

Задача 8.17

$$d_y = 250 \text{ мм} = 0,25 \text{ м}$$

$$d_{yA} = 60 \text{ мм} = 0,06 \text{ м}$$

$$d_{yB} = 125 \text{ мм} = 0,125 \text{ м}$$

$$l = 450 \text{ м}$$

$$l_A = 56 \text{ м}$$

$$l_B = 110 \text{ м}$$

$$z = 76 \text{ м}$$

$$z_a = 97 \text{ м}$$

$$z_6 = 85 \text{ м}$$

$$W = 210 \text{ л}$$

$$\tau = 80 \text{ с}$$

$$R = ?$$

В точке разветвления трубопровода напор для обоих разветвлений одинаков. Потому найдя потерю напора в трубопроводе А, найдем расход воды в трубопроводе Б
1) находим потерю напора на трубопроводе А, для чего Составим уравнение Бернулли сечения 1-1 проходящего по сечению трубы в районе разветвления и сечения 2-2 на выходе воды в бак А. Плоскость сравнения совпадает с сечением 1-1.

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho \cdot g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2 \cdot g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2 \cdot g} + h_{nom(1-2)}$$

здесь $z_1=0$, $z_2 = z_a - z_6 + x$ где x некоторая величина отстояния уровня z_6 от разветвления трубопровода, $p_1 = p$, $p_2 = p_{atmv} = 0$ так как расчет ведется для избыточного давления; $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$ - исходя из предположения, что поток воды в трубе турбулентный, $v_1 = v_2$ исходя из неразрывности потока.

$h_{nom(1-2)}$ - потери напора по длине и от местных сопротивлений.

Подставляя в уравнение Бернулли известные значения и проведя сокращения, получим:

$$\frac{p}{\rho \cdot g} = z_a - z_6 + x + h_{nom(1-2)} \quad (1)$$

Составим второе уравнение Бернулли сечения 1-1 проходящего по сечению трубы в районе разветвления и сечения 3-3 на выходе воды в бак Б. Плоскость сравнения совпадает с осью трубы

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho \cdot g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2 \cdot g} = z_3 + \frac{p_3}{\rho \cdot g} + \frac{\alpha_3 v_3^2}{2 \cdot g} + h_{nom(1-3)}$$

здесь $z_1=0$, $z_3 = 0$, $p_1 = p$,

$$\frac{p_2}{\rho \cdot g} = x \text{ некоторая величина отстояния уровня } z_6 \text{ от разветвления трубопровода}$$

$v_1 = v_3$ исходя из неразрывности потока.

$h_{nom(1-3)}$ - потери напора по длине и от местных сопротивлений.

Подставляя в уравнение Бернулли известные значения и проведя сокращения, получим:

$$\frac{p}{\rho \cdot g} = x + h_{nom(1-3)} \quad (2)$$

Так как левые части в уравнении (1) и (2) равны, равны и правые.

$$z_a - z_6 + x + h_{nom(1-2)} = x + h_{nom(1-3)} \text{ проведя сокращения, получим}$$

$$h_{nom(1-3)} = z_a - z_6 + h_{nom(1-2)} \quad (3)$$

Здесь искомым является поиск расхода воды в трубе б через потерю напора.

$$1) h_{nom(1-2)} = \left(\lambda_A \cdot \frac{l_A}{d_{yA}} \right) \cdot \frac{v_A^2}{2 \cdot g} \quad (4)$$

Так как никаких данных по местным сопротивлениям не дано, ими пренебрегаем

$$Q_A = \frac{W}{\tau} = \frac{210}{80} = 2,625 \text{ л / с} = 2,625 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 / \text{с}$$

Скорость воды в трубе А определяем по уравнению

$$v_A = \frac{Q_A}{S_A} = \frac{Q_A}{0,785 \cdot d_{yA}^2} = \frac{2,625 \cdot 10^{-3}}{0,785 \cdot 0,06^2} = 0,93 \text{ м/с}$$

Определяем коэффициент терния λ , для чего вычисляем число Рейнольдса

$$Re_1 = \frac{v_1 \cdot d_1}{\nu} = \frac{0,93 \cdot 0,06}{1,006 \cdot 10^{-6}} = 55467$$

здесь ν - коэффициент кинематической вязкости воды при температуре 20°C

$$\text{Вычисляем относительную шероховатость трубы } e = \frac{\Delta}{d_1} = \frac{0,0001}{0,06} = 1,66 \cdot 10^{-3}$$

где $\Delta=0,0001\text{м}$ для электросварной новой трубы

Поток турбулентный, определяем зону трения

$$\text{Для зона гладкого трения } 2320 < Re < \frac{10}{e} = 6000$$

$$\text{Для зоны смешанного трения } \frac{10}{e} = 5000 < Re < \frac{560}{e} = 337350$$

В нашем случае имеет место турбулентное движение воды в зоне смешанного трения.

Коэффициент трения вычисляется для этой зоны по формуле

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(e + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} = 0,11 \cdot \left(0,00166 + \frac{68}{55467} \right)^{0,25} = 0,0255$$

Подставляя полученные значения в уравнения (4) получим

$$h_{nom(1-2)} = \left(\lambda_A \cdot \frac{l_A}{d_{yA}} \right) \cdot \frac{v_A^2}{2 \cdot g} = \left(0,0255 \cdot \frac{56}{0,06} \right) \cdot \frac{0,93^2}{2 \cdot 9,81} = 1,05 \text{ м}$$

Подставляя значения потерь в уравнение (3) получим

$$h_{nom(1-3)} = H_{нап} = z_a - z_б + h_{nom(1-2)} = 97 - 85 + 1,05 = 13,05 \text{ м}$$

Который условно является напором для трубопровода Б

Так как $h_{nom(1-3)} = \left(\lambda_B \cdot \frac{l_B}{d_{yB}} \right) \cdot \frac{v_B^2}{2 \cdot g}$ находим скорость воды в трубопроводе

$$v_B = \sqrt{\frac{h_{nom(1-3)} \cdot 2 \cdot g \cdot d_{yB}}{\lambda_B \cdot l_B}}$$

Предполагая, что поток будет турбулентным, в квадратичной области трения ,

$$\text{рассчитываем коэффициент трения } \lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{\Delta}{d_{yB}} \right)^{0,25} = 0,11 \cdot \left(\frac{0,0001}{0,125} \right)^{0,25} = 0,0185$$

$$v_B = \sqrt{\frac{h_{nom(1-3)} \cdot 2 \cdot g \cdot d_{yB}}{\lambda_B \cdot l_B}} = \sqrt{\frac{13,05 \cdot 2 \cdot 9,81 \cdot 0,125}{0,0185 \cdot 110}} = 3,966 \text{ м/с}$$

$$\text{Вычисляем число Рейнольдса } Re = \frac{v_B \cdot d_{yB}}{\nu} = \frac{3,966 \cdot 0,125}{1,006 \cdot 10^{-6}} = 492793$$

$$\frac{560}{\left(\frac{\Delta}{d_{yB}} \right)} = 700000$$

Так как предположение о квадратичности зоны трения оказалось неверным, необходимо произвести пересчет коэффициента трения

Расчет потери напора в трубе Б произведем графоаналитическим методом

Задаваясь значениями расходов, строим характеристику трубопровода. На пересечении линии напора $h_{ном(1-3)}$ и характеристики трубопровода находим расход воды.

1) Задаемся значением Q ,

2) Вычисляем скорость воды в $v_B = \frac{Q}{0,785 \cdot d_{yB}^2}$

3) Вычисляем $Re = \frac{v_B \cdot d_{yB}}{\nu}$

Для зоны смешанного трения $\frac{10}{e} = 10000 < Re < \frac{560}{e} = 700000$

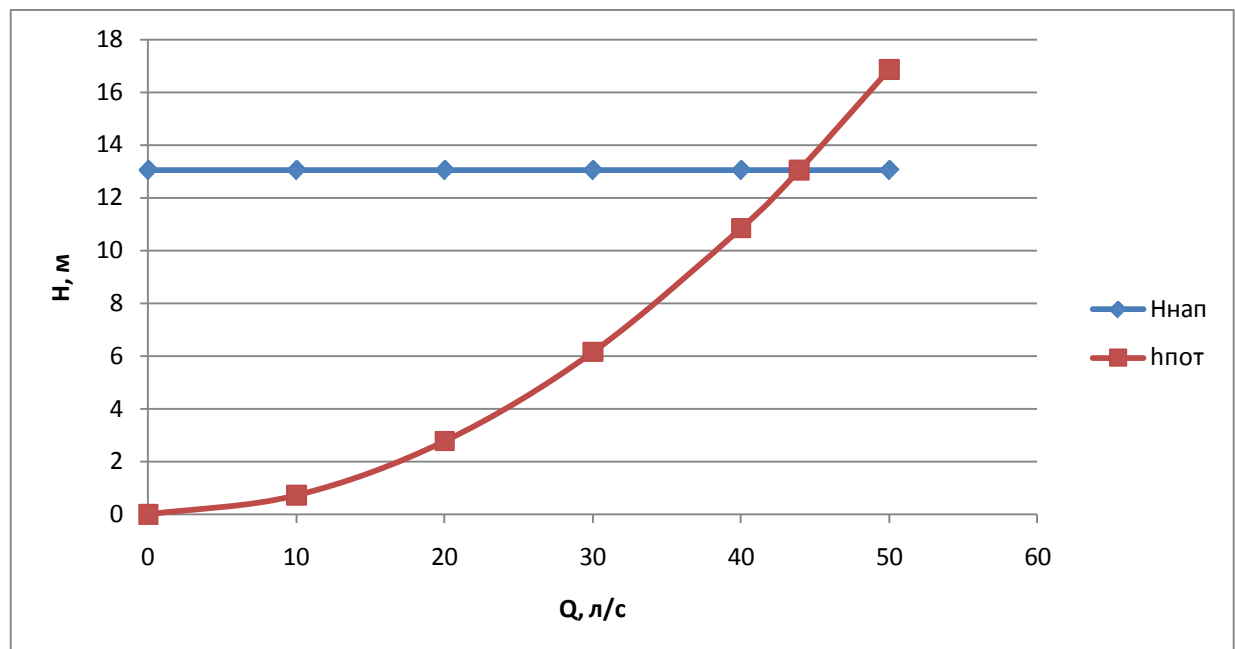
В нашем случае имеет место турбулентное движение воды в зоне смешанного трения. Коэффициент трения вычисляется для этой зоны по формуле

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(e + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} = 0,11 \cdot \left(0,00166 + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}$$

3) $\Delta h = \left(\lambda_B \cdot \frac{l_B}{d_{yB}} \right) \cdot \frac{v_B^2}{2 \cdot g}$ потеря напора

7-Данные сводим в таблицу, строим график

Q, л/с	0	10	20	30	40	43,91	50
v, м/с	0	0,815	1,631	2,446	3,261	3,58	4,076
Re	0	101303	202606	303909	405212	444871	506515
λ	0	0,0242	0,0232	0,0229	0,0227	0,0227	0,0226
Δh , м	0	0,721	2,773	6,149	10,849	13,050	16,874
$H_{нап}$, м	13,05	13,05	13,05	13,05	13,05	13,05	13,05



Расход воды в трубопроводе Б $Q_B = 43,91$ л/с

Общий расход воды в трубопроводе $d_y = 250$ мм = 0,25 м

$$Q = Q_A + Q_B = 2,625 + 43,91 = 46,54 \text{ л/с}$$

Определяем потери напора на участке общей трубы от исследуемого поворота трубы до разветвления трубопровода.

$$h_{ном} = \lambda \cdot \frac{l}{d_y} \cdot \frac{v_y^2}{2 \cdot g}$$

$$\text{здесь } v_y = \frac{Q}{0,785 \cdot d_y^2} = \frac{46,54 \cdot 10^{-3}}{0,785 \cdot 0,25^2} = 0,949 \text{ м/с}$$

$$\text{число Рейнольдса } Re = \frac{v_y \cdot d_y}{\nu} = \frac{0,949 \cdot 0,25}{1,006 \cdot 10^{-6}} = 235835$$

$$\text{Вычисляем относительную шероховатость трубы } e = \frac{\Delta}{d_y} = \frac{0,0001}{0,25} = 4 \cdot 10^{-4}$$

где $\Delta = 0,0001 \text{ м}$ для электросварной новой трубы

Поток турбулентный, определяем зону трения

$$\text{Для зоны смешанного трения } \frac{10}{e} = 25000 < Re < \frac{560}{e} = 1400000$$

В нашем случае имеет место турбулентное движение воды в зоне смешанного трения.

Коэффициент трения вычисляется для этой зоны по формуле

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(e + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} = 0,11 \cdot \left(0,0004 + \frac{68}{235835} \right)^{0,25} = 0,0178$$

$$h_{ном} = \lambda \cdot \frac{l}{d_y} \cdot \frac{v_y^2}{2 \cdot g} = 0,0178 \cdot \frac{450}{0,25} \cdot \frac{0,949^2}{2 \cdot 9,81} = 0,735 \text{ м}$$

Давление воды в месте поворота магистральной трубы

$$p = (h_{ном} + h_{ном(1-3)}) \cdot \rho \cdot g = (0,735 + 13,05) \cdot 1000 \cdot 9,81 = 135231 \text{ Па}$$

$$R = \sqrt{P_1 + P_2} = \sqrt{\left(p \cdot \frac{\pi \cdot d_y^2}{4} \right)^2 + \left(p \cdot \frac{\pi \cdot d_y^2}{4} \right)^2} =$$

Сила

$$\sqrt{\left(135231 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,25^2}{4} \right)^2 + \left(135231 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,25^2}{4} \right)^2} = 9383 \text{ Н}$$

Ответ: $R = 9383 \text{ Н}$

Задача 8.13

- 1) Определяем расход воды через прямоугольный слив.

$$Q = 550 \text{ м}^3 / \text{час} = 0,153 \text{ м}^3 / \text{с}$$

$$p = 1,4 \text{ м}$$

$$b = 0,6 \text{ м}$$

$$l = 22 \text{ м}$$

$$\Delta Z = 1,2 \text{ м}$$

$$d = 200 \text{ мм}$$

$$\Delta \vartheta = 0,1 \text{ мм}$$

$$H, Q_1, Q_2, = ?$$

Так как не задано иное принимаем, что ширина подводящего русла равна ширине водослива, и потому рассчитываем водослив без бокового сжатия.

Так как не задан геометрический напор слива H принимаем его самостоятельно. $H=0,2 \text{ м}$ (хотя в условии задачи он оговорен, но видимо забыли внести в таблицу)

Коэффициент расхода также оговаривается, однако в таблицу не внесен. Поэтому его рассчитываем по формуле

$$m = 0,402 + 0,054 \cdot \frac{H}{p} = 0,402 + 0,054 \cdot \frac{0,2}{1,4} = 0,41$$

Расход через прямоугольный водослив с тонкой стенкой без бокового сжатия,

$$\text{рассчитывается по формуле } Q_1 = m \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot H^{\frac{3}{2}} \cdot \sigma_3 \quad (1)$$

здесь $\sigma_3 = 1$ коэффициент затопления, который равен 1 так как верхний и нижний бьефы связаны, то есть затопления нет.

$$\text{Подставляя значения в формулу (1) получим: } Q_1 = 0,41 \cdot 0,6 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81} \cdot 0,2^{\frac{3}{2}} \cdot 1 = 0,0975 \text{ м}^3 / \text{с}$$

- 2) Для определения расхода через трубу составим уравнение уравнение Бернулли для сечения 1-1 проходящего по поверхности воды в водосливе и сечения 2-2 на выходе воды в лоток В. Плоскость сравнения совпадает с сечением 2-2.

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho \cdot g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2 \cdot g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2 \cdot g} + h_{\text{ном}(1-2)}$$

здесь $z_1 = p + H + \Delta z$, $z_2 = 0$, $p_1 = p_2 = p_{\text{атм}}$ так как расчет ведется для избыточного давления; $\alpha_2 = 1$ - исходя из предположения, что поток воды в трубе турбулентный, $v_1 = 0$ так как уровень воды не меняется

$h_{\text{ном}(1-2)}$ - потери напора по длине и от местных сопротивлений.

Подставляя в уравнение Бернулли известные значения и проведя сокращения, получим:

$$p + H + \Delta z = \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + h_{\text{ном}(1-2)} \quad (2)$$

$$h_{\text{ном}(1-2)} = \left(\zeta_{\text{вх}} + \zeta_{\text{вент}} + 2 \cdot \zeta_{\text{кол}} + \lambda \cdot \frac{1}{d} \right) \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g}$$

$\zeta_{\text{вент}} = 1,5$ коэффициент сопротивления вентиля

$\zeta_{\text{вх}} = 0,5$ коэффициент сопротивления от входа воды в трубу

$\zeta_{\text{кол}} = 1,8$ коэффициент сопротивления колена на 90°

Коэффициент λ рассчитываем для случая квадратичного терния

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{\Delta \vartheta}{d} \right)^{0,25} = 0,11 \cdot \left(\frac{0,0001}{0,2} \right)^{0,25} = 0,0164$$

Подставляя полученные значения в (2), получим

$$1,4 + 0,2 + 1,2 = \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + \left(0,5 + 1,5 + 2 \cdot 1,8 + 0,0164 \cdot \frac{22}{0,2} \right) \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g} \rightarrow 2,8 = 8,404 \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g} \text{ отсюда}$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{2,8 \cdot 2 \cdot 9,81}{8,404}} = 2,557 \text{ м}$$

По скорости и диаметру трубы определяем расход

$$Q_2 = v_2 \cdot S = v_2 \cdot 0,785 \cdot d^2 = 2,557 \cdot 0,785 \cdot 0,2^2 = 0,0802 \text{ м}^3 / \text{с}$$

Суммируя расходы, получим: $Q = Q_1 + Q_2 = 0,0975 + 0,0802 = 0,1777 \text{ м}^3 / \text{с}$

Так как суммарный расчетный расход больше заданного, необходимо произвести расчет повторно до получения ошибки в пределах 3%.

Так как значение напора H на водосливе имеет большее значение для расхода на водосливе, принимаем расход на трубе равный расчетному, $Q_2 = 0,0802 \text{ м}^3 / \text{с}$. Расход на водосливе получим как разницу между заданным общим расходом и расчетным расходом на трубе $Q_{1p} = Q - Q_2 = 0,153 - 0,0802 = 0,0728 \text{ м}^3 / \text{с}$

По расходу находим напор на водосливе из уравнения $Q_1 = m \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H^{\frac{3}{2}}} \cdot \sigma_3 \rightarrow$

$$H_1 = \left(\frac{Q_1}{m \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g}} \right)^{0,66} = \left(\frac{0,0728}{0,41 \cdot 0,6 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81}} \right)^{0,66} = 0,168 \text{ м}$$

Проверяем значение коэффициента расхода

$$m = 0,402 + 0,054 \cdot \frac{H}{p} = 0,402 + 0,054 \cdot \frac{0,168}{1,4} = 0,408$$

Производим пересчет напора с учетом коэффициента расхода

$$H_2 = \left(\frac{Q_1}{m \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g}} \right)^{0,66} = \left(\frac{0,0728}{0,408 \cdot 0,6 \cdot \sqrt{2 \cdot 9,81}} \right)^{0,66} = 0,168 \text{ м}$$

Подставляя значение напора на водосливе H_2 в уравнение (2), получим

$$p + H_2 + \Delta z = \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + h_{\text{ном}(1-2)} \rightarrow 1,4 + 0,168 + 1,2 = \frac{v_2^2}{2 \cdot g} + \left(0,5 + 1,5 + 2 \cdot 1,8 + 0,0164 \cdot \frac{22}{0,2} \right) \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g}$$

$$\text{Отсюда } 2,768 = 8,404 \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g}, \text{ отсюда } v_2' = \sqrt{\frac{2,768 \cdot 2 \cdot 9,81}{8,404}} = 2,542 \text{ м/с}$$

По скорости и диаметру трубы определяем расход

$$Q_2' = v_2' \cdot S = v_2' \cdot 0,785 \cdot d^2 = 2,542 \cdot 0,785 \cdot 0,2^2 = 0,07982 \text{ м}^3 / \text{с}$$

Суммарный расход $Q_p = Q_{1p} + Q_2' = 0,0728 + 0,07982 = 0,1527 \text{ м}^3 / \text{с}$

Заданный расход $Q = 0,153 \text{ м}^3 / \text{с}$

$$\text{Определяем ошибку расчета } \delta = \frac{Q - Q_p}{Q} \cdot 100 = \frac{0,153 - 0,1527}{0,153} \cdot 100 = 0,196\%$$

Так как ошибка расчета меньше допустимых 3%, расчет прекращаем.

Ответ : Напор на водосливе $H_2 = 0,168 \text{ м}$,

Расход на водосливе $Q_{1p} = 0,0728 \text{ м}^3 / \text{с}$

Расход воды на трубе $Q_2' = 0,07982 \text{ м}^3 / \text{с}$