

## 6. Гидравлические струи жидкости

Поток жидкости, не ограниченный твердыми стенками, называется струей жидкости.

Различают затопленные струи и незатопленные струи. Затопленной струей называется струя, окруженная жидкостью. Незатопленной свободной струей жидкости называется струя, окруженная газом, в частности воздухом. К этим струям относятся водяные струи: пожарные, фонтанные струи, гидромониторные, дождевальные и др.

### 6.1. Структура струи

Рассмотрим структуру затопленной струи. Вылетая из специального насадка при очень больших скоростях и давлениях, гидравлическая струя имеет свою определенную структуру.

Рассматривая струю, мы должны различать ее границу, т.е. поверхность раздела, отделяющую саму струю от окружающей среды. На рис. 5.8 представлена структура затопленной струи.

Струя – это конус, образующие которого пересекаются в точке  $O$ , называемой полюсом. Сечение I–I, совпадающее с выходным сечением насадка, называется начальным сечением. У начального сечения I–I скорости по сечению струи почти одинаковые.

На расстоянии  $L$  – распределение скоростей типичное для однородного потока. Сечение II–II называется переходным.

Участок длиной  $L$  между сечениями I–I и II–II называется начальным участком.

Если до переходного сечения скорость на оси струи постоянна, то начиная от переходного сечения, эта скорость вдоль оси потока падает.

Участок за переходным сечением (II–II) называется основным. Основной участок (II–II – III–III) характеризуется компактностью струи, уменьшением скорости на оси струи, уменьшением пропорционально длине поля скоростей.

Конечный участок – после сечения III–III, где струя распадается.

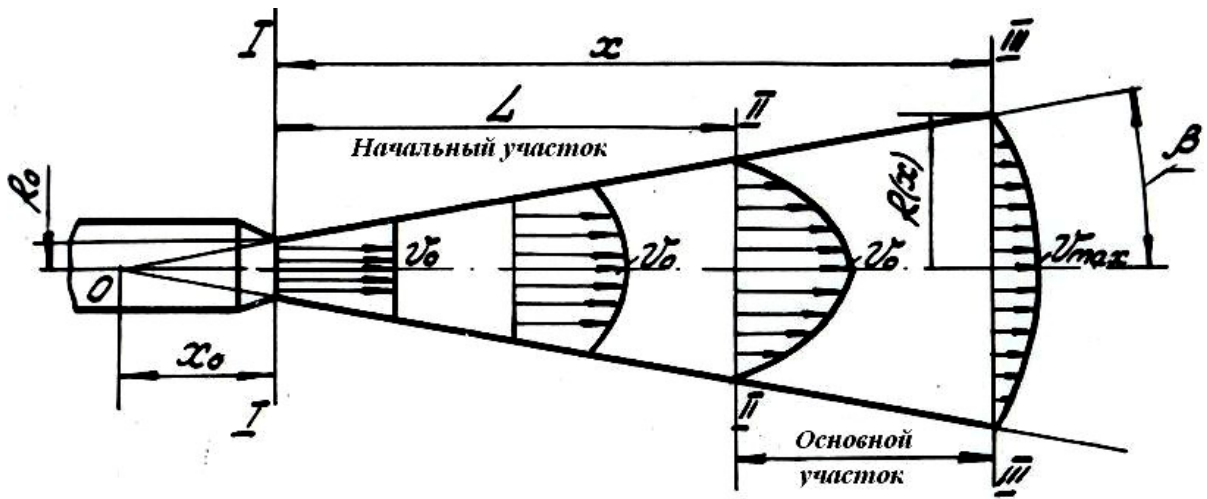


Рис. 5.8. Структура затопленной струи

Практический интерес представляют величины, определяющие изучаемую струю:

- расстояние  $x_0$ , дающее положение полюса струи;
- длина  $L$  начального участка; угол  $\beta$ , равный половине угла расхождения прямолинейных лучей, ограничивающих струю;
- радиус  $R(x)$  струи на заданном расстоянии  $x$  от начального сечения;
- скорость  $V_{\max}$  на оси основного участка струи.

Все эти величины могут быть найдены по формулам, имеющимся в технической литературе, например, по формулам Г.Н.Абрамовича. В эти формулы, кроме радиуса насадка  $R_0$ , скорости истечения из отверстия  $V_0$ , входит экспериментальный коэффициент  $a$ , называемый коэффициентом структуры. Он учитывает структуру потока в выходном сечении.

## 6.2. Сила давления струи на твердую преграду

Основной задачей при рассмотрении взаимодействия струи с различными твердыми преградами является определение силы давления струи на эти преграды. Рассмотрим взаимодействие струи, вытекающей из насадка ( $H = \text{const}$ ), с твердой стенкой конической формы и осью, совпадающей с осью насадка (рис. 5.9).

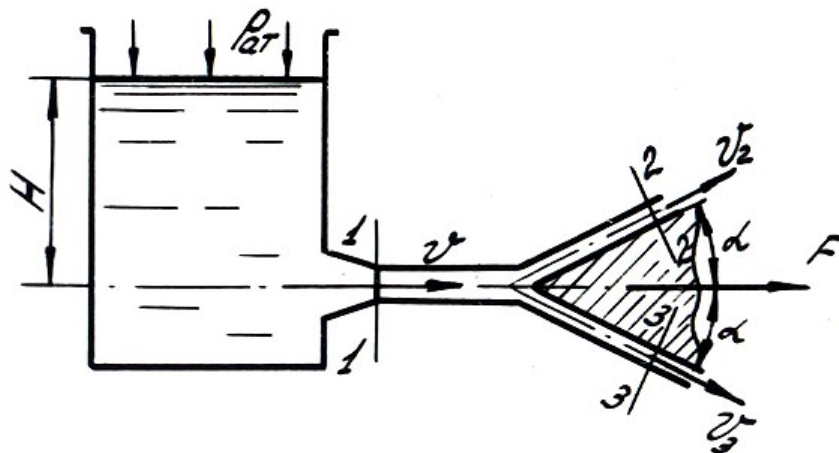


Рис. 5.9. Взаимодействие струи с твердой стенкой

Струя жидкости, вытекающая из насадка, достигнув стенки, разбивается на два равных потока, движущихся со скоростями, равными скорости жидкости в гидравлической струе.

Для определения величины силы давления  $F$  выделим из струи объем жидкости, заключенный между сечениями 1–1, 2–2 и 3–3, и применим закон об изменении количества движения.

Примем следующие допущения: весом жидкости, разницей высот точек в сечениях 2–2, 3–3 пренебрегаем; потери жидкости на гидравлическое трение между сечениями 1–2 и 1–3 отсутствуют.

Сформулируем теорему об изменении количества движения применительно к рассматриваемому случаю.

Изменение количества движения за время  $\Delta t$  в рассматриваемом объеме жидкости будет равно разности количества движения массы жидкости  $m$ , имеющей скорость  $v$ , и вошедшей за время  $\Delta t$  через сечение 1–1, и масс жидкости  $m_2$  и  $m_3$ , вышедших за время  $\Delta t$  через сечения 2–2 и 3–3 из данного объема со скоростями  $v_2$  и  $v_3$ .

Теорема об изменении количества движения в проекции на горизонтальную ось записывается следующим образом:

$$mv - m_2 v_2 \cos \alpha - m_3 v_3 \cos \alpha = F \Delta t, \quad (5.28)$$

где  $F$  – сила давления струи на стенку;  $m$  – масса жидкости, проходящая со скоростью  $v$  через сечение 1–1 за время  $\Delta t$ ;  $m_2$ ,  $m_3$  – массы жидкости, проходящие соответственно через сечения 2–2 и 3–3 со скоростями  $v_2$ ,  $v_3$ ,  $v_2 = v_3 = v$ ;  $m_2 = m_3 = m/2$  ввиду деления гидравлической струи на два разных потока.

Запишем уравнение (5.28) с учетом того, что  $m_2 = m_3 = m/2$  и  $v_2 = v_3 = v$ :

$$mv - \frac{1}{2}mv \cos \alpha - \frac{1}{2}mv \cos \alpha = F \Delta t,$$

или

$$mv - mv \cos \alpha = F \Delta t. \quad (5.29)$$

Откуда сила давления определится по формуле

$$F = \frac{mv(1 - \cos \alpha)}{\Delta t} \quad (5.30)$$

Массу жидкости можно записать следующим образом:

$$m = \rho Q \Delta t \quad (5.31)$$

где  $\rho$  – плотность жидкости;  $Q$  – расход жидкости.

С учетом формулы (5.31) выражение для силы давления окончательно запишется следующим образом:

$$F = \rho Q v (1 - \cos \alpha) \quad (5.32)$$

Учитывая, что  $Q = \mu S \sqrt{2gH}$ , а  $v = \phi \sqrt{2gH}$ , можно записать следующее выражение:

$$F = 2 \mu \phi S \rho g H (1 - \cos \alpha) \quad (5.33)$$

При угле  $\alpha = 90^\circ$ , т.е. при действии струи на плоскую стенку,

$$\cos \alpha = 0 \quad \text{и} \quad F = \rho Q v = 2 \mu \phi S \rho g H \quad (5.34)$$

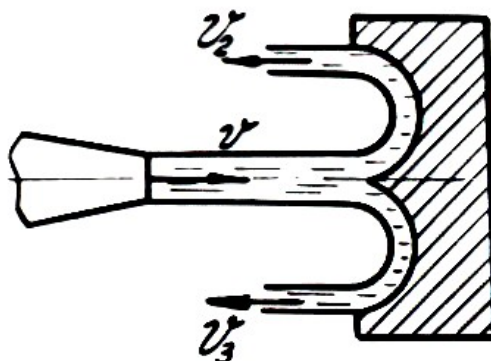


Рис. 5.10. Воздействие струи на преграду ( $\alpha = 180^\circ$ )

Если преграда имеет форму, при которой струя будет поворачиваться на угол  $\alpha = 180^\circ$  (рис. 5.10), то сила будет равна

$$F = 2 \rho Q v = 4 \mu \phi S \rho g H \quad (5.35)$$

т.е. в два раза больше, чем при действии на плоскую стенку.