

## Описание

решить задачу вариант 87 (напор воды  $H, \text{м} - 44$ , диаметр  $d, \text{м} - 1,6$ )



Срок сдачи:

6 апреля 2023 15:00

## Задача 2

Определить расход воды в водопроводной чугунной трубе переменного сечения (рис. 1) при следующих данных: напор воды  $H = 44$  м; длины отдельных участков трубопровода  $L_1=65$  м,  $L_2=150$  м,  $L_3=220$  м; диаметры:  $d_1=0,60$  м,  $d_2 = 1,6$  м,  $d_3=0,70$  м.

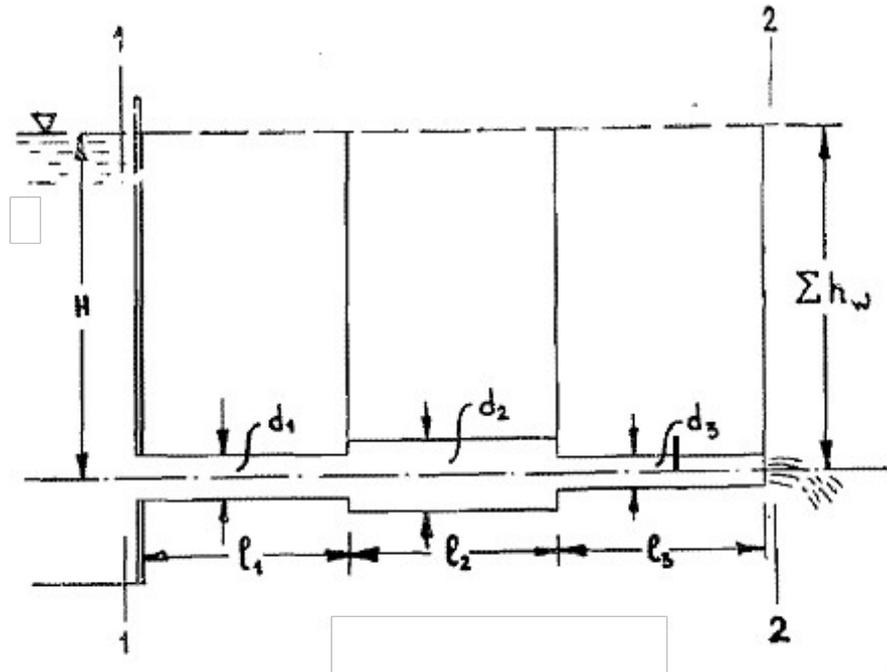


Рис. 1

По результатам расчётов построить линии гидравлического и пьезометрического уклонов.

*Примечание.* При решении задачи следует:

1) совместив плоскость отсчёта с осью трубопровода и пренебрегая скоростью подхода, составить уравнение Бернулли для крайних створов трубопровода;

2) по учебнику пп. 3.15 и 3.16 или справочникам определить коэффициенты сопротивления (для нахождения коэффициента гидравлического трения воспользуйтесь формулой Ф. А. Шевелева, для

коэффициента сопротивления при резком сужении – формулой И.Е. Идельчика);

3) принять коэффициент неравномерности распределения скоростей по сечению потока  $\alpha = 1$ .

*Исходные данные:*

$H = 44$  м;  $L_1 = 65$  м,  $L_2 = 150$  м,  $L_3 = 220$  м;

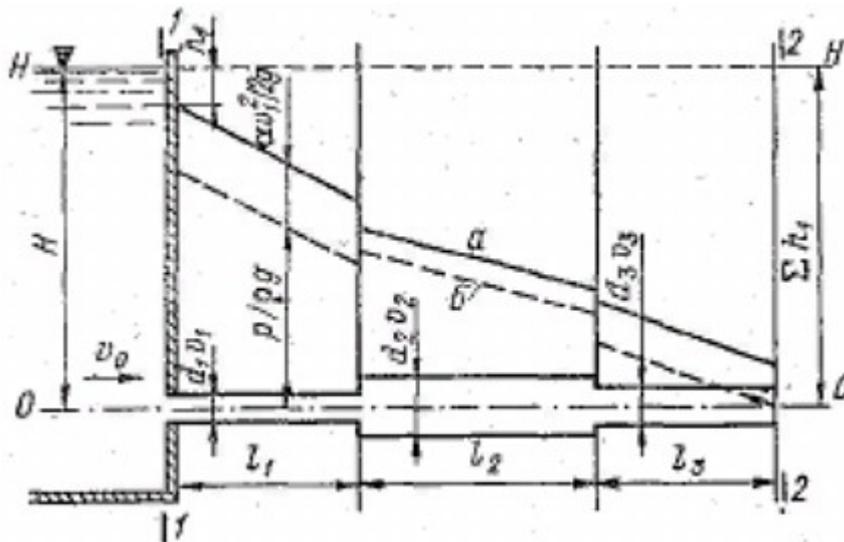
$d_1 = 0,60$  м,  $d_2 = 1,6$  м,  $d_3 = 0,70$  м.

*Найти:* 1) расход воды  $Q$ , м<sup>3</sup>/с; 2) построить линии гидравлического (а) и пьезометрического (б) уклонов.

*Решение.*

1) Совместим плоскость отсчёта с осью трубы ОО, принимая  $\alpha=1$  и пренебрегая скоростью подхода  $v_0$ , составим уравнение Бернулли для крайних створов трубопровода 1-1, 2-2 ( $d_1 < d_2 > d_3$ ):

$$H = \sum h_f = h_{ex} + h_{l_1} + h_{p.p} + h_{l_2} + h_{p.c.} + h_{l_3} + h_{вых}. \quad (1)$$



*Рис. 2. К расчёту опорного трубопровода.*

Сечение 1-1 совпадает со свободной поверхностью жидкости в баке (свободная поверхность жидкости в резервуаре, из которого истекает жидкость) и сечение 2-2 расположено непосредственно после выхода из

трубопровода (выходное сечение трубопровода). За плоскость сравнения выберем ось трубопровода.

Как видно из рисунка 2 и уравнения (1), весь геометрический напор  $H$  расходуется в данной системе на местные потери (вход, резкое расширение, резкое сужение, задвижка и выход) и потери напора по длине на трение на участках  $l_1$ ,  $l_2$  и  $l_3$ .

Местные потери напора определяются по формуле:

$$h_j = \zeta_j \frac{v^2}{2g},$$

где  $v$  – скорость потока, к которой отнесена потеря напора;  $\zeta_j$  – коэффициент сопротивления, который для входа в трубопровод при острых кромках входного отверстия равен  $\zeta_{\text{вх}} = 0,50$ , для резкого расширения рассчитывается по формуле:

$$\zeta_{p.p} = \left(1 - \frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^2,$$

для резкого сужения по формуле:

$$\zeta_{p.c} = 0,5 \left(1 - \frac{\omega_2}{\omega_1}\right),$$

для выхода потока в атмосферу принимаем  $\zeta_{\text{вых}} = 1$ .

Потери напора по длине трубопровода определяются по формуле

$$h_l = \zeta_l \frac{v^2}{2g},$$

где  $\zeta_l$  – коэффициент сопротивления, равный

$$\zeta_l = \frac{\lambda l}{d}.$$

Здесь:  $l$  – длина участка трубопровода, м;  $d$  – его диаметр, м;  $\lambda$  – коэффициент гидравлического трения, который в рассматриваемом случае может быть рассчитан по формуле Шевелева:

$$\lambda = \frac{0,021}{d^{0,3}}.$$

Каждое слагаемое уравнения (1) отнесено к своей скорости  $v_1$ ,  $v_2$  и  $v_3$ . Для дальнейшего решения этого уравнения необходимо привести его к одной скорости, например к скорости  $v_3$  в выходном сечении. Для этой цели воспользуемся уравнением неразрывности, согласно которому

$$v_i = \beta_i v_3, \quad (2)$$

где 
$$\beta_i = \left( \frac{d_3}{d_i} \right)^2.$$

Уравнение (1) с учётом полученных формул можно переписать в виде:

$$H = (\zeta'_{\text{вх}} + \zeta'_{l_1} + \zeta'_{p.p.} + \zeta'_{l_2} + \zeta'_{p.c.} + \zeta'_{l_3} + \zeta'_{\text{вых}}) \frac{v_3^2}{2g} = \sum \zeta' \frac{v_3^2}{2g},$$

где  $\sum \zeta'$  – сумма приведенных коэффициентов сопротивления;

$v_3$  – скорость потока в трубе 3, м/с;

$g = 9,81 \text{ м/с}^2$  – ускорение свободного падения.

$$v_3 = \sqrt{\frac{2gH}{\sum \zeta'}}.$$

Значит, что

$$\zeta'_{\text{вх}} = 0,5 \zeta'_{l_1} = \frac{\lambda_1 * l_1}{d_1} \zeta'_{p.p.} = \left(1 - \frac{\omega_1}{\omega_2}\right)^2 \zeta'_{l_2} = \frac{\lambda_2 * l_2}{d_2} \zeta'_{p.c.} = 0,5 \left(1 - \frac{\omega_2}{\omega_1}\right) \zeta'_{l_3} = \frac{\lambda_3 * l_3}{d_3} \zeta'_{\text{вых}} = 1.$$

где  $\omega = \frac{\pi d^2}{4}$  – площадь живого сечения, м<sup>2</sup>;

$\lambda = \frac{0,021}{d^{0,3}}$  – коэффициент гидравлического трения.

$$\omega_1 = \frac{\pi d_1^2}{4} = \frac{3,14 * 0,6^2}{4} = 0,28 \text{ м}^2; \omega_2 = \frac{\pi d_2^2}{4} = \frac{3,14 * 1,6^2}{4} = 2,0 \text{ м}^2;$$

$$\omega_3 = \frac{\pi d_3^2}{4} = \frac{3,14 * 0,7^2}{4} = 0,38 \text{ м}^2.$$

$$\lambda_1 = \frac{0,021}{d_1^{0,3}} = \frac{0,021}{0,6^{0,3}} = 0,0245; \lambda_2 = \frac{0,021}{d_2^{0,3}} = \frac{0,021}{1,6^{0,3}} = 0,0182; \lambda_3 = \frac{0,021}{d_3^{0,3}} = \frac{0,021}{0,7^{0,3}} = 0,0234.$$

Тогда

$$\sum \zeta = 0,5 + \frac{0,0245 * 65}{0,6} + \left(1 - \frac{0,28}{2}\right)^2 + \frac{0,0182 * 150}{1,6} + 0,5 * \left(1 - \frac{2}{0,28}\right) + \frac{0,0234 * 220}{0,7} + 1 = 10,88.$$

$$0,5 + 2,65 + 0,74 + 1,71 - 3,07 + 7,35 + 1 = 10,88.$$

$$\sum \zeta_i' = \sum \zeta_i \beta_i^2$$

$$\beta_1 = \left(\frac{d_3}{d_1}\right)^2 = \left(\frac{0,7}{0,6}\right)^2 = 1,36; \beta_2 = \left(\frac{d_3}{d_2}\right)^2 = \left(\frac{0,7}{1,6}\right)^2 = 0,19; \beta_3 = \left(\frac{d_3}{d_3}\right)^2 = \left(\frac{0,7}{0,7}\right)^2 = 1,0.$$

$$\sum \zeta_i' = 0,5 * 1,85 + 2,65 * 1,85 + 0,74 * 0,04 + 1,71 * 0,04 - 3,07 * 1 + 7,35 * 1 + 1 * 1 = 10,93 + 4,9 + 0,03 + 0,07 - 3,07 + 7,35 + 1 = 11,21.$$

$$0,93 + 4,9 + 0,03 + 0,07 - 3,07 + 7,35 + 1 = 11,21.$$

Значит

$$v_3 = \sqrt{\frac{2 * 9,81 * 44}{11,21}} = 8,78 \text{ м/с.}$$

Расход воды  $Q$ , одинаковый по всей длине трубопровода, рассчитывается по формуле:

$$Q = \omega v.$$

Тогда

$$Q = v_3 * \omega_3 = 8,78 * 0,38 = 3,34 \frac{\text{м}^3}{\text{с}}.$$

$$v_1 = \frac{Q}{\omega_1} = \frac{3,34}{0,28} = 11,93 \frac{\text{м}}{\text{с}}; v_2 = \frac{Q}{\omega_2} = \frac{3,34}{2} = 1,67 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Решение задачи удобно вести по таблице.

Из скоростного напора (графа 6 таблицы 1) на каждом участке трубопровода можно получить среднюю скорость потока.

В графе 8 таблицы представлены значения последовательного суммирования местных и путевых потерь напора по длине трубопровода.

Таблица 1. Результаты расчёта

№ п/п	Наименование потерь	$\xi_i$	$\beta_i^2$	$\xi'_i = \xi_i \beta_i^2$	$\frac{v_i^2}{2g}$	$h_f$	$\sum h_f$
1	Вход	0,5	1,85	0,93	7,25	3,63	3,63
2	Путевые на участке $l_1$	2,65	1,85	4,9	7,25	19,21	22,84
3	Резкое расширение	0,74	0,04	0,03	0,14	0,1	22,94
4	Путевые на участке $l_2$	1,71	0,04	0,07	0,14	0,24	23,18
5	Резкое сужение	-3,07	1,0	-3,07	3,93	-12,07	11,11
6	Путевые на участке $l_3$	7,35	1,0	7,35	3,93	28,89	40
7	Выход	1,0	1,0	1	3,93	3,92	43,92
		$\sum \xi' = 11,21$					

2) Линии гидравлического и пьезометрического уклонов (см. рис. 2) строятся по данным граф 6 и 8. Для этого необходимо от плоскости отсчета  $OO$  в масштабе отложить напор  $H$  и в этом же масштабе от напорной линии

$H - H$  вниз отложить сначала потери напора в нарастающем итоге (графа 8), а затем скоростной напор (графа 6).

Строим линии гидравлического (синий цвет графика) и пьезометрического (красный цвет графика) уклонов на всех участках трубопровода.

