

### Задание 1.

Из открытого резервуара, в котором поддерживается постоянный уровень, по стальному трубопроводу (эквивалентная шероховатость  $\Delta_{\text{э}} = 0,1$  мм), состоящему из труб различного диаметра  $d$  и различной длины  $L$ , вытекает в атмосферу вода, расход которой  $Q$  и температура  $t$  (рис. 1.1).

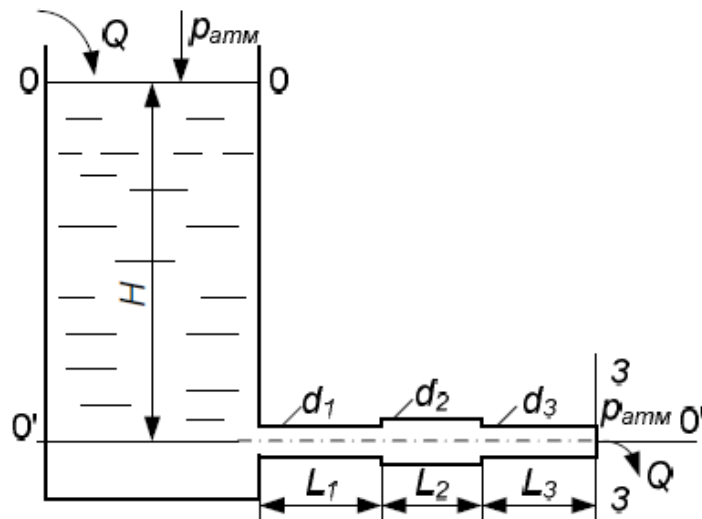


Рис. 1.1 Схема гидроустановки

Требуется:

1. Определить скорости движения воды и потери напора (по длине и местные) на каждом участке трубопровода.
2. Установить величину напора  $H$  в резервуаре.
3. Построить напорную и пьезометрическую линии с соблюдением масштаба.

Таблица 1.1 Исходные данные для расчетов

Исходные данные	Вариант									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$Q$ , л/с	0,6	0,4	1,5	1,0	0,5	10,0	8,0	5,0	2,0	1,2
$L_1$ , м	1,0	0,5	1,5	1,0	0,3	5,0	5,0	2,0	1,5	0,5
$L_2$ , м	1,0	0,5	1,5	1,0	0,3	2,5	2,5	2,0	3,0	1,0
$L_3$ , м	1,0	0,5	1,5	1,0	0,3	6,0	5,0	2,0	1,5	0,5
$d_1$ , мм	25	15	25	20	15	50	50	50	32	15
$d_2$ , мм	32	20	40	25	20	100	100	75	50	25
$d_3$ , мм	25	15	32	20	15	75	50	32	32	15
$t$ , °С	10	20	30	40	50	60	40	30	20	10

*Указания к решению задачи.* Задача решается на основе применения уравнения Д. Бернулли в следующем порядке:

1. Составляется уравнение Д. Бернулли в общем виде для сечений 0-0 (на свободной поверхности жидкости в резервуаре) и сечения 3-3 (на выходе потока из трубы). При написании уравнения Д. Бернулли следует помнить, что индексы у всех членов уравнения должны соответствовать номерам рассматриваемых сечений. Например, величины, относящиеся к сечению 0-0, следует обозначать  $Z_0, p_0, \alpha_0, V_0$ , а к сечению 3-3 -  $Z_3, p_3, \alpha_3, V_3$ .

2. Намечается горизонтальная плоскость сравнения. При горизонтальном трубопроводе плоскость сравнения проводится по оси трубопровода. После этого устанавливается, чему равно каждое слагаемое, входящее в уравнение Д. Бернулли, применительно к условиям решаемой задачи. Например,  $Z_0=H$  (искомая величина напора в резервуаре);  $p_0=p_{атм}$  (атмосферное давление);  $V_0=0$  (скорость движения воды в сечении 0-0) и т. д.

3. После подстановки всех найденных величин в уравнение Д. Бернулли и его преобразования записывается расчетное уравнение в буквенном выражении для определения искомой величины  $H$ .

4. Определяются скорости движения воды на каждом участке.

5. По скоростям движения воды вычисляются числа Рейнольдса, и устанавливается режим движения на каждом участке. Значение кинематического коэффициента вязкости  $\nu$  определяют в зависимости от температуры (табл. 1, приложение).

6. Определяются потери напора по длине каждого участка ( $h_{L1}, h_{L2}, h_{L3}$ ) и в каждом местном сопротивлении (вход воды из резервуара  $h_{вх}$ , внезапное расширение  $h_{ер}$  и внезапное сужение  $h_{сс}$ ).

Потери напора по длине следует определять по формуле Дарси-Вейсбаха:

$$h_L = \lambda \frac{l V^2}{d 2g}$$

Коэффициент  $\lambda$  может быть определен по формуле А. Д. Альтшуля:

$$\lambda = 0,11 \left( \frac{\Delta \varepsilon}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}$$

где  $Re$  – критерий Рейнольдса,  $Re = dv/\nu$

Потери напора в местных сопротивлениях вычисляют по формуле Вейсбаха:

$$h_M = \zeta \frac{V^2}{2g}$$

При вычислении потери напора на вход в трубу коэффициент местного сопротивления  $\zeta_{ex} = 0,5$ . Значение коэффициента местного сопротивления при внезапном сужении трубопровода  $\zeta_{sc}$  берется в зависимости от степени сужения  $n$  (отношения площади трубы в узком сечении к площади трубы в широком сечении) по табл. 2 приложения.

Потерю напора при внезапном расширении трубопровода определяют по формуле Борда:

$$h_{вр} = \frac{(V_1^2 + V_2^2)^2}{2g},$$

где  $V_1$  и  $V_2$  - средние скорости течения до и после расширения.

После определения потерь напора по длине и в местных сопротивлениях вычисляется искомая величина - напор  $H$  в резервуаре:

$$H = \frac{\alpha_3 V_3^2}{2g} + \Sigma h_l + \Sigma h_M$$

7. Строится напорная линия. Напорная линия показывает, как изменяется полный напор (полная удельная энергия) по длине потока. Значения  $H$  откладываются вертикально вверх от осевой линии трубопровода.

При построении напорной линии нужно вертикалями выделить расчетные участки. Таких участков в данной задаче три. Далее в произвольно выбранном вертикальном масштабе откладывается от осевой линии величина найденного уровня жидкости в резервуаре  $H$ . Проводя по этому уровню горизонтальную линию, получаем линию исходного (первоначального) напора. От уровня жидкости в резервуаре по вертикали, отвечающей сечению при входе жидкости в трубопровод, откладывается в масштабе вниз отрезок, равный потере напора при входе жидкости в трубу (потеря напора в местном сопротивлении  $h_{ex}$ ). На участке  $L_1$  имеет место потеря напора по длине трубопровода  $h_{L1}$ . Для получения точки, принадлежащей напорной линии в конце участка  $L_1$ , нужно от линии полного напора после входа жидкости в трубу отложить по вертикали в конце участка  $L_1$  вниз в масштабе отрезок, соответствующий потере напора на этом участке  $h_{L1}$ . Затем от точки полного напора в конце участка  $L_1$  откладывается в масштабе отрезок, соответствующий потере напора в местном сопротивлении (внезапное расширение  $h_{ep}$ ), и так далее до конца трубопровода. Соединив точки полного напора в каждом сечении, получаем напорную линию.

Пьезометрическая линия показывает, как изменяется пьезометрический напор (удельная потенциальная энергия) по длине потока. Удельная потенциальная энергия меньше полной удельной энергии на величину удельной кинетической энергии  $\alpha V^2/2g$ . Поэтому, чтобы построить пьезометрическую линию, нужно на каждом участке вычислить величину  $\alpha V^2/2g$  в начале и в его конце и соединив полученные точки, построить пьезометрическую линию.

Графики напорной и пьезометрической линий будут построены правильно, только в том случае, если при их построении были выдержаны принятые вертикальный и горизонтальный масштабы, а также верно вычислены потери напора по длине  $\sum h_l$  и местные  $\sum h_m$  и все скоростные напоры  $\alpha V^2/2g$ .

Для того чтобы проверить правильность построения напорной и пьезометрической линий, необходимо помнить следующее:

1. Напорная линия вниз по течению всегда убывает.
2. Поскольку потеря энергии потока на трение зависит от скорости движения жидкости, интенсивность потери напора (потеря напора на единицу длины или гидравлический уклон) будет больше на том участке, где скорость больше. Следовательно, на участках с меньшими диаметрами и большими скоростями наклон напорной и пьезометрической линии будет больше.
3. В отличие от напорной пьезометрическая линия может вниз по течению как убывать, так и возрастать (при переходе с меньшего сечения на большее).
4. В пределах каждого участка пьезометрическая линия должна быть параллельна напорной, поскольку в пределах каждого участка постоянна величина  $\alpha V^2/2g$ .
5. На тех участках, где скорость больше, расстояние между напорной и пьезометрической линиями больше.
6. Как бы ни изменялась пьезометрическая линия по длине потока, при выходе его в атмосферу (свободное истечение), она неизбежно должна приходиться в центр тяжести выходного сечения. Это происходит, потому что пьезометрическая линия показывает изменение избыточного давления по длине трубопровода, которое в выходном сечении равно нулю, поскольку в выходном сечении абсолютное давление равно атмосферному. После построения напорной и пьезометрической линий на графике показывают все потери напора и все скоростные напоры с указанием их численных значений. Примерный вид графика приведен на рис. 1.2.

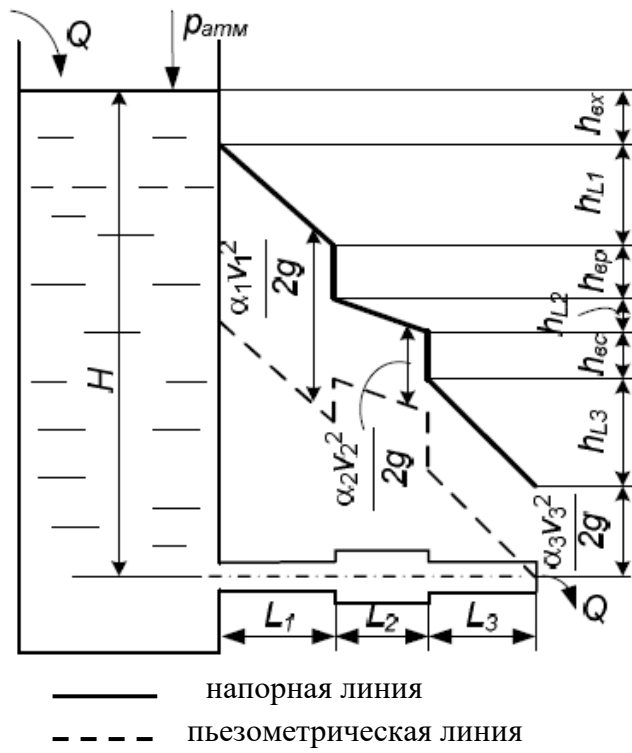


Рис. 1.2 Построение напорной и пьезометрической линии