот же (рис. 2.13).

$$dQ = U_1 dS_1 = U_2 dS_2 = \text{Const},$$

Аналогичное уравнение расхода для всего потока будет

$$Q = V_1 S_1 = V_2 S_2 = \text{Const}. \quad (2.14)$$

Для газообразной жидкости, учитывая изменение плотности от давления, получим уравнение неразрывности (условие сплошности) через массовый расход

$$m = \rho_1 V_1 S_1 = \rho_2 V_2 S_2 = \text{Const} . \quad (2.15)$$

2.7. Дифференциальные уравнения движения идеальной жидкости

Уравнения движения (Эйлера) следующие:

$$\begin{aligned} X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} &= \frac{dU_x}{dt}, \\ Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} &= \frac{dU_y}{dt}, \end{aligned} \quad (2.16)$$

$$Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} = \frac{dU_z}{dt},$$

где U_x, U_y, U_z - проекции скоростей; $\frac{dU_x}{dt}, \frac{dU_y}{dt}, \frac{dU_z}{dt}$ - проекции ускорений.

Четвертым уравнением для решения системы (имеем четыре неизвестных параметра: P, U_x, U_y, U_z) является дифференциальное уравнение неразрывности капельной жидкости, имеющее вид

$$\frac{dU_x}{dx} + \frac{dU_y}{dy} + \frac{dU_z}{dz} = 0.$$

2.8. Уравнение Бернулли

Интегрируя уравнения (2.16) для установившегося движения, в поле силы тяжести получится уравнение Бернулли элементарной струйки идеальной капельной жидкости:

$$Z + \frac{P}{\rho g} + \frac{U^2}{2g} = Const, \quad (2.17)$$

где Z – геометрическая высота центра тяжести произвольно выбранного живого сечения струйки над плоскостью сравнения 0-0 (Рис2.14); $P/\rho g$ – пьезометрическая высота отвечающая гидродинамическому давлению P в центре тяжести сечения струйки; $U^2/2g$ – скоростная высота, отвечающая скорости U в центре тяжести сечения струйки.

Геометрический смысл уравнения Бернулли для элементарной струйки идеальной жидкости поясняется рисунком 2.14. Уравнение Бернулли для произвольно выбранного сечения потока идеальной жидкости имеет вид:

$$Z + \frac{P}{\rho g} + \frac{\alpha V^2}{2g} = Const, \quad (2.18)$$