

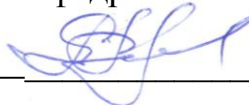
МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Тульский государственный университет»

Институт горного дела и строительства
Кафедра «Санитарно-технические системы»

Утверждено на заседании кафедры
«Санитарно-технические системы»
«20» января 2022 г., протокол № 5

Заведующий кафедрой



Р.А. Ковалев

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по проведению практических (семинарских) занятий
по дисциплине (модулю)
«Гидравлика напорных потоков»

основной профессиональной образовательной программы
высшего образования – программы магистратуры

по направлению подготовки
08.03.01 – "Строительство"

с профилем
"Водоснабжение и водоотведение"

Форма(ы) обучения: очная, заочная

Идентификационный номер образовательной программы: 080401-01-22

Тула 2022 год

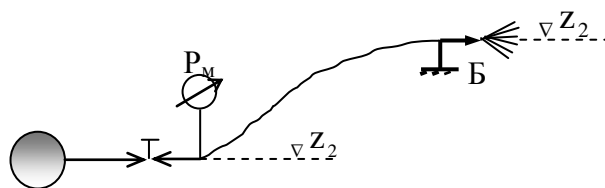
Разработчик(и) методических указаний

Белоусов Р.О., доцент, к.т.н., доцент
(ФИО, должность, ученая степень, ученое звание)



(подпись)

Расчет потока в простых трубопроводах



На отметке z_1 к магистральному трубопроводу через задвижку подсоединен пожарный (выкидной) рукав (обычный прорезиновый) диаметром d_y , длиной l . Под действием давления p_m в начале рукава у пожарного брандспойта B , расположенного на отметке z_2 , создается давление p_6 , в результате чего из брандспойта вылетает противопожарная струя воды с расходом Q (плотность воды $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$).

Известно, что $z_1 = 25 \text{ м}$, $z_2 = 37 \text{ м}$, $d_y = 50 \text{ мм}$, $l = 120 \text{ м}$, $Q = 5 \text{ л/с}$. Определить давление p_m , если требуемое значение $p_6 = 0,25 \text{ МПа}$.

Р е ш е н и е

Для обычного прорезинового рукава диаметром $d_y = 50 \text{ мм}$ по справочнику ([3], табл.3.10) находим удельное сопротивление $A = 6770 \text{ (с/м}^3)^2$.

Потери напора в пожарном рукаве

$$h_1 = A l Q^2 = 6770 \times 120 \times 0,005^2 = 20,31 \text{ м.}$$

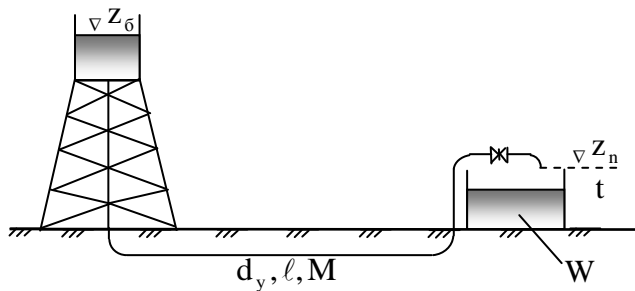
Искомое давление ([4], с.215)

$$\begin{aligned} p_m &= p_6 + \rho g [h_1 + (z_2 - z_1)] = 0,25 \times 10^6 + 1000 \times 9,81 \times \\ &\times [20,31 + (37 - 25) = 0,53 \text{ МПа}] \end{aligned}$$

В а р и а н т ы з а д а ч и

1. Известно, что $z_1 = 28 \text{ м}$, $z_2 = 35 \text{ м}$, $l = 140 \text{ м}$, $d = 66 \text{ мм}$, $Q = 10 \text{ л/с}$. Определить давление p_6 , если $p_m = 0,45 \text{ МПа}$.

2. Известно, что $z_1 = 41 \text{ м}$, $d = 77 \text{ мм}$, $l = 110 \text{ м}$, $p_m = 0,58 \text{ МПа}$, $Q = 20 \text{ л/с}$. Определить на какой отметке z_2 давление $p_6 = 0,25 \text{ МПа}$.



К водонапорной башне, расчетный уровень воды в которой находится на отметке z_6 , подсоединена труба диаметром d_y , длиной l из материала M . По этой трубе вода подается на отметку z_n для наполнения объема W не дольше, чем за интервал времени t . Расчет вести с использованием понятия "модуль расхода K ".

Известно, что $z_6 = 24$ м, $z_n = 15$ м, $W = 12$ м³, $t = 25$ мин, $l = 860$ м. Подобрать необходимый диаметр d_y стальной электросварной неновой трубы.

Решение

Минимальный возможный расход

$$Q = \frac{W}{t} = \frac{12}{25 \times 60} = 0,008 \text{ м}^3/\text{с} = 8 \text{ л/с}.$$

Располагаемый напор (возможные потери напора):

$$h_n = z_6 - z_n = 24 - 15 = 9 \text{ м}.$$

Требуемый модуль расхода трубы ([2], с.117; [4], с.215)

$$K = Q \sqrt{\frac{l}{h_n}} = 8 \times \sqrt{\frac{860}{9}} = 78,2 \text{ л/с}.$$

По табл. 3.4 [3] находим, что для стальных электросварных труб ближайшее большее значение $K_{\text{кв}} = 114,5$ л/с соответствует диаметру $d_y = 125$ мм. (расчетный внутренний диаметр $d = 1,33$ мм)

Скорость потока в трубе

$$V = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \times 0,008}{3,14 \times 0,133^2} = 0,652 \text{ м/с}.$$

Поправочный коэффициент на скорость ([3], табл.3.5) $n = 0,955$. Модуль расхода неновой стальной электросварной трубы диаметром $d_y = 125$ мм при скорости потока $V = 0,652$ м/с

$$K = K_{\text{кв}} \times n = 114,5 \times 0,955 = 109,3 \text{ л/с},$$

что больше требуемого по условиям задачи ($K = 78,2$ л/с). Следовательно, наполнение объема будет происходить меньше чем за 25 мин.

Найдем фактическое время наполнения, для чего методом подбора уточним значение расхода.

1. При $K = 109,3$ л/с:

- расход: $Q = K \sqrt{\frac{h_n}{l}} = 109,3 \times \sqrt{\frac{9}{860}} = 11,18 \text{ л/с};$

- скорость: $V = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \times 0,01118}{3,14 \times 0,0133^2} = 0,91 \text{ м/с}.$

Поправочный коэффициент на скорость $\eta = 0,977$.

Модуль расхода $K = 114,5 \cdot 0,977 = 111,86 \text{ л/с}.$

2. При $K=111,86 \text{ л/с}:$

- расход: $Q = 111,86 \sqrt{\frac{9}{860}} = 11,44 \text{ л/с};$

- скорость: $V = \frac{4 \times 0,01144}{3,14 \times 0,0133^2} = 0,93 \text{ м/с}.$

Поправочный коэффициент на скорость $\eta = 0,981$.

Модуль расхода $K = 114,5 \times 0,981 = 112,32 \text{ л/с}.$

3. При $K = 112,32 \text{ л/с}:$

- расход: $Q = 112,32 \sqrt{\frac{9}{860}} = 11,49 \text{ л/с}.$

Разница в значениях расхода Q двух последних приближений

$$a = \frac{11,49 - 11,44}{11,49} \times 100 = 0,43 \%,$$

что считаем допустимым (меньше 1 %).

Искомый интервал времени наполнения

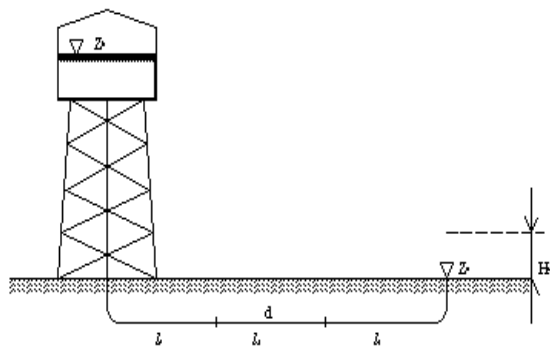
$$t = \frac{W}{Q} = \frac{12}{0,01149} = 1044 \text{ с} = 17,4 \text{ мин}.$$

В а р и а н т ы з а д а ч и

1. Известно, что $z_6 = 28 \text{ м}$, $z_n = 19 \text{ м}$, $W = 15 \text{ м}^3$, $t = 20 \text{ мин}$, $l = 720 \text{ м}$. Подобрать необходимый диаметр d_y новой чугунной напорной трубы класса ЛА.

2. Известно, что $z_6 = 20 \text{ м}$, $z_n = 12 \text{ м}$, $W = 20 \text{ м}^3$, $l = 650 \text{ м}$, $t = 28 \text{ мин}$. Подобрать необходимый диаметр d_y асбестоцементной трубы.

Расчет потока в простых и «дырчатых» трубопроводах



Вода в количестве Q подается из водонапорного бака к потребителю по трубопроводу диаметром d_y . Трубопровод имеет три участка труб из разных материалов: 1 – чугунная напорная не новая; 2 – стальная электросварная новая; 3 – асбестоцементная класса ВТ-9 типа 1; длины участков соответственно равны l_1 , l_2 , l_3 . Отметки уровня воды в водонапорном баке z_6 , поверхность земли у потребителя z_n ; свободный напор потребителя $H_{св}$.

Известно, что $d_y = 100$ мм, $l_1 = 250$ м, $l_2 = 280$ м, $l_3 = 300$ м, $z_n = 115$ м, $H_{св} = 20$ м. Определить требуемую отметку z_6 при подаче расхода $Q = 10$ л/с, используя понятие “удельное сопротивление трубы”.

Р е ш е н и е.

Скорости потока воды в трубах диаметром $d_y = 100$ мм (внутренним диаметром d , определяемым по табл. 3; 4 [3])

$$V = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \times 0,01}{3,14 \times d^2} = \frac{0,127}{d^2} \text{ м/с}$$

Тогда:

- в чугунной напорной трубе ($d = 102$ мм)

$$V_1 = \frac{0,127}{0,102^2} = 1,22 \text{ м/с};$$

- в стальной электросварной трубе ($d = 114$ мм)

$$V_2 = \frac{0,127}{0,114^2} = 0,98 \text{ м/с};$$

- в асбестоцементной трубе ($d = 100$ мм)

$$V_3 = \frac{0,127}{0,1^2} = 1,27 \text{ м/с}$$

Используя справочник [3], найдем удельные сопротивления A труб диаметром $d_y = 100$ мм при вычисленных скоростях:

- не новая чугунная напорная труба (табл. 3.4 и 3.5) при $V = 1,22$ м/с, $A_{кв} = 311,7 (\text{с/м}^3)^2$; $k = 1,0$; $A_{(1)} = 311,7 \times 1 = 311,7 (\text{с/м}^3)^2$;

- новая стальная электросварная труба (табл. 3.4 и 3.7) при $V = 0,98$ м/с, $A_{кв} = 172,9 (\text{с/м}^3)^2$; $\frac{A_{кв}}{A_1} = 1,44$; $k_1 = 0,981$;

$$A_{(2)} = \frac{172,9}{1,44} \times 0,981 = 117,8 (\text{с/м}^3)^2;$$

- асбестоцементная труба (табл. 3.7 и 3.8) при $V = 1,27$ м/с

$$A_1=187,7(\text{с/м}^3)^2; \quad k_1=0,967;$$

$$A_{(3)}=187,7 \times 0,967=185,2(\text{с/м}^3)^2.$$

Потери напора потока ([4], с. 219) во всем трубопроводе

$$h_w = \left[\sum_{i=1}^3 (A_i \times l_i) \right] \times Q^2,$$

то есть

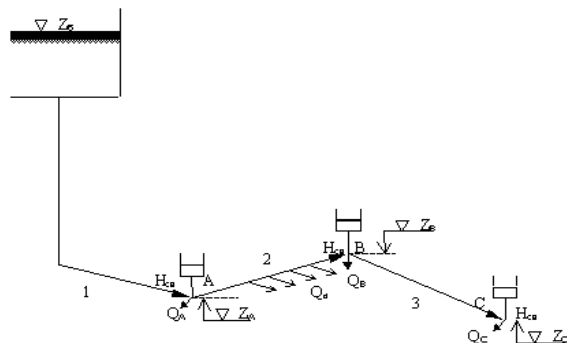
$$h_w = (311,7 \times 250 + 117,8 \times 280 + 185,2 \times 300) \times 0,01^2 = 16,6 \text{ м.}$$

Искомая отметка уровня воды в водонапорном баке

$$z_6 = z_{\Pi} + H_{\text{св}} + h_w = 115 + 20 + 16,6 = 151,6 \text{ м.}$$

В а р и а н т ы з а д а ч и

1. Известно, что $d_y=200$ мм, $l_1=110$ м, $l_2=87$ м, $l_3=73$ м, $z_6=216$ м, $z_{\Pi}=195$ м. Определить величину свободного напора $H_{\text{св}}$ при пропуске расхода $Q=34$ л/с.
2. Известно, что $d_y=150$ мм, $l_1=160$ м, $l_2=140$ м, $l_3=120$ м, $Q=20$ л/с, $z_6=88$ м. Определить, при какой отметке z_{Π} величина свободного напора $H_{\text{св}}=25$ м.



Вода из водонапорного бака подается в три точки A , B и C (фиксированные расходы Q_A , Q_B , Q_C) и равномерно распределяется на участке 2 в количестве Q_n .

Отметки поверхности земли в узловых точках равны соответственно z_A , z_B , z_C , минимальное значение свободного напора $H_{св}$, отметка уровня воды в водонапорном баке z_6 . Диаметры и длины участков соответственно следующие: d_{y1} , l_1 ; d_{y2} , l_2 ; d_{y3} , l_3 . При расчетах использовать понятие “удельное сопротивление трубы”. Известно, что трубы стальные водогазопроводные неновые, $d_{y1}=150$ мм, $l_1=260$ м, $d_{y2}=125$ мм, $l_2=130$ м, $d_{y3}=100$ мм, $l_3=210$ м. Отметки: $z_A=116$ м, $z_B=120$ м, $z_C=110$ м. Расходы: $Q_A=4$ л/с, $Q_B=2$ л/с, $Q_C=8$ л/с, $Q_n=6$ л/с. Определить требуемую отметку уровня воды в водонапорном баке z_6 , если свободный напор $H_{св} > 10$ м.

Решение

Потери напора на отдельных участках ([4], с. 215)

$$h_{ni} = A_{kbi} k_i l_i Q_i^2,$$

где значения удельных сопротивлений A_{kbi} и поправочных коэффициентов k_i определим, используя таблицы их значений из справочника [3] в зависимости от материала стенок трубы.

УЧАСТОК 1.

Расход воды

$$Q_1 = Q_A + Q_n + Q_B + Q_C = 4 + 6 + 2 + 8 = 20 \text{ л/с.}$$

По табл. 3.4 для стальной водогазопроводной трубы $d_{y1}=150$ мм находим удельное сопротивление $A_{kbl}=33,94$ (с/м³)² и расчетный внутренний диаметр $d_1=155$ мм.

Скорость потока

$$V_1 = \frac{4Q_1}{\pi d^2} = \frac{4 \times 0,02}{3,14 \times 0,155^2} = 1,13 \text{ м/с.}$$

По таблице 3.5 для стальной неновой трубы при скорости $V_1=1,13$ м/с находим поправочный коэффициент $k_1=1,011$.

Тогда потери напора потока

$$h_{n1} = 33,94 \times 1,011 \times 260 \times 0,02^2 = 3,57 \text{ м.}$$

УЧАСТОК 2.

Расход воды

$$Q_2 = Q_1 - Q_A - 0,5Q_n = 20 - 4 - 0,5 \times 6 = 13 \text{ л/с.}$$

Удельное сопротивление и расчетный диаметр для $d_{y2}=125\text{мм}$, $A_{кв2}=86,22 \text{ (с/м}^3\text{)}^2$;
 $d_2=130 \text{ мм.}$

Скорость потока

$$V_2 = \frac{4 \times 0,013}{3,14 \times 0,130^2} = 1,06 \text{ м/с.}$$

Поправочный коэффициент $k_2=1,021$.

Потери напора потока

$$h_{n2} = 86,22 \times 1,021 \times 180 \times 0,013^2 = 2,80 \text{ м.}$$

УЧАСТОК 3.

Расход воды $Q_3 = Q_c = 8 \text{ л/с}$

Удельное сопротивление и расчетный диаметр для $d_{y2}=100\text{мм}$, $A_{кв3}=281,3 \text{ (с/м}^3\text{)}^2$;
 $d_3=104 \text{ мм.}$

Скорость потока $V_3 = \frac{4 \times 0,008}{3,14 \times 0,104^2} = 1,02 \text{ м/с.}$

Поправочный коэффициент $k_2=1,027$.

Потери напора потока

$$h_{n3} = 281,3 \times 1,027 \times 210 \times 0,008^2 = 3,88 \text{ м.}$$

Требуемые напоры в узловых точках $H \geq Z + H_{св}$, т.е.

$$H_A^3 \geq 116 + 10 = 126 \text{ м, } H_B^3 \geq 120 + 10 = 130 \text{ м, } H_C^3 \geq 120 + 10 = 130 \text{ м.}$$

Отметку уровня воды в водонапорном баке Z_6 можно определить, исходя из требуемого напора в самой дальней точке сети С:

$$z_6^3 \geq H_c + \sum_{i=1}^3 h_{ni} = 120 + 3,57 + 2,80 + 3,88 = 130,25 \text{ м.}$$

В этом случае напоры в узловых точках А и В

$$H_A = z_6 - h_{n1} = 130,25 - 3,57 = 126,68 \text{ м} > 126 \text{ м;}$$

$$H_B = H_A - h_{n2} = 126,68 - 2,80 = 123,88 \text{ м} < 130 \text{ м;}$$

Требуемый напор в точке В ($H_B \geq 130 \text{ м}$) не обеспечивается, следовательно, отметка уровня воды в водонапорном баке Z_6 должна быть выше, чем 130,25 м ($Z_6 > 130,25 \text{ м}$). Ее определим исходя из требуемого напора воды в самой высокой точке сети В:

$$z_6 = H_B + h_{n1} + h_{n2} = 130 + 3,57 + 2,80 = 136,37 \text{ м.}$$

В этом случае напоры в узловых точках А и С

$$H_A = z_6 - h_{n1} = 136,37 - 3,57 = 132,8 \text{ м} > 126 \text{ м};$$

$$H_C = H_A - h_{n2} = 130 - 3,88 = 126,12 \text{ м} < 120 \text{ м};$$

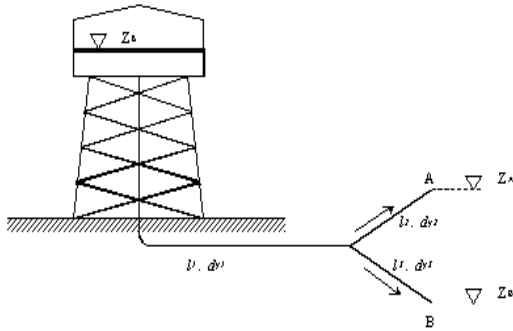
Следовательно, при отметке уровня воды в водонапорном баке $z_6 \geq 136,37$ м напоры воды во всех точках равны требуемым (точка В) или больше их (точки А и С).

В а р и а н т ы з а д а ч и

1. Известно, что трубы стальные электросварные новые, $d_{y1}=200$ мм, $l_1=240$ м, $d_{y2}=175$ мм, $l_2=190$ м, $d_{y3}=150$ мм, $l_3=280$ м. Отметки: $z_A=87$ м, $z_B=96$ м, $z_C=91$ м. Расходы: $Q_A=10$ л/с, $Q_B=3$ л/с, $Q_C=15$ л/с, $Q_{п}=7$ л/с. Определить отметку уровня воды z_6 , если свободный напор $H_{св} \geq 14$ м.

2. Известно, что трубы чугунные новые, $d_{y1}=125$ мм, $l_1=92$ м, $d_{y2}=105$ мм, $l_2=123$ м, $d_{y3}=80$ мм, $l_3=160$ м. Отметки: $z_A=36$ м, $z_B=28$ м, $z_C=27$ м. Расходы: $Q_A=4$ л/с, $Q_B=2$ л/с, $Q_C=5$ л/с, $Q_{п}=3$ л/с. Определить отметку Z_6 , если свободный напор $H_{св} \geq 10$ м.

Расчет потоков в сложных трубопроводах



Водонапорная башня с уровнем воды в баке на отметке z_6 подает воду к двум потребителям: А (расход Q_A , отметка z_A) и В (расход Q_B , отметка z_B) по разветвленному трубопроводу из напорных труб диаметром и длиной по участкам соответственно d_{yi} и l_i . При расчете использовать понятие “модуль расхода трубы K ”.

Известно, что трубы новые чугунные $d_{y1}=150$ мм, $l_1=200$ м, $d_{y2}=100$ мм, $l_2=120$ м, $d_{y3}=125$ мм, $l_3=110$ м, $z_A=16$ м, $z_B=17$ м. Определить расходы Q_A и Q_B , если $z_6=28$ м.

Решение

Искомые расходы определяем путем решения системы из двух уравнений ([4], с 222).

$$\left. \begin{aligned} z_6 - z_A &= \frac{(Q_A + Q_B)^2}{K_1^2} l_1 + \frac{Q_A^2}{K_2^2} l_2; \\ z_6 - z_B &= \frac{(Q_A + Q_B)^2}{K_1^2} l_1 + \frac{Q_B^2}{K_3^2} l_3. \end{aligned} \right\}$$

По справочнику [3] в табл. 3.4 находим модули расхода труб по участкам для квадратичной области сопротивления и расчетные диаметры труб: $K_{KB1}=164$ л/с, $K_{KB2}=56,5$ л/с, $K_{KB3}=101,8$ л/с. $d_1=152,4$ мм, $d_2=102$ мм, $d_3=127,2$ мм.

Приняв в первом приближении квадратичную область сопротивления ($K=K_{KB}$), получим систему уравнений следующего вида:

$$\left. \begin{aligned} 28-16 &= \frac{(Q_A + Q_B)^2}{164^2} \times 200 + \frac{Q_A^2}{56,5^2} \times 120; \\ 28-17 &= \frac{(Q_A + Q_B)^2}{164^2} \times 200 + \frac{Q_B^2}{101,8^2} \times 110, \end{aligned} \right\}$$

т.е.

$$\left. \begin{aligned} 12 &= 0,00744 \times (Q_A + Q_B)^2 + 0,0376 Q_A^2; \\ 11 &= 0,00744 \times (Q_A + Q_B)^2 + 0,0106 Q_B^2. \end{aligned} \right\}$$

Вычитая второе уравнение из первого, найдем связь между расходами Q_A и Q_B :

$$1=0,0376Q_A^2-0,0106Q_B^2, \text{ тогда } Q_A=\sqrt{\frac{1+0,0106Q_B^2}{0,0376}}.$$

Подставив последнее выражение в первое уравнение системы, получим уравнение

$$Q_B^2+3,816Q_B\sqrt{1+0,0106Q_B^2}=537,41,$$

Решение которого возможно только приближенным способом. Воспользуемся графо-аналитическим методом решения.

Примем $Q_B^{(1)}=10$ л/с, тогда

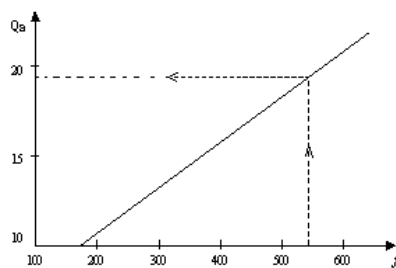
$$f(Q_B)=10^2+3,816\times 10\sqrt{1+0,0106\times 10^2}=154,77<537,4.$$

Примем $Q_B^{(2)}=20$ л/с $> Q_B^{(1)}$, тогда

$$f(Q_B)=20^2+3,816\times 20\sqrt{1+0,0106\times 20^2}=574,7>537,4.$$

Примем $Q_B^{(3)}=15$ л/с $< Q_B^{(2)}$, тогда

$$f(Q_B)=15^2+3,816\times 15\sqrt{1+0,0106\times 15^2}=330,31<537,41.$$



Построим вспомогательный график. По графику для $f(Q_B)=537,41$ находим $Q_B=19,2$ л/с.

Проверка:

$$f(Q_B)=19,2^2+3,816\times 19,2\sqrt{1+0,0106\times 19,2^2}=530,95.$$

$$\text{Ошибку } a=\frac{537,41-530,92}{537,41}\times 100=1,20\% \text{ считаем допустимой.}$$

Следовательно,

$$Q_A=\sqrt{\frac{1+0,0106\times 19,2^2}{0,0376}}=11,42 \text{ л/с.}$$

Скорости потоков воды по участкам трубопровода

$$V_1=\frac{(11,42+19,2)\times 10^{-3}\times 4}{3,14\times 0,152^2}=1,73 \text{ м/с; } V_2=\frac{11,42\times 10^{-3}\times 4}{3,14\times 0,102^2}=1,45 \text{ м/с;}$$

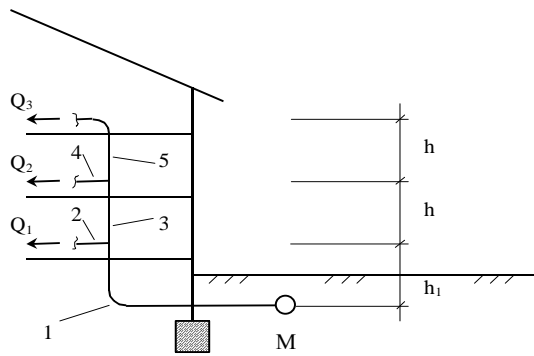
$$V_3=\frac{19,2\times 10^{-3}\times 4}{3,14\times 0,127^2}=1,56 \text{ м/с.}$$

Для неновых чугунных напорных труб при скорости $V>1,2$ м/с наблюдается квадратичная область сопротивления ([3], табл. 3.5). В противном случае следует уточнить значения модулей расхода ($K=K_{kv} \cdot n$) и повторить расчет.

В а р и а н т ы з а д а ч и

1. Известно, что трубы стальные электросварные новые, $d_{y1}=125$ мм, $l_1=250$ м, $d_{y2}=80$ мм, $l_2=90$ м, $d_{y3}=100$ мм, $l_3=60$ м, отметки: $z_A=8$ м, $z_B=8,5$ м. Определить расходы Q_A и Q_B , если отметка $z_6=12$ м.

2. Известно, что трубы стальные водогазопроводные неновые, $d_{y1}=80$ мм, $l_1=218$ м, $d_{y2}=50$ мм, $l_2=116$ м, $d_{y3}=70$ мм, $l_3=103$ м, отметка $z_6=21$ м. Определить отметку z_B и расход Q_B , если $z_A=14$ м и $Q_A=2$ л/с.



Вода подается в трехэтажное здание из магистральной сети M по разветвленному трубопроводу, состоящему из пяти участков ($d_i, l_i, \lambda_i, \zeta_i$).

Известно, что $d_1=25$ мм, $d_2=d_4=d_5=15$ мм, $d_3=20$ мм, $l_1=25$ м, $l_2=l_4=2$ м, $l_3=3$ м, $l_5=5$ м, $\lambda=0,03$, $\zeta_1=1,2$, $\zeta_2=\zeta_4=3,1$, $\zeta_3=0,8$, $\zeta_5=3,6$, $h_1=1,8$ м, $h=3$ м. Определить напор H (м. вод. ст.) в магистрали M , необходимый для подачи на каждый этаж расхода $Q \geq 0,2$ л/с.

Решение

При подаче воды на 3-й этаж в количестве $Q_3 \geq 0,2$ л/с расходы воды на 2-м (Q_2) и 1-м (Q_1) этажах будут больше (Q_3). Потребный напор в магистрали (по уравнению Бернулли [4], с. 223).

$$H = h_1 + 2h + (\zeta_5 + \lambda \frac{l_5}{d_5}) \frac{Q_3^2 \times 16}{2g\pi^2 d_5^4} + (\zeta_3 + \lambda \frac{l_3}{d_3}) \times \frac{(Q_3 + Q_2)^2 \times 16}{2g\pi^2 d_3^4} +$$

$$+ (\zeta_1 + \lambda \frac{l_1}{d_1}) \times \frac{(Q_3 + Q_2 + Q_1)^2 \times 16}{2g\pi^2 d_1^4} = 1,8 + 2 \times 3 + (3,6 + 0,03 \times \frac{5}{0,015}) \times$$

$$\times \frac{(0,2 \times 10^{-3})^2 \times 16}{2 \times 9,81 \times 3,14^2 \times 0,015^4} + (0,8 + 0,3 \times \frac{3}{0,02}) \times \frac{[(0,2 + Q_2) \times 10^{-3}]^2 \times 16}{2 \times 9,81 \times 3,14^2 \times 0,024^4} +$$

$$+ (0,8 + 0,3 \times \frac{3}{0,02}) \times \frac{[(0,2 + Q_2) \times 10^{-3}]^2 \times 16}{2 \times 9,81 \times 3,14^2 \times 0,024^4} +$$

$$+ (1,2 + 0,03 \times \frac{25}{0,025}) \times \frac{[(0,2 + Q_2 + Q_1)]^2 \times 16}{2 \times 9,81 \times 3,14^2 \times 0,025^4}$$

т.е.

$$H = 7,8 + 0,889 + 2,74(0,2 + Q_2)^2 + 6,61(0,2 + Q_2 + Q_1)^2.$$

Расход Q_2 найдем из условия равенства потребных напоров на 4-м и 5-м участках ([4], с.221)

$$h + (\zeta_5 + \lambda \frac{l_5}{d_5}) \frac{Q_3^2 \times 16}{2g\pi^2 d_5^4} = (\zeta_4 + \lambda \frac{l_4}{d_4}) \frac{Q_2^2 \times 16}{2g\pi^2 d_4^4},$$

т.е.

$$3 + 0,889 = (3,1 + 0,03 \times \frac{2}{0,015}) \times \frac{(Q_2 \times 10^{-3})^2 \times 16}{2 \times 9,81 \times 3,14^2 \times 0,015^4} = 11,6 \times Q_2^2$$

Отсюда

$$Q_2 = \sqrt{\frac{3,889}{11,6}} = 0,579 \text{ л/с.}$$

Расход Q_1 найдем из условия равенства потребного напора на 2-м участке сумме потребных напоров на 3-м и 5-м участках:

$$\begin{aligned} (\zeta_2 + \lambda \frac{l_2}{d_2}) \times \frac{Q_1^2 \times 16}{2g\pi^2 d^4} = 2h + (\zeta_5 + \lambda \frac{l_5}{d_5}) \times \frac{Q_3^2 \times 16}{2g\pi^2 d_5^4} + \\ + (\zeta_3 + \lambda \frac{l_3}{d_3}) \times \frac{(Q_2 + Q_3)^2 \times 16}{2g\pi^2 d_3^4}, \end{aligned}$$

т.е.

$$11,6 \times Q_1^2 = 2 \times 3 + 0,889 + 2,74(0,2 + 0,579)^2 = 8,551.$$

Отсюда

$$Q_1 = \sqrt{\frac{8,551}{11,6}} = 0,859 \text{ л/с.}$$

Искомый напор в магистральной сети

$$H = 7,8 + 0,889 + 2,74(0,2 + 0,579)^2 + 6,61(0,2 + 0,579 + 0,859)^2 = 28,06 \text{ м}$$

В а р и а н т ы з а д а ч и

1. Известно, что $d_1=32$ мм, $d_2=d_4=d_5=20$ мм, $d_3=25$ мм, $l_1=22$ м, $l_2= l_4=1,5$ м, $l_3= 3,5$ м, $l_5=5$ м, $\zeta_1=1,5$, $\zeta_2= \zeta_4=3,6$, $\zeta_3=0,9$, $\zeta_5=4,1$, $h_1=2,0$ м, $h=3,5$ м.

Определить расходы воды по этажам здания

Q_1 , Q_2 и Q_3 при напоре в магистральной сети $H=32$ м.

2. Известно, что $d_1=25$ мм, $d_2=d_4=d_5=15$ мм, $d_3=20$ мм, $l_1=24$ м, $l_2= l_4=2,5$ м, $l_3= 3,3$ м, $l_5=5,8$ м, $\zeta_1=1,3$, $\zeta_2= \zeta_4=3,2$, $\zeta_3=0,4$, $\zeta_5=3,7$, $h_1=3$ м, $h=4$ м.

Определить, как распределится общий расход воды $Q_{\text{общее}}=2$ л/с по 1, 2, 3-му этажам.

Список используемой литературы

1. Тужилкин А.М, Злобин Е.К, Бурдова М.Г., Белоусов Р.О. Гидравлика: учебное пособие. Тула: Изд-во ТулГУ, 2017, 266 с. – 200 экз.
2. Земцов, В.М. Гидравлика : учеб. пособие для вузов / В.М. Земцов; под ред. Ю.В. Брянской. — М. : АСВ, 2007. — 352 с. : ил. — Библиогр. в конце кн. — ISBN 978-5-93093-510-3 : 181.82. 15 экз.
3. Курганов А.М. , Федоров Н.Ф. Гидравлические расчеты систем водоснабжения и водоотведения: Справочник / Под общ. ред. А.М. Курганова. - 3-е изд., перераб. и доп. - Л.: Стройиздат, 1986. - 440 с.
4. Тужилкин А.М., Бурдова М.Г., Механика жидкости и газа: Учебное пособие. ТулГУ. Тула 1998. – 283 с.