выражает следующее соотношение: *разность полных энергий единицы объема жидкости в первом и втором сечениях равна сумме потерь энергии на пути между этими сечениями, приходящихся*

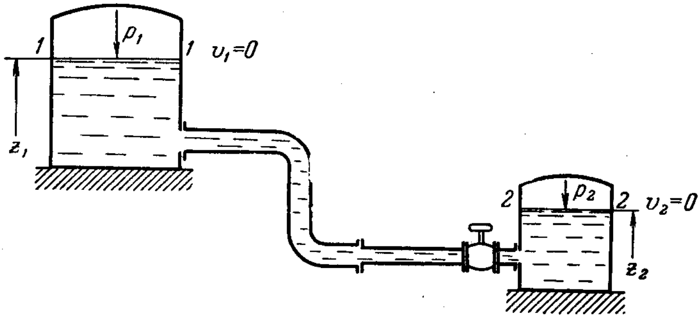

Рис. 2.41. Пример гидравлической системы, содержащей ряд последовательно соединенных путевых и местных сопротивлений.

на единицу объема. В математической записи это соотношение будет выглядеть так:

$$(p_1+\gamma z_1)-(p_2+\gamma z_2)=\sum_{i=1}^{i=n}\lambda_i\frac{\rho v_{\text{cp}\,i}^2}{2}\frac{L_i}{d_i}+\sum_{k=1}^{k=m}\zeta_k\frac{\rho v_{\text{cp}\,k}^2}{2};\qquad(2.54)$$

суммирование здесь распространяется на все n прямолинейных участков труб и все m местных сопротивлений, расположенных между первым и вторым сечениями.

§ 16. Уравнение энергии для движения сжимаемой жидкости с потерями и притоком энергий

Рассмотрим теперь более общий случай, когда среда является вязкой и сжимаемой, а процесс неадиабатическим. Возьмем элементарную струйку, в ней — произвольные два сечения и проинтегрируем уравнение энергии в дифференциалах (2.17) вдоль этой струйки от первого сечения до второго (по потоку). Отмечая величины, относящиеся к первому сечению, индексом 1, а величины, относящиеся ко второму сечению, — индексом 2, сможем написать:

$$(U_2-U_1)+\left(\frac{v_2^2}{2}-\frac{v_1^2}{2}\right)+g(z_2-z_1)+\left(\frac{p_2}{\rho_2}-\frac{p_1}{\rho_1}\right)+(K_2-K_1)=(Q_2-Q_1).$$

Здесь K_2-K_1 представляет собой работу сил трения между сечениями 1 и 2, а Q_2-Q_1 — количество тепла, подведенного или отведенного от единицы массы протекающей жидкости между теми же сечениями. Случай $Q_2-Q_1>0$ соответствует подводу тепла, случай $Q_2-Q_1<0$ — отводу тепла от выделенной струйки. Аналогично K_2-K_1 можно рассматривать не только как потерю механической энергии, но и как приток энергии, приходящийся на единицу массы; случай $K_2-K_1>0$ соответствует потере энергии, случай $K_2-K_1<0$ — притоку энергии. При течении жидкости по трубам имеет место, как мы видели, потеря энергии; если же между первым и вторым сечениями струйки находится, например, воздушный винт, вращающийся от постороннего двигателя, или рабочее колесо компрессора или вращательно-лопастного насоса, то создается приток энергии к струйке и в этом случае в уравнение энергии должно быть включено дополнительное слагаемое, учитывающее этот приток. Обозначим для краткости удельное количество подведенного или отведенного тепла через q_{12}; заменим, кроме того, $K_2 - K_1$ разностью потерянного напора $h_{\text{пот}}$ и приобретенного напора $h_{\text{пр}}$; тогда уравнение энергии для элементарной струйки примет следующий вид:

$$U_1 + \frac{v_1^2}{2} + gz_1 + \frac{p_1}{\rho_1} = U_2 + \frac{v_2^2}{2} + gz_2 + \frac{p_2}{\rho_2} + gh_{\text{пот}} - gh_{\text{пр}} - q_{12}. \quad (2.55)$$

Внутренняя энергия килограмма массы газа U, которая входит в последнее уравнение, может быть легко подсчитана, если известна теплоемкость данного газа при постоянном объеме c_v и его температура T. В самом деле, когда газ нагревается при сохранении его объема, то работа расширения равна нулю и вся подводимая теплота переходит в энергию движения молекул, т. е. во внутреннюю энергию. Так как количество теплоты, необходимое при постоянном объеме для нагрева до температуры T, равно c_vT, то

$$U = c_vT.$$

Приобретенная одним килограммом газа внешняя механическая энергия $h_{\text{пр}}$ может быть вычислена, если известны сообщаемая потоку газа мощность и весовой расход газа. Действительно, $h_{\text{пр}}$ представляет собой энергию, полученную единицей веса газа; если обозначить полученную от двигателя энергию через E, а вес газа, протекшего за то же время, через G, то

$$h_{\text{пр}} = \frac{E}{G}.$$

Разделив числитель и знаменатель на время, за которое количество газа весом G протекло через рабочее колесо насоса, вентилятора или компрессора, получим в числителе приобретенную потоком мощность, а в знаменателе — весовой расход:

$$h_{\text{пр}} = \frac{N_{\text{пр}}}{Q_{\text{в}}} = \frac{N\eta}{Q_{\text{в}}},$$

где N есть мощность двигателя, η — коэффициент полезного действия установки, а $Q_{\text{в}}$ — весовой расход газа.

Подставляя в уравнение (2.55) вместо U и $h_{\text{пр}}$ их выражения, получим:

$$c_vT_1 + \frac{v_1^2}{2} + gz_1 + \frac{p_1}{\rho_1} = c_vT_2 + \frac{v_2^2}{2} + gz_2 + \frac{p_2}{\rho_2} + gh_{\text{пот}\,12} - g\frac{N\eta}{Q_{\text{в}}} - q_{12}. \quad (2.56)$$

§ 17. Соотношение между площадью поперечного сечения струйки и скоростью движения газа при наличии трения

Теплообмен и потери энергии на трение изменяют соотношение между площадью поперечного сечения струйки и скоростью движения газа, известное из предыдущего для идеальной жидкости и адиабатического процесса (уравнение (2.30)).

Для того чтобы выяснить влияние трения на движение газа вдоль элементарной струйки, рассмотрим два основных уравнения: уравнение расхода