Задача 8.17

$d_y = 250мм = 0{,}25м$

$d_{yA} = 60мм = 0{,}06м$

$d_{yБ} = 125мм = 0{,}125м$

$l = 450м$

$l_A = 56м$

$l_B = 110м$

$z = 76м$

$z_а = 97м$

$z_б = 85м$

$W = 210л$

$\tau = 80с$

$R = ?$

В точке разветвления трубопровода напор для обоих разветвлений одинаков. Потому найдя потерю напора в трубопровода 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.

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

здесь z_1=0, $z_2 = z_a - z_б + x$ где x некоторая величина отстояния уровня $z_б$ от разветвления трубопровода , $p_1 = p$, $p_2 = p_{атмv} = 0$ 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.

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

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

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

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

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

здесь z_1=0, $z_3 = 0$, $p_1 = p$,

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

$v_1 = v_3$ исходя из неразрывности потока.

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

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

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

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

$z_a - z_б + x + h_{пот(1-2)} = x + h_{пот(1-3)}$ проведя сокращения, получим

$$h_{пот(1-3)} = z_a - z_б + h_{пот(1-2)} \quad (3)$$

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

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

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

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

Скорость воды в трубе А определяем по уравнению

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

Определяем коэффициент терния λ, для чего вычисляем число Рейнольдса

$$\mathrm{Re}_1 = \frac{\mathrm{v}_1 \cdot d_1}{\nu} = \frac{0{,}93 \cdot 0{,}06}{1{,}006 \cdot 10^{-6}} = 55467$$

здесь ν - коэффициент кинематической вязкости воды при температуре 20^{0}С

Вычисляем относительную шероховатость трубы $e = \frac{\Delta}{\mathrm{d}_1} = \frac{0{,}0001}{0{,}06} = 1{,}66 \cdot 10^{-3}$

где Δ=0,0001м для электросварной новой трубы

Поток турбулентный, определяем зону трения

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

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

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

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

Подставляя полученные значения в уравнения (4) получим

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

Подставляя значения потерь в уравнение (3) получим

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

Который условно является напором для трубопровода Б

Так как $h_{пот(1-3)} = \left(\lambda_Б \cdot \frac{\mathrm{l_Б}}{\mathrm{d_{yБ}}}\right) \cdot \frac{v_Б{}^2}{2 \cdot g}$ находим скорость воды в трубопроводе

$$v_Б = \sqrt{\frac{h_{пот(1-3)} \cdot 2 \cdot g \cdot \mathrm{d_{yБ}}}{\lambda_Б \cdot \mathrm{l_Б}}}$$

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

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

$$v_Б = \sqrt{\frac{h_{пот(1-3)} \cdot 2 \cdot g \cdot \mathrm{d_{yБ}}}{\lambda_Б \cdot \mathrm{l_Б}}} = \sqrt{\frac{13{,}05 \cdot 2 \cdot 9{,}81 \cdot 0{,}125}{0{,}0185 \cdot 110}} = 3{,}966 м/с$$

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

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

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 $h_{nom(1-3)}$ и характеристики трубопровода находим расход воды.

1) Задаемся значением Q,

2)Вычисляем скорость воды в $v_Б = \dfrac{Q}{0{,}785 \cdot d_{уБ}^{\;2}}$

3)Вычисляем $\mathrm{Re} = \dfrac{v_Б \cdot \mathrm{d}_{уБ}}{\nu}$

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

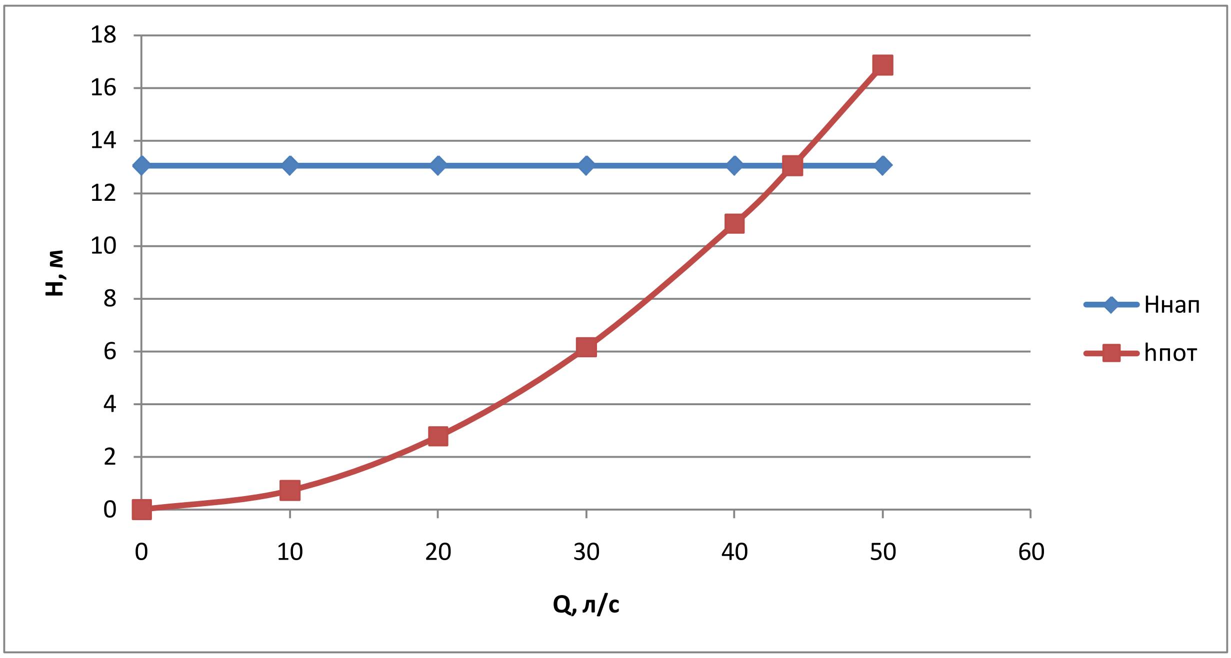
В нашем случае имеет место турбулентное движение воды в зоне смешанного трения. Коэффициент трения вычисляется для этой зоны по формуле

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

3) $\Delta h = \left(\lambda_Б \cdot \dfrac{\mathrm{l}_Б}{\mathrm{d}_{уБ}} \right) \cdot \dfrac{v_Б^{\;2}}{2 \cdot g}$ 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 $Q_Б = 43{,}91 л/с$

Общий расход воды в трубопроводе $\mathrm{d}_у = 250мм = 0{,}25м$

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

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

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

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

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

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

где Δ=0,0001м для электросварной новой трубы

Поток турбулентный, определяем зону трения

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

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

Коэффициент трения вычисляется для этой зоны по формуле

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

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

Давление воды в месте поворота магистральной трубы

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

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

Сила

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

Ответ: $R = 9383 H$

Задача8.13

1) Определяем расход воды через прямоугольный слив.

$Q = 550 м^3/час = 0{,}153 м^3/с$

$p = 1{,}4 м$

$b = 0{,}6 м$

$l = 22 м$

$\Delta Z = 1{,}2 м$

$d = 200 мм$

$\Delta э = 0{,}1 мм$

$H, Q_1, Q_2, = ?$

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=0,2м (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, рассчитывается по формуле $Q_1 = m \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot H^{\frac{3}{2}} \cdot \sigma_з$ (1)

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

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

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.

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

здесь z_1=p+H+ Δz, $z_2 = 0$, $p_1 = p_2 = p_{атмv}$ 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

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

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

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

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

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

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

$\zeta_{кол} = 1{,}8$ коэффициент сопротивления колена на 90^0

Коэффициент λ рассчитываем для случая квадратичного терния

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

Подставляя полученные значения в (2), получим

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

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

По скорости и диаметру трубы определяем расход

$$\mathrm{Q}_2 = v_2 \cdot S = v_2 \cdot 0{,}785 \cdot d^2 = 2{,}557 \cdot 0{,}785 \cdot 0{,}2^2 = 0{,}0802 м$$

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

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

Так как значение напора Н на водосливе имеет большее значение для расхода на водосливе, принимаем расход на трубе равный расчетному, $\mathrm{Q}_2 = 0{,}0802 м$ Расход на водосливе получим как разницу между заданным общим расходом и расчетным расходом на трубе $Q_{1p} = Q - Q_2 = 0{,}153 - 0{,}0802 = 0{,}0728 м^3/с$

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

$$\mathrm{H}_1 = \left(\frac{Q_1}{m \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g}} \right)^{0{,}66} = \left(\frac{0{,}0728}{0{,}41 \cdot 0{,}6 \cdot \sqrt{2 \cdot 9{,}81}} \right)^{0{,}66} = 0{,}168 м$$

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

$$\mathrm{H}_2 = \left(\frac{Q_1}{m \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g}} \right)^{0{,}66} = \left(\frac{0{,}0728}{0{,}408 \cdot 0{,}6 \cdot \sqrt{2 \cdot 9{,}81}} \right)^{0{,}66} = 0{,}168 м$$

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

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

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

По скорости и диаметру трубы определяем расход

$$\mathrm{Q}_2' = v_2' \cdot S = v_2' \cdot 0{,}785 \cdot d^2 = 2{,}542 \cdot 0{,}785 \cdot 0{,}2^2 = 0{,}07982 м^3/с$$

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

Заданный расход $Q = 0{,}153 м^3/с$

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

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

Ответ : Напор на водосливе $\mathrm{H}_2 = 0{,}168 м$,

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

Расход воды на трубе $\mathrm{Q}_2' = 0{,}07982 м^3/с$