но и для жидкости, движущейся вместе с резервуаром, в котором она находится (например, жидкое горючее, находящееся в баке на летящем самолете или ракете, жидкость в центрифуге, в муфте гидропередачи и т. д.). В самом деле, включив в число сил, действующих на жидкость, инерционные силы, мы по известному из механики принципу Даламбера можем рассматривать жидкость, как находящуюся в равновесии, и следовательно, можем применять к ней упомянутые уравнения равновесия. Нужно только понимать в этом случае под G ускорение результирующей объемной силы, т. е. силы, в которую, кроме фактически действующих, включена и инерционная сила. Если движение резервуара вместе с жидкостью задано и жидкость находится в относительном равновесии, то можно определить ускорения всех частиц, а значит, и результирующее ускорение объемной силы, как функцию координат точки и времени. Уравнения (1.8) — (1.10) позволяют в этом случае найти распределение давлений в жидкости.

§ 10. Равновесие несжимаемой жидкости. Основное уравнение гидростатики

Рассмотрим наиболее простой и вместе с тем важный случай, когда покоящаяся жидкость несжимаема и во всех точках имеет одинаковую температуру. В этом случае $\rho = \mathrm{const}$ и, интегрируя уравнение (1.9), находим:

$$p + \gamma z = \mathrm{const}, \tag{1.11}$$

или

$$\frac{p}{\gamma} + z = \mathrm{const}. \tag{1.12}$$

Уравнение (1.11) является основным уравнением гидростатики несжимаемой жидкости. Постоянную интегрирования в правой части можно определить, если заданы так называемые граничные условия, т. е. условия, которым удовлетворяет давление на границах жидкости. Если, например, жидкость находится в резервуаре и над ее свободной поверхностью давление равно p_0, то, взяв за плоскость отсчета высот свободную поверхность, получим граничное условие: при $z=0$ $p=p_0$. Уравнение (1.11) тогда запишется в виде

$$p = p_0 - \gamma z. \tag{1.13}$$

Последнее равенство показывает, что давление в любой точке покоящейся несжимаемой жидкости при изотермическом состоянии зависит от трех величин: давления p_0 на граничной поверхности, высоты z данной точки над граничной поверхностью и объемного веса жидкости γ. Из последнего равенства также видно, как именно зависит давление в любой точке покоящейся жидкости от этих трех величин. Если давление p_0 на граничной поверхности изменить на какую-либо величину, то на такую же величину изменится давление во всех точках объема, занимаемого жидкостью, причем в силу доказанной выше независимости давления от ориентировки площадки изменение будет одинаковым для всех направлений, исходящих из любой точки. Это свойство давлений в покоящейся несжимаемой жидкости называется законом Паскаля, который можно сформулировать так: давление в покоящейся жидкости передается равномерно во все стороны и на все точки занимаемого ею объема. Закон Паскаля широко используется во всех гидростатических машинах (гидравлический пресс, аккумулятор, мультипликатор), в гидропередачах и в пневматических устройствах. Изменение давления на граничной поверхности жидкости осуществляется при этом с помощью плунжера, или поршня; поверхность соприкосновения поршня, или плунжера, с жидкостью является здесь граничной поверхностью жидкости (рис. 1.15).

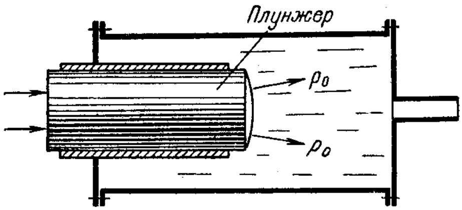

Рис. 1.15. Схема гидравлического цилиндра. Граничной поверхностью является поверхность соприкосновения плунжера с жидкостью.

Равенство (1.13) показывает далее, что чем выше находится точка в покоящейся жидкости, тем меньше давление в этой точке. По высоте давление распределено при этом по линейному закону. Для жидкостей с разным объемным весом этот линейный закон, как видно из равенства (1.13), изображается графически прямыми линиями с разными углами наклона. Чем больше объемный вес жидкости, тем быстрее убывает давление при возрастании высоты точки (рис. 1.16).

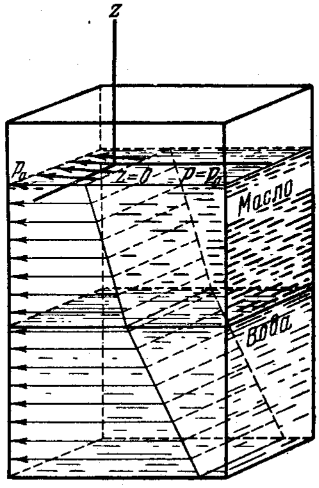

Рис. 1.16. В покоящейся несжимаемой жидкости давление распределено по высоте по линейному закону. Чем больше объемный вес, тем быстрее убывает давление с высотой.

Давление p называют статическим давлением в данной точке, а величину γz, которая имеет такую же размерность, как p, называют давлением, происходящим от высоты (или весовым давлением).

Согласно уравнению (1.11) сумма статического и весового давлений есть величина, постоянная во всех точках покоящейся несжимаемой жидкости.

В уравнении (1.12) все слагаемые имеют размерность высоты (*м*). Слагаемое p/γ называется пьезометрической высотой, так как представляет собой высоту поднятия жидкости под действием давления p

в пьезометре — вертикальной трубке (рис. 1.17), нижний конец которой открыт и опущен в жидкость (предполагаем для простоты, что верхний конец трубки закрыт и что в верхней части трубки — торричеллиева пустота). Высота z называется геометрической, или нивелирной, высотой. Согласно уравнению (1.12) сумма пьезометрической и геометрической высот есть величина постоянная во всех точках покоящейся несжимаемой жидкости.

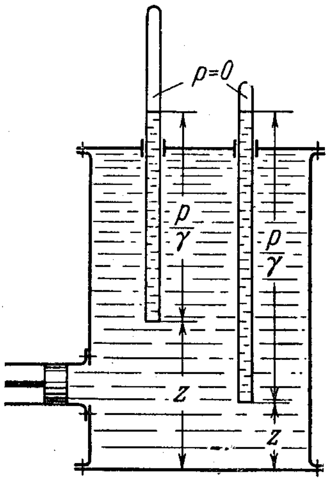

Рис. 1.17. Схема измерения давления в жидкости с помощью пьезометра. Сумма геометрической высоты и пьезометрической есть величина постоянная во всех точках покоящейся несжимаемой жидкости.

§ 11. Равновесие газа. Международная стандартная атмосфера

Выводы предыдущего параграфа, которые относятся к несжимаемой жидкости, далеко не всегда можно применять к покоящемуся газу и, в частности, к воздушной среде. Поэтому мы рассмотрим отдельно равновесие сжимаемой жидкости.

Предположим сначала, что температура во всех точках покоящегося газа есть величина постоянная (изотермическая атмосфера). В этом случае, как видно из формулы (1.2), зависимость плотности от давления принимает вид

$$\rho = \rho_0 \frac{p}{p_0}.$$

Подставляя это выражение для плотности в уравнение равновесия жидкости в полных дифференциалах (1.9), получим:

$$g\,dz + \frac{p_0}{\rho_0}\frac{dp}{p} = 0.$$

Интегрируя последнее уравнение, находим:

$$gz + \frac{p_0}{\rho_0}\ln p = \text{const}. \qquad (1.14)$$

Постоянную интегрирования определим из граничного условия: при $z = 0$ $p = p_0$; из уравнения при этом следует, что $\text{const} = \frac{p_0}{\rho_0}\ln p_0$.

Из уравнения (1.14) сразу же получается так называемая барометрическая формула для случая постоянной по высоте температуры:

$$z = \frac{p_0}{\gamma_0}\ln\frac{p_0}{p},$$