

## 11. ЗАКОНЫ АРХИМЕДА И ПАСКАЛЯ В ЛИТЕЙНОЙ ГИДРАВЛИКЕ

### Законы гидростатики

**Закон Паскаля.** Пусть жидкость находится в неподвижном сосуде, и на ее свободную поверхность действует внешнее давление  $P_{\text{вн}}$ . Необходимо определить, каково будет давление  $P$  в этой жидкости на произвольной глубине  $h$  (рис. 6.1).

Мысленно выделим вертикальный цилиндр с малой площадью основания  $f$  и высотой  $h$ . Составим уравнение сил, действующих по вертикальной оси. На основание цилиндра сверху действует сила внешнего давления  $F = P_{\text{вн}} \cdot f$  и сила тяжести столба жидкости  $G = \rho ghf$ , где  $\rho$  – плотность жидкости;  $g$  – земное ускорение.

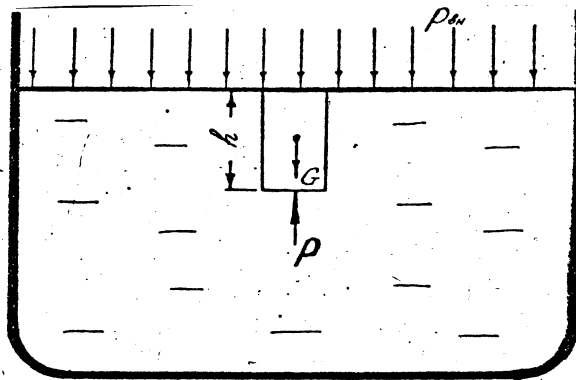


Рис. 6.1. Схема к выводу основного закона гидростатики

Снизу на основание цилиндра действует сила  $R$ , равная произведению  $R = Pf$ . Все остальные силы, определяемые давлением, действуют в горизонтальном направлении на боковую поверхность цилиндра и в уравнение не входят.

Поскольку рассматриваемый цилиндр неподвижен, следует записать

$$G + F = R \quad (6.1)$$

или

$$\rho ghf + P_{\text{вн}}f = Pf; P = P_{\text{вн}} + \rho gh. \quad (6.2)$$

Следовательно, давление внутри жидкости равно сумме внешнего давления, оказываемого на жидкость, и давления самой жидкости, определяемого произведением плотности на земное ускорение и на глубину рассматриваемой точки от свободной поверхности. Давление в жидкости действует одинаково по всем направлениям.

Из уравнения (6.2) вытекает закон Паскаля: внешнее давление, приложенное к жидкости, передается равномерно и одинаково по всем направлениям и во все точки жидкости.

Проявление основного закона гидростатики можно видеть при заливке литейных форм с горизонтальным разъемом (рис. 6.2).

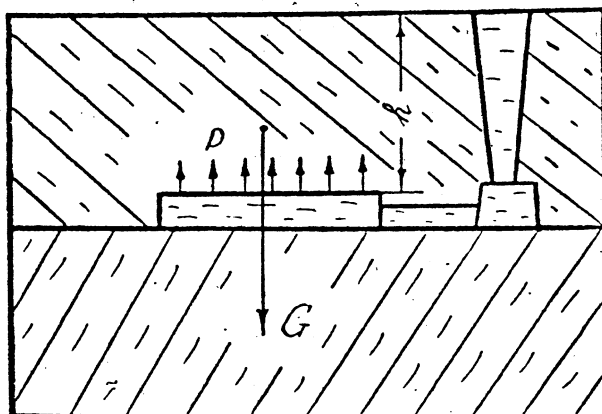


Рис. 6.2. Схема сил, действующих на верхнюю половину заполненной расплавом литейной формы

В заполненной литейной форме, предназначенной для получения отливки в виде плиты, площадью  $S$  сила, создаваемая давлением расплава, будет равна  $Q = PS$ . Вкладом литниковой системы в данном случае пренебрегаем ввиду его малости.

Если сила  $Q$  превысит массу верхней полуформы  $G$ , то неизбежно эта полуформа будет поднята расплавом и он вытечет по разьему наружу. Чтобы этого не происходило, формы перед заливкой либо специально нагружают, либо полуформы скрепляют между собой скобами. Масса груза и усилия скрепления задают с определенным запасом, так как при заполнении подъемная сила достигает значительно большей величины из-за так называемого гидравлического удара, возникающего в момент окончания заполнения полости формы. Поскольку подъемная сила прямо зависит от плотности расплава, то при работе с алюминиевыми или магниевыми сплавами эта сила оказывается малой и необходимость в нагружении или скреплении полуформ обычно отпадает.

**Закон Архимеда.** Гидростатическое давление жидкости, которое действует на всякое погруженное в жидкость тело в направлении, обратном действию силы тяжести, стремится вытолкнуть его на поверхность.

Найдем силу, действующую на тело произвольной формы ABCDEF, погруженное в жидкость (рис. 6.3). Спроектируем это тело на объемную поверхность жидкости, получим поверхность, которая проходит по контуру тела ALDK. Выделим объем жидкости  $V_{AFEDMN}$ , который действует на тело сверху с силой, равной  $Q_1 = \rho_{ж}g V_{AFEDMN}$ . Здесь  $\rho_{ж}$  – плотность жидкости;  $g$  – земное ускорение. Снизу на тело действует сила  $Q_2$ , равная  $Q_2 = \rho_{ж}g V_{ABCDMN}$ .

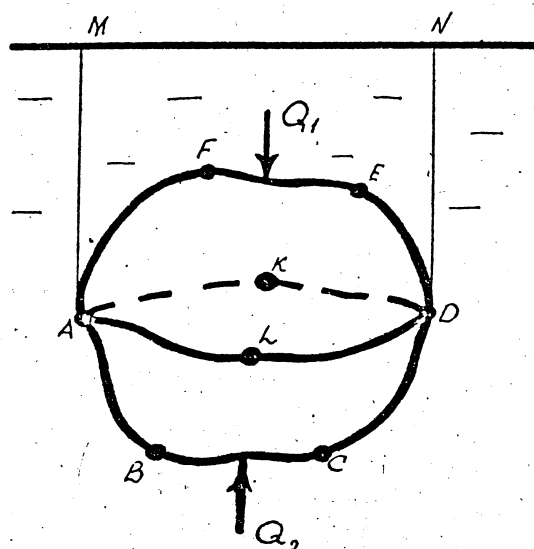


Рис. 6.3. Схема к выводу закона Архимеда

Равнодействующая этих двух сил

$$Q = Q_2 - Q_1 = \rho_{жg} (V_{ABCDMN} - V_{AFEDMN}).$$

Разность объемов  $V_{ABCDMN} - V_{AFEDMN}$  есть не что иное, как объем рассматриваемого тела  $V_{ABCDEF}$ .

Следовательно,

$$Q = \rho_{жg} V_{ABCDEF}. \quad (6.3)$$

Таким образом, на тело, погруженное в жидкость, действует выталкивающая сила, равная по величине массе вытесненной жидкости. Это есть закон Архимеда.

Если архимедова сила  $Q$  больше массы самого тела, то оно всплывает на поверхность жидкости. Это определяется соотношением плотности жидкости  $\rho_{ж}$  и тела  $\rho_{т}$ .

Если  $\rho_{ж} > \rho_{т}$ , то тело всплывает, а если  $\rho_{ж} < \rho_{т}$  – тонет в жидкости.

В литейном производстве с действием закона Архимеда приходится считаться при использовании стержней – специальных частей формы, выполняющих внутренние полости в отливке. Материал стержней имеет плотность 1,6–1,8 г/см<sup>3</sup>, и поэтому только в магниевых сплавах, обладающих плотностью не более 1,6 г/см<sup>3</sup>, стержни не будут всплывать во время заливки. При получении отливок из чугунов, сталей, медных и алюминиевых сплавов всегда принимают специальные меры против возможного всплывания стержней.

При конструкции литейной формы, изображенной на рис. 6.4, а, теоретически на стержень не действует выталкивающая сила, поскольку он не охвачен жидкостью с нижней стороны. Однако практически всегда есть вероятность подтекания расплава под опорную часть стержня, так называемый знак, и тогда всплывание возможно. Поэтому на практике подобные стержни всегда укрепляют с помощью большого знака (опорной части) либо с помощью

специальных жеробеек. При конструкции, изображенной на рис. 6.4, б, произойдет всплытие стержня, если архимедова сила, определяемая объемом выступов 1 на стержне, окажется больше массы всего стержня.

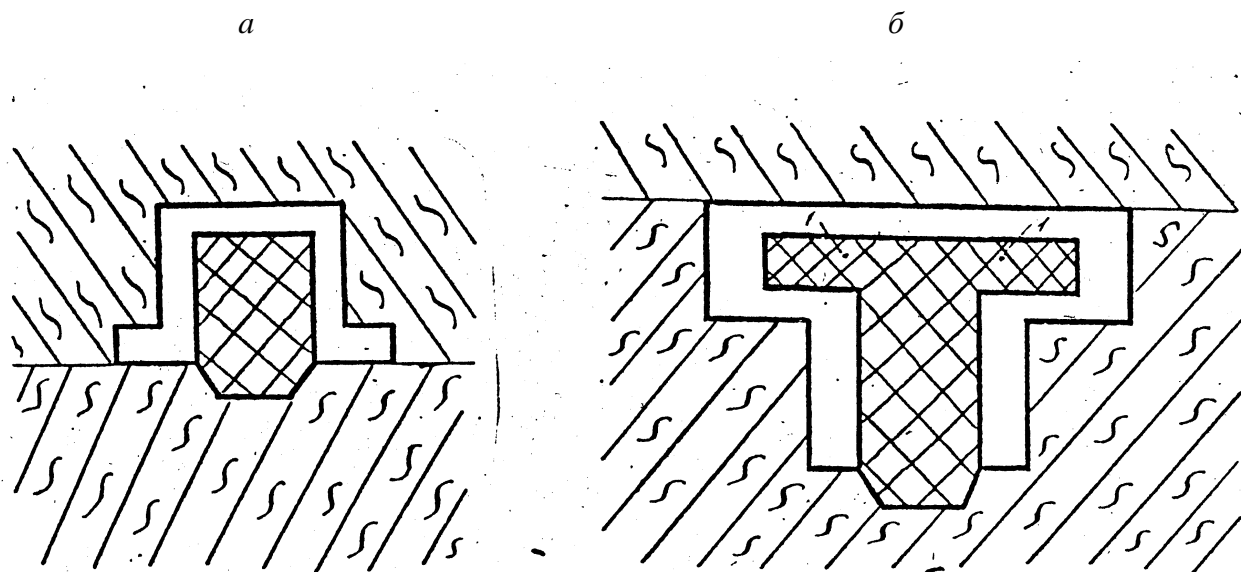


Рис. 6.4. Конструкция литейной формы, при которой всплытие стержня в расплаве теоретически невозможно (а) и вероятно (б)

### Законы гидродинамики

**Закон постоянства расхода.** Металлические расплавы обладают плотностью, не зависящей от давления. Поэтому при течении расплава по полностью заполненному каналу, площадь поперечного сечения которого переменна и составляет  $f_1, f_2, f_3 \dots f_n$ , наблюдается постоянство объемного расхода  $g = V_1 f_1 = V_2 f_2 = V_3 f_3 \dots V_n f_n$ . Здесь  $V$  – средняя линейная скорость потока на участке канала с соответствующим сечением. Поскольку плотность расплава при всех условиях остается неизменной, то и массовый расход  $m = \rho g$  тоже постоянен.

**Закон Бернулли.** При движении жидкости в закрытом канале (рис. 6.5) в направлении от сечения 1 к сечению 2 происходят взаимные переходы кинетической и потенциальной энергий частиц жидкости. При этом в силу закона сохранения сумма обоих видов энергии остается постоянной.

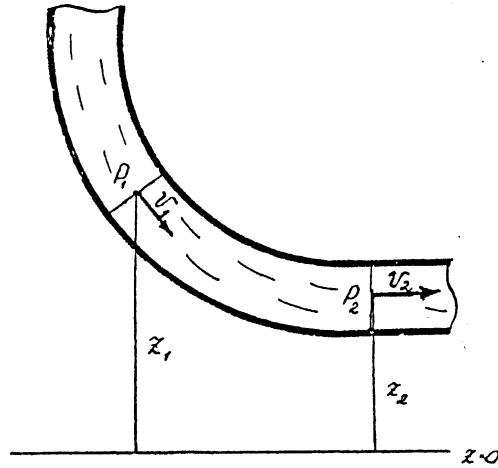


Рис. 6.5. Схема, поясняющая закон Д. Бернулли

Потенциальная энергия определяется высотой  $Z$  над произвольно выбранным уровнем, где  $Z = 0$ , и давлением  $P$ . Кинетическая энергия определяется линейной скоростью движения жидкости  $V$ . Количественно закон постоянства энергии в рассматриваемом потоке выражается равенством

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho \cdot q} + \frac{V_1^2}{2q} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho \cdot q} + \frac{V_2^2}{2q}. \quad (6.4)$$

Это и есть уравнение Д. Бернулли, согласно которому сумма геодезического  $Z$ , пьезометрического  $\frac{P}{\rho q}$  и скоростного  $\frac{V^2}{2q}$  напоров в различных сечениях потока жидкости есть величина постоянная.

Уравнение Д. Бернулли можно написать в единицах давления (Па, атм. и т. д.):

$$Z_1 \rho \cdot q + P_1 + \frac{V_1^2 \rho}{2} = Z_2 \rho \cdot q + P_2 + \frac{V_2^2 \rho}{2}. \quad (6.5)$$

В приведенной форме уравнение Д. Бернулли характеризует поведение идеальной жидкости, имеющей нулевую вязкость и не испытывающей трения о стенки каналов. Для реальной ньютоновской жидкости, какой являются расплавы, при течении от сечения 1 к сечению 2 некоторая часть энергии будет потеряна и перейдет в тепло. Поэтому в правой части уравнения вводится дополнительный член  $\Delta_{1-2}$ , выражающий эти потери:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\rho \cdot q} + \frac{V_1^2}{2q} = Z_2 + \frac{P_2}{\rho \cdot q} + \frac{V_2^2}{2q} + \Delta_{1-2}. \quad (6.6)$$

Течение жидкости может быть ламинарным и турбулентным. При ламинарном характере отдельные струи текут не перемешиваясь в виде параллельных слоев. При турбулентном течении струи произвольным образом перемешиваются, частицы жидкости движутся не только вдоль, но и поперек общего потока. Характер течения жидкости определяется взаимодействием сил инерции и сил вязкости.

Преобладание сил вязкости приводит к ламинарному движению. При усилении влияния инерционных сил течение становится турбулентным. Очевидно, что характер течения должен зависеть от вязкости жидкости, линейной скорости движения и размера сечения канала как элемента, воспринимающего силы трения. Эта связь выражается безразмерной величиной числом Рейнольдса  $Re = Vd/\nu$ , где  $V$  – линейная скорость потока;  $d$  – диаметр канала круглого сечения;  $\nu$  – кинематическая вязкость. Для канала некруглого сечения используется эквивалентный диаметр  $d_{\text{экв}} = 4R_{\text{гидр}}$ , равный четырем гидравлическим радиусам.

Гидравлический радиус есть отношение площади поперечного сечения потока жидкости к смоченному периметру. Например, если канал имеет прямоугольную форму в поперечном сечении с размерами  $a$  и  $b$  и целиком заполнен потоком, то площадь  $F = a \cdot b$ , смоченный периметр  $P = 2(a + b)$ , гидравлический радиус

$$R_{\text{гидр}} = F/P = a \cdot b / 2(a + b).$$

Эквивалентный диаметр

$$d_{\text{экв}} = 2a \cdot b / (a + b).$$

Для канала квадратного сечения  $a = b$ ;  $R_{\text{гидр}} = a/4$ ;  $d_{\text{экв}} = a$ .

Для цилиндрического канала гидравлический радиус

$$R_{\text{гидр}} = \left( \frac{\pi d^2 / 4}{\pi d} \right) = d/4;$$

$$d_{\text{экв}} = d.$$

Для воды установлено, что течение сохраняется ламинарным при  $Re < 2300$ . При  $Re > 2300$  течение становится турбулентным.

### 13. КЛАССИФИКАЦИЯ И СУЩНОСТЬ СПОСОБОВ ЗАЛИВКИ ЛИТЕЙНЫХ ФОРМ

**Свободная заливка** небольших порций металла (обычно до 1 т) – чугуна или цветных сплавов – производится из поворотных ковшей через носик (рис. 6.6, а).

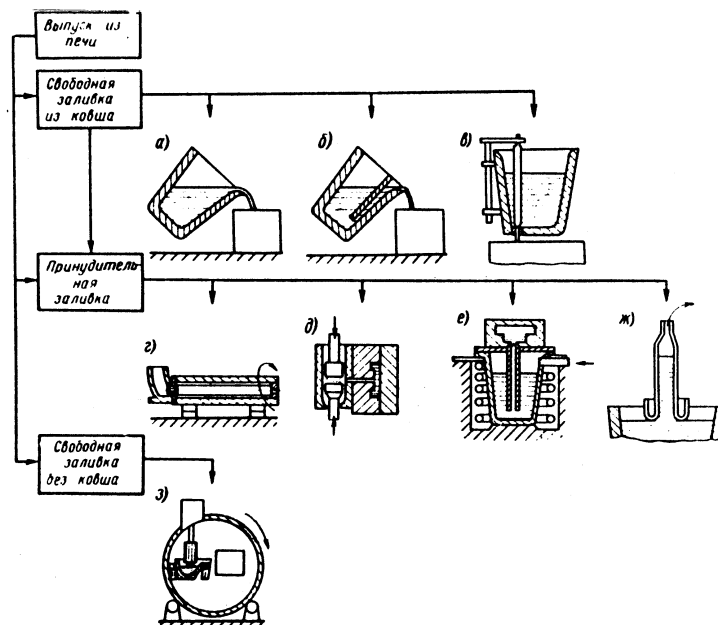


Рис. 6.6. Классификация способов заливки

Если на поверхности расплава образуется много шлака или иных загрязнений, заливка металла производится через чайниковое устройство с забором металла из нижней части ковша (рис. 6.6, б). Большие количества металла, в особенности стали, заливаются из ковша со стопорным устройством (рис. 6.6, в). Свободная заливка является преобладающей в литейном производстве.

**Принудительная заливка.** При заливке деталей, имеющих специфическую конфигурацию или малую толщину стенок, для облегчения заливки, а также с целью механизации и автоматизации применяют принудительную заливку.

Детали типа тел вращения, в особенности трубы и кольца, а также фасонные отливки заливают на центробежных машинах во вращающиеся формы (рис. 6.6, г). При этом легко получается осевое отверстие.

Сложные тонкостенные детали отливают под давлением (рис. 6.6, д). В камеру сжатия из печи или небольшого ковша заливается определенная порция расплава, откуда она под действием давления поршня впрыскивается в полость металлической пресс-формы.

При заливке под низким давлением форма помещается на крышку печи. При повышении давления в кожухе металл через металлопровод заливается в

форму. В этих условиях металл не окисляется, процесс заполнения легко регулируется и поддается автоматизации (рис. 6.6, е).

Детали типа втулок из цветных сплавов изготавливаются путем вакуумного всасывания расплава в специальную форму, нижний конец которой погружается в металл непосредственно в печи (рис. 6.6, ж).

При литье небольших порций тугоплавких расплавов, например титановых, применяется свободная заливка без ковша (рис. 6.6, з). В этом случае печь и форма помещаются в кожух, в котором создается вакуум. Когда металл расплавляется, кожух поворачивается и расплав прямо из печи через носик или желоб переливается в форму.