

Введение

Целью работы является закрепление знаний, полученных при изучении теоретического материала, выработка навыков практического применения этих знаний при решении инженерных задач на примере расчета простого трубопровода заданной геометрии.

Простым трубопроводом называют трубопровод, по которому жидкость транспортируется без промежуточных ответвлений потока.

Исходным при расчетах простого трубопровода является уравнение Бернулли, составленное для потока жидкости от плоскости свободной поверхности питающего резервуара до плоскости выходного сечения трубопровода. При установившемся движении жидкости имеем

$$z_0 + \frac{p_0}{\gamma} + \alpha_0 \frac{v_0^2}{2g} = z_k + \frac{p_k}{\gamma} + \alpha_k \frac{v_k^2}{2g} + \sum h_n \quad (01)$$

где: $z_0; z_k$ – ординаты, определяющие высоту положения центра выбранного сечения над произвольной горизонтальной плоскостью сравнения.

$\frac{p_0}{\gamma}; \frac{p_k}{\gamma}$ – пьезометрический напор в сечениях 0–0 и К–К.

$\alpha_0 \frac{v_0^2}{2g}; \alpha_k \frac{v_k^2}{2g}$ – скоростной напор в сечениях 0–0 и К–К.

$\alpha_0; \alpha_k$ – коэффициенты Кориолиса, учитывающие неравномерность распределения скоростей в соответствующих живых сечениях потока.

$\sum h_n$ – сумма потерь напора на пути между выбранными сечениями, состоящая из потерь на трение по длине и потерь в местных сопротивлениях.

Для удобства расчетов вводится понятие располагаемого напора трубопровода

$$H = \left(z_0 + \frac{p_0}{\gamma} \right) - \left(z_k + \frac{p_k}{\gamma} \right) \quad (0 2)$$

который представляет перепад гидравлических напоров, действующих в выбранных сечениях потока.

Преобразуя, с учетом (0 2), уравнение Бернулли (0 1), получим общий вид расчетного уравнения простого трубопровода

$$H = \alpha_0 \frac{v_0^2}{2g} - \alpha_k \frac{v_k^2}{2g} + \sum h_n \quad (0 3)$$

Так как площадь свободной поверхности питающего резервуара достаточно велика по сравнению с сечением трубопровода, скорости в сечении 0–0 будут малы и скоростным напором в этом сечении можно пренебречь. После этого расчетное уравнение примет вид:

$$H = \alpha_k \frac{v_k^2}{2g} + \sum h_n \quad (0 4)$$

Выражая потери на трение по длине и местные потери формулами:

$$h_{n.mp} = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} \quad (0 5)$$

$$h_{n.m} = \zeta \frac{v^2}{2g} \quad (0 6)$$

получим:

$$H = \sum_{i=1}^n \left(\lambda_i \frac{l_i}{d_i} + \zeta_i \right) \frac{v_i^2}{2g} + \alpha_k \frac{v_k^2}{2g} \quad (0.7)$$

где: λ_i – коэффициент гидравлического трения на каждом участке

l_i – длина каждого линейного участка

d_i – диаметр трубопровода на каждом участке

ζ_i – коэффициент местных сопротивлений

v_i – средняя скорость потока на каждом участке

α_k – коэффициент Кориолиса (для турбулентного режима $\alpha_k = 1,1$, для ламинарного $\alpha_k = 2,0$);

Используя уравнение неразрывности

$$Q = v_1 S_1 \dots = v_i S_i = v_k S_k \quad (0.8)$$

получим расчетное уравнение трубопровода в окончательной форме

$$H = \frac{v_k^2}{2g} \left[\alpha_k + \sum_{i=1}^n \left(\lambda_i \frac{l_i}{d_i} + \zeta_i \right) \frac{S_k^2}{S_i^2} \right] \quad (0.9)$$

где: S_k – площадь выходного сечения трубопровода

S_i – площадь живого сечения на каждом участке

По полученным расчетным данным строятся графики напоров (диаграмма уравнения Бернулли), показывающие изменение по длине трубопровода полного напора потока и его составляющих.

Воспользовавшись этими теоретическими сведениями, плавно перейдем к практическому расчету предложенного трубопровода.

1. Разбиение трубопровода на линейные участки

На миллиметровой бумаге в масштабе вычерчивается предложенная схема трубопровода с указанием всех его геометрических размеров.

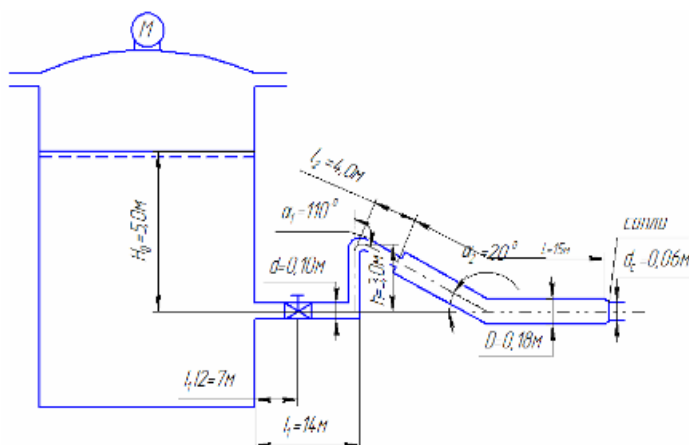


Рис. 11 Схема трубопровода (вариант: тип Ж №1)

Исходные данные:

Рм	Н0	h	d	α_1	α_2	L	D	l1	l2	dc	R	t	жидкость
кг/см ²	м	м	м	°	°	м	м	м	м	м	м	°С	
3,0	5	3	0,1	120	30	20	0,2	12	5	0,08	0,1	20	вода

Весь трубопровод условно разбивается на 7 линейных участков, границами которых служат местные сопротивления. Каждому линейному участку и каждому местному сопротивлению присваивается порядковый номер, при этом местному сопротивлению присваивается тот же порядковый номер, что и линейному участку, который оно ограничивает снизу по потоку. Местному сопротивлению «вход в трубопровод из резервуара» порядковый номер не присваивается, а значение коэффициента местного сопротивления для него $\zeta_{вх}$ суммируется со значением коэффициента местного сопротивления, имеющего порядковый номер 1, и в дальнейшем это суммарное значение используется в расчетах, как ζ_1 .

2. Определение режима движения жидкости в трубопроводе

Определяем режим движения жидкости в трубопроводе путем сравнения располагаемого напора H с его критическим значением $H_{кр}$. Располагаемый напор определяется по формуле:

$$H = H_0 + \frac{P_M}{\gamma};$$

где $H_0 = 5$ м;

$$P_M = 3,0 \text{ кг/см}^2 = 3,0 \cdot 10^5 / 1.02 = 2,94117 \cdot 10^5 \text{ Па}$$

$$\gamma = \rho \cdot g;$$

$$H = 12 + \frac{3.922 \cdot 10^5}{9,81 \cdot 1000} = 12 + 39.9796 = 51.9796 \text{ м,}$$

Формулу для получения критического напора, соответствующего переходу от ламинарного режима движения жидкости к турбулентному можно получить, воспользовавшись формулой для определения потерь напора на трение при ламинарном движении:

$$H_{лам} = \frac{64}{Re} \cdot \frac{l}{d} \cdot \frac{v^2}{2g} = \frac{32 \cdot v \cdot l \cdot v}{g \cdot d^2};$$

$$\text{где } Re = \frac{v \cdot d}{\nu}.$$

Имея в виду, что критический напор $H_{кр}$ соответствует критической скорости $v_{кр}$, подставим значение $v_{кр}$, выраженное через критическое значение числа $Re_{кр}$,

$$v_{кр} = \frac{Re_{кр} \nu}{d}$$

и получим выражение для критического напора:

$$H_{кр} = \frac{32 \cdot \nu \cdot l \cdot v_{кр}}{gd^2} = \frac{32 \cdot \nu^2 \cdot l \cdot Re_{кр}}{gd^3}$$

Значение $Re_{кр}$ можно принимать равным 2320. $\nu = 0,0111472 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ при $t=16^0\text{C}$ [1] стр. 16.

Найдем $H_{кр}$

$$H_{кр1-2} = \frac{32 \cdot (0,0111472 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 12 \cdot 2320}{9,81 \cdot 0,16^3} = 2,755 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

$$H_{кр2-4} = \frac{32 \cdot (0,0111472 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 17,5 \cdot 2320}{9,81 \cdot 0,16^3} = 4,018 \cdot 10^{-5} \text{ м}$$

$$H_{кр4-6} = \frac{32 \cdot (0,0111472 \cdot 10^{-4})^2 \cdot 25 \cdot 2320}{9,81 \cdot 0,1^3} = 23,51 \cdot 10^{-5}$$

Очевидно, что на всех участках наблюдается турбулентный режим движения, так как $H > H_{кр1}$ и $H > H_{кр2}$

3. Определение значений числа Рейнольдса, значений коэффициентов гидравлического трения и местного сопротивления

Задаемся определенным значением числа Re . В случае турбулентного режима, каковой имеет место целесообразно принимать значения

$$Re = 500 \frac{d}{\Delta_s},$$

где d_i – диаметр трубопровода на рассматриваемом участке,
 $\Delta_э$ – абсолютная величина эквивалентной равномерно-зернистой шероховатости.

$\Delta_э = 0,00005$ м [1] стр. 72 для трубы вида: стальная сварная новая чистая

$$\text{Участок 1-4: } Re = 500 \cdot \frac{0,16}{1 \cdot 10^{-4}} = 800 \cdot 10^3 ;$$

$$\text{Участок 4-6: } Re = 500 \cdot \frac{0,1}{1 \cdot 10^{-4}} = 500 \cdot 10^3 ;$$

Материал представлен <http://kursovik1.ru/unikalnye-raboty-v-pdf>

В соответствии с принятыми значениями числа Re для каждого линейного участка трубопровода определяем значение коэффициентов гидравлического трения λ_i и для каждого местного сопротивления – значение коэффициента местного сопротивления ξ_i .

$$\lambda_{1-4} = 0,11 \left(\frac{\Delta_э}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} = 0,11 \left(\frac{10 \cdot 10^{-5}}{0,16} + \frac{68}{800000} \right)^{0,25} = 0,017956$$

$$\lambda_{4-6} = 0,11 \left(\frac{\Delta_э}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} = 0,11 \left(\frac{10 \cdot 10^{-5}}{0,1} + \frac{68}{500000} \right)^{0,25} = 0,020195;$$

Находим для каждого местного сопротивления – значение коэффициента местного сопротивления ξ_i

$$\xi_1 = 0,5 \quad \text{вход в трубу} \quad [1], \text{ стр.86;}$$

$$\xi_2 = 2,06 \quad \text{вентиль} \quad [1], \text{ стр.90;}$$

$$\xi_3 = 1,1 \quad \text{резкий поворот(колесо)} \quad [1], \text{ стр.90;}$$

$$\xi'_3 = 0,162279 \quad \text{плавный поворот (отвод)}$$

где $\xi'_3 = 0,73 \cdot A \cdot B \cdot C$, A - функция угла поворота Q , при $Q = 120^\circ$, $A=1,17$;
 B - функция относительного радиуса кривизны (R_0/d) по таблице $B= 1,19$; C – функция формы поперечного сечения трубы, $C= 1$ для круглого сечения;

$$\xi_4 = 0.5 \left(1 - \frac{S_2}{S_1}\right) = 0.5(1 - 0.39) = 0.304688$$

внезапное сужение

$$\xi_5 = 0.2 \text{ резкий поворот (колени)}$$

$$\xi_6 = 0.5 \left(1 - \frac{S_2}{S_1}\right) = 0.5(1 - 0.25) = 0.375$$

внезапное сужение

4. Определение скорости истечения жидкости из трубопровода

Подставляем значения коэффициентов гидравлического трения λ_i и коэффициентов местного сопротивления ξ_i в формулу, для определения значения скорости истечения жидкости из трубопровода:

$$v_k = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot H}{\alpha_k + \sum_{i=1}^7 \left(\lambda_i \cdot \frac{l_i}{d_i} + \xi_i\right) \cdot \frac{S_k^2}{S_i^2}},}$$

Материал представлен <http://kursovik1.ru/unikalnye-raboty-v-pdf>

где $\alpha_k = 1,1$ – коэффициент Кориолиса для турбулентного режима.

$$2 \cdot g \cdot H = 2 \cdot 9,81 \cdot 52 = 1020,24;$$

Для участка 1-4

$$\left(\lambda_{1-4} \cdot \frac{l_{1-4}}{d_{1-4}} + \sum \xi_{1-4}\right) \cdot \frac{S_k^2}{S_{1-1}^2} = \left(0.017956 \cdot \frac{29.5}{0,16} + 4.322279\right) \cdot \left(\frac{0,001963495}{0.020106193}\right)^2 = 0.07093035$$

Для участка 4-6

$$\left(\lambda_{4-6} \cdot \frac{l_{4-6}}{d_{4-4}} + \sum \xi_{4-6}\right) \cdot \frac{S_k^2}{S_{4-4}^2} = \left(0.020195 \cdot \frac{25}{0,1} + 0.575\right) \cdot \left(\frac{0,001963495}{0.007853982}\right)^2 = 0.351479587$$

$$\sum_i^6 \left(\lambda_i \cdot \frac{l_i}{d_i} + \xi_i\right) \cdot \frac{S_k^2}{S_i^2} = 0.422409937$$

$$v_k = \sqrt{\frac{1020.24}{1,1 + 0.422409937}} = 25.88721724 \text{ м/с}$$

Определяем значение расхода:

$$Q = v_k \cdot S_k,$$

$$Q = 25.88721724 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,05^2}{4} = 0.050829 \text{ м}^3 / \text{с}$$

5. Определение значений скоростей на всех линейных участках трубопровода и значений числа Рейнольдса. Повторный расчет

По найденному значению расхода определяем значение скоростей на всех линейных участках трубопровода и по ним – значения чисел Re_i для каждого участка.

Если $Q = v_1 \cdot S_1 = \dots = v_i \cdot S_i = v_k \cdot S_k$, тогда

$$v_{1-4} = \frac{Q}{S_{1-1}} = \frac{0,050829}{0.020106193} = 2.528048559 \text{ м/с};$$

$$v_{4-6} = \frac{Q}{S_{4-4}} = \frac{0,050829}{0.007853982} = 6.471804 \text{ м/с};$$

Определяем число Re_i :

$$Re_{1-4} = \frac{v_{1-4} d_{1-4}}{\nu} = \frac{2.528049 \cdot 0,16}{1.11472 \cdot 10^{-6}} = 362860.42;$$

$$Re_{4-6} = \frac{v_{4-6} d_{4-4}}{\nu} = \frac{6.471804 \cdot 0,1}{1.11472 \cdot 10^{-6}} = 580576.7;$$

Так как полученные числа Re_i отличаются от принятых в начале расчетов (см. начало работы) более чем на 10%, то необходимо расчет провести вновь, при этом в основу расчета кладутся числа Re_i , полученные при выполнении данного этапа.

$$\lambda_{1-4} = 0,11 \left(\frac{\Delta_{\text{э}}}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} = 0,11 \left(\frac{0,0001}{0,16} + \frac{68}{362860,42} \right)^{0,25} = 0,018571;$$

$$\lambda_{4-6} = 0,11 \left(\frac{\Delta_{\text{э}}}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} = 0,11 \left(\frac{0,0001}{0,1} + \frac{68}{580576,7} \right)^{0,25} = 0,02011;$$

$$\xi_1 = 0,5 \quad \text{вход в трубу} \quad [1], \text{ стр.86};$$

$$\xi_2 = 2,06 \quad \text{вентиль} \quad [1], \text{ стр.90};$$

$$\xi_3 = 1,1 \quad \text{резкий поворот(колени)} \quad [1], \text{ стр.90};$$

$$\xi'_3 = 0,162279 \quad \text{плавный поворот (отвод)}$$

где $\xi'_3 = 0,73 \cdot A \cdot B \cdot C$, A - функция угла поворота Q , при $Q = 120^\circ$, $A=1,17$; B - функция относительного радиуса кривизны (R_0/d) по таблице $B= 1,19$; C – функция формы поперечного сечения трубы, $C= 1$ для круглого сечения; [1], стр.90;

$$\xi_4 = 0,5 \left(1 - \frac{S_2}{S_1} \right) = 0,5(1 - 0,39) = 0,304688 \quad \text{внезапное сужение [1], стр. 96};$$

$$\xi_5 = 0,2 \quad \text{резкий поворот (колени)} [1], \text{ стр.90}$$

$$\xi_6 = 0,5 \left(1 - \frac{S_2}{S_1} \right) = 0,5(1 - 0,25) = 0,375 \quad \text{внезапное сужение [1], стр. 96};$$

Определяем скорость истечения жидкости из трубопровода:

$$v_k = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot H}{\alpha_k + \sum_{i=1}^7 (\lambda_i \cdot \frac{l_i}{d_i} + \xi_i) \cdot \frac{S_k^2}{S_i^2}}},$$

где $\alpha_k = 1,1$ – коэффициент Кориолиса для турбулентного режима.

$$2 \cdot g \cdot H = 2 \cdot 9,81 \cdot 52 = 1020,24;$$

$$(\lambda_{1-4} \cdot \frac{l_{1-4}}{d_{1-1}} + \sum \xi_{1-4}) \cdot \frac{S_k^2}{S_{1-1}^2} = (0,018571 \cdot \frac{29,5}{0,16} + 4,322279) \cdot \left(\frac{0,001963495}{0,020106193} \right)^2 = 0,072012 ;$$

$$(\lambda_{4-6} \cdot \frac{l_{4-6}}{d_{4-4}} + \sum \xi_{4-6}) \cdot \frac{S_k^2}{S_{4-4}^2} = (0,02011 \cdot \frac{25}{0,1} + 0,575) \cdot \left(\frac{0,00196495}{0,007853982} \right)^2 = 0,350161 ;$$

$$\sum_i^7 (\lambda_i \cdot \frac{l_i}{d_i} + \xi_i) \cdot \frac{S_k^2}{S_i^2} = 0,422173 ;$$

$$v_k = \sqrt{\frac{1020,24}{1,1 + 0,422173}} = 25,88924 \text{ м/с};$$

Материал представлен <http://kursovik1.ru/unikalnye-raboty-v-pdf>

тогда расход равен:

$$Q = v_k \cdot S_k ,$$

$$Q = 25,88924 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,05^2}{4} = 0,050833 \text{ м}^3 / \text{с}$$

Определяем значения скоростей на всех линейных участках трубопровода, зная что $Q = v_1 \cdot S_1 = \dots = v_i \cdot S_i = v_k \cdot S_k$, тогда

$$v_{1-4} = \frac{Q}{S_{1-1}} = \frac{0,050833}{0,020106193} = 2,528246 \text{ м/с} ;$$

$$v_{4-6} = \frac{Q}{S_{4-4}} = \frac{0,050833}{0,007853982} = 6,472309 \text{ м/с} ;$$

Определяем число Re_i :

$$Re_{1-4} = \frac{v_{1-4} d_{1-1}}{\nu} = \frac{2.528246 \cdot 0,2}{1.11472 \cdot 10^{-6}} = 362888.7 ;$$

$$Re_{4-6} = \frac{v_{4-6} d_{4-4}}{\nu} = \frac{6.472309 \cdot 0,1}{0,11472 \cdot 10^{-6}} = 580622 ;$$

Разность в значениях Re_i составляет менее 10% следовательно можно проводить дальнейшие расчеты.

6. Определение истинных значений коэффициентов гидравлического трения

$$\lambda_{1-4} = 0,11 \left(\frac{\Delta_{\text{э}}}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} = 0,11 \left(\frac{0,0001}{0,16} + \frac{68}{362888.7} \right)^{0,25} = 0.018571;$$

$$\lambda_{4-6} = 0,11 \left(\frac{\Delta_{\text{э}}}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} = 0,11 \left(\frac{0,0001}{0,1} + \frac{68}{580622} \right)^{0,25} = 0.02011;$$

7. Определение скоростных напоров на всех линейных участках трубопровода

Определяем скоростные напоры на всех линейных участках трубопровода по формуле:

$$h_{v_i} = \alpha_i \cdot \frac{v_i^2}{2 \cdot g}, \quad \alpha_k = 1,1 - \text{для турбулентного режима.}$$

$$h_{v_{1-4}} = 1,1 \cdot \frac{2.528246^2}{2 \cdot 9,81} = 0.3583707 \text{ м;}$$

$$h_{v_{4-6}} = 1,1 \cdot \frac{6.472311^2}{2 \cdot 9,81} = 2.348618059 \text{ м;}$$

8. Определение потерь напора на трение

Определяем потери напора на трение для всех линейных участков трубопровода по формуле:

$$h_{нтр} = \lambda \cdot \frac{\ell}{d} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

$$h_{нтр1-2} = h_{нтр2-3'} = 0.018571 \cdot \frac{12}{0,16} \cdot \frac{2.528246^2}{2 \cdot 9,81} = 0,453758 \text{ м;}$$

$$h_{нтр3'-3} = 0.018571 \cdot \frac{2.5}{0,16} \cdot \frac{2.528246^2}{2 \cdot 9,81} = 0,094535 \text{ м;}$$

$$h_{нтр3-4} = 0.018571 \cdot \frac{3}{0,16} \cdot \frac{2.528246^2}{2 \cdot 9,81} = 0,113442 \text{ м;}$$

$$h_{нтр4-5} = 0.02011 \cdot \frac{1.6920252}{0,1} \cdot \frac{6.472311^2}{2 \cdot 9,81} = 0.726514 \text{ м;}$$

$$h_{нтр5-6} = 0.02011 \cdot \frac{23.3079748}{0,1} \cdot \frac{6.472311^2}{2 \cdot 9,81} = 10.00787 \text{ м;}$$

9. Определение потерь напора на местных сопротивлениях

Определяем потери напора на местные сопротивления по формуле:

$$h_{нм} = \xi \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g};$$

$$h_{нм1} = 0,5 \cdot \frac{2.528246^2}{2 \cdot 9,81} = 0.162896$$

$$h_{нм2} = 2.06 \cdot \frac{2.528246^2}{2 \cdot 9,81} = 0.671131 \text{ м;}$$

$$h_{нм3'} = 1.1 \cdot \frac{2.528246^2}{2 \cdot 9,81} = 0.358371 \text{ м;}$$

$$h_{nm3} = 0.162279 \cdot \frac{2.528246^2}{2 \cdot 9,81} = 0.052869 \text{ м ;}$$

$$h_{nm4} = 0.304688 \cdot \frac{2.528246^2}{2 \cdot 9,81} = 0.099265 \text{ м ;}$$

$$h_{nm5} = 0.2 \cdot \frac{6.472311^2}{2 \cdot 9,81} = 0.065158 \text{ м ;}$$

$$h_{nm6} = 0.375 \cdot \frac{6.472311^2}{2 \cdot 9,81} = 0.122172 \text{ м ;}$$

10. Проверка произведенных расчетов

Проводим проверку проведенных расчетов по формуле:

$$H_{np} = \alpha_K \cdot \frac{v_K^2}{2 \cdot g} + \sum h_{\Pi}$$

$$\sum h_n = \sum h_{nm} + \sum h_{nmp} = 16.47199 + 9.04642 = 25.51841 \text{ м ;}$$

$$H_{np} = 1,1 \cdot \frac{20.733^2}{2 \cdot 9,81} + 25.51841 = 49.61846 \text{ м ;}$$

$H=52$ – значение, полученное в начале расчетов,

$H_{np}=51,90544544 \text{ м}$ – значение, полученное по результатам проверки,

Ошибка расчетов составляет:

$$\Delta = \frac{52 - 51.90544544}{52} \cdot 100\% = 0,181836\%$$

, что подтверждает верность произведенных расчетов.

11. Построение диаграммы уравнения Бернулли

На миллиметровой бумаге строим напорную и пьезометрическую линии (диаграмму уравнения Бернулли).

Линия напора (удельной механической энергии потока) строится путем последовательного вычитания потерь, нарастающих вдоль потока, из начального напора потока (заданного пьезометрическим уравнением в втекающем резервуаре). Пьезометрическая линия (дающая изменение гидростатического напора потока) строится путем вычитания скоростного напора в каждом сечении из полного напора потока.

Величина пьезометрического напора $\frac{p_i}{\gamma}$ в каждом сечении определяется на графике заглублиением центра сечения под пьезометрической линией;

Величина скоростного напора $\alpha_i \frac{v_i^2}{2g}$ – вертикальным расстоянием между пьезометрической линией и линией полного напора.

Заключение

В ходе курсовой работы произведен гидравлический расчёт простого трубопровода заданной геометрии.

Рассчитаны потери напора на трение и местные сопротивления, скоростные напоры на всех линейных участках трубопровода. По расчетным данным построена диаграмма уравнения Бернулли.

Произведенная проверка показала, что все расчеты выполнены верно, о чем свидетельствует погрешность в 0,1818%.

Список использованной литературы

1. Вильнер Я.М., Ковалев Я.Т., Некрасов Б.Б. «Справочное пособие по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам». Минск, «Вышэйшая школа», 1976.
2. Примеры расчетов по гидравлике, Под. ред. А.Д, Альтшуля. М, "Стройиздат ", 1976