

давайте приступим к алгоритму расчета необходимого диаметра [трубы](#) для водоснабжения. В этом алгоритме есть неприятная особенность, это то, что нужно делать расчет циклично подставляя в формулу диаметр и проверяя результат. Так как в формуле потерь напора существует квадратичная особенность и в зависимости от диаметра трубы резко изменяется результат потерь напора. Я думаю, больше трех циклов нам не придется делать. Также еще зависит от материала трубопровода. И так приступим!

"Расчет диаметра трубы"

Приведем вариант:

- Труба металлопластиковая диаметром 16мм., это значит, внутренний диаметр будет равен 12мм., так как толщина самой [трубы](#) 2мм.
- На стояках напор в 2 атмосфера, это примерно 2 бара.
- Расход нам нужен 0,25 литров в секунду.
- Возьмем примерно трубу длиной 10 метров.

Вот некоторые формулы, которые помогут найти скорость потока:

$$S = \pi r^2 = \pi \frac{D^2}{4}$$
$$Q = VS, \quad V = \frac{Q}{S}$$
$$V = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

S-Площадь сечения м²

π -3,14-константа - отношение длины окружности к ее диаметру.

r-Радиус окружности, равный половине диаметра

Q-расход воды м³/с

D-Внутренний диаметр трубы

$$0,25\text{л/с}=0,00025\text{м}^3/\text{с}$$

$$12\text{мм}=0,012\text{м}$$

$$V=(4*Q)/(\pi*D^2)=(4*0,00025)/\pi*0,012^2=2,212 \text{ м/с}$$

Далее находим число Рейнольдса по формуле:

Подробнее о числе Рейнольдса в статье: [Режимы движения жидкости \(ламинарный и турбулентный\)](#)

$$Re=(V*D)/\nu=(2,212*0,012)/0,00000116=22882$$

$$\nu=1,16*10^{-6}=0,00000116. \text{ Взято из таблицы. Для воды при температуре } 16^\circ\text{C}.$$

$$\Delta_3=0,005\text{мм}=0,000005\text{м}. \text{ Взято из таблицы, для металлопластиковой } \text{трубы}.$$

Далее сверяемся по таблице где находим формулу по нахождению коэффициента гидравлического трения.

Таблица для определения коэффициента гидравлического трения

Режим движения	Число Рейнольдса	Определение λ
Ламинарный	$Re < 2300$	$\lambda = \frac{64}{Re}$ или $\lambda = \frac{75}{Re}$
Переходный	$2300 < Re < 4000$	<i>Проектирование трубопроводов не рекомендуется</i>
Турбулентный	1-я область $4000 < Re < 10 \frac{d}{\Delta_3}$	$\lambda_T = \frac{0,3164}{Re^{0,25}}$ (ф-ла Блазиуса) $\lambda_T = \frac{1}{(1,8 \lg Re - 1,5)^2}$ (ф-ла Конакова)
	2-я область $10 \frac{d}{\Delta_3} < Re < 560 \frac{d}{\Delta_3}$	$\lambda_T = 0,11 \left(\frac{\Delta_3}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}$ (ф-ла Альтшуля)
	3-я область $Re > 560 \frac{d}{\Delta_3}$	$\lambda_T = 0,11 \left(\frac{\Delta_3}{d} \right)^{0,25}$ (ф-ла Альтшуля) $\frac{1}{\sqrt{\lambda_T}} = -2 \lg \left(\frac{\Delta_3}{3,71d} \right)$ (ф-ла Никурадзе)

У меня подпадает в первую область и я принимаю для расчета формулу Блазиуса.

$$\lambda = 0,3164 / Re^{0,25} = 0,3164 / 22882^{0,25} = 0,0257$$

Далее используем формулу для нахождения потерь напора:

$$h = \lambda \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g}$$

h -потеря напора здесь она измеряется в метрах.

λ -коэффициент гидравлического трения.

L -длина трубопровода измеряется в метрах.

D -внутренний диаметр трубы, то есть диаметр потока жидкости. Должен быть вставлен в формулу в метрах.

V -скорость потока жидкости. Измеряется [Метр/секунда].

g -ускорение свободного падения равен 9,81 м/с²

$$h = \lambda * (L * V^2) / (D * 2 * g) = 0,0257 * (10 * 2,212^2) / (0,012 * 2 * 9,81) = 5,341 \text{ м.}$$

И так: На входе у нас 2 атмосферы, что равно 20 метрам напора.

Если полученный результат 5,341 метров меньше входного напора, то результат нас удовлетворяет и диаметр трубы с внутренним диаметром 12мм подходит!

Если нет то необходимо увеличивать диаметр [трубы](#).

Но имейте в виду, если в расчет брать трубу, которая из подвала идет по стоякам к вам на пятый этаж, то результат возможно будет не удовлетворительным. А если у вас соседи будут отбирать поток воды, то и соответственно входной напор может уменьшится. Так что имейте в виду про запас в два три раза уже хорошо. В нашем случае запас в четыре раза больше.

Давайте попробуем так ради эксперимента. У нас в трубе 10 метров в пути, имеются четыре угольника (колена). Это [гидравлические сопротивления](#) и они называются местными гидравлическими сопротивлениями. Для колена в 90 градусов имеется формула расчета:

$$h = \zeta \frac{V^2}{2g}$$

Подробнее об этом в разделе: [Местные гидравлические сопротивления](#).

h -потеря напора здесь она измеряется в метрах.

ζ -Это коэффициент сопротивления. Для колена он равен примерно одному, если диаметр меньше 30мм.

V -скорость потока жидкости. Измеряется [Метр/секунда].

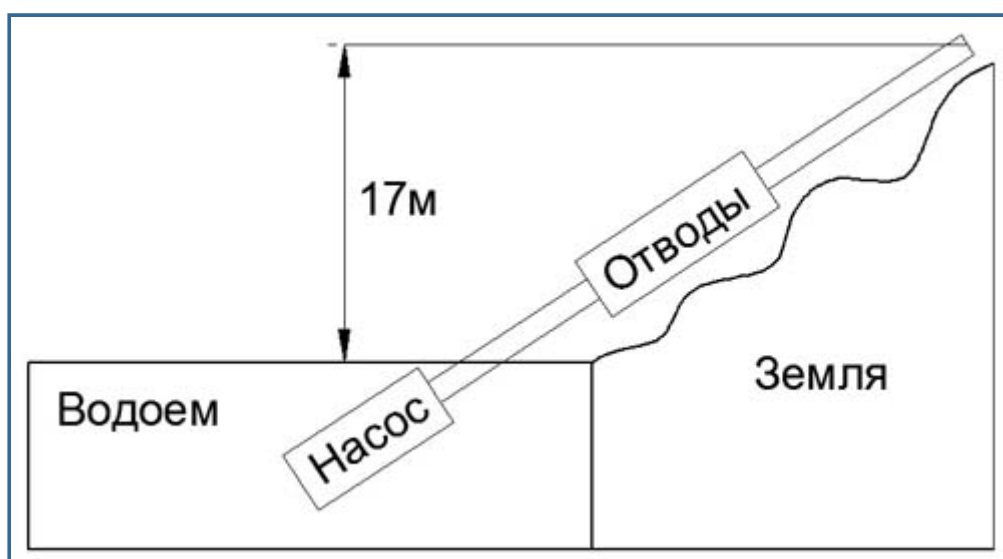
g -ускорение свободного падения равен 9,81 м/с²

$$h = \zeta * (V^2) / 2 * 9,81 = 0,249 \text{ м.}$$

Так как у нас 4 угольника, то полученный результат умножаем на 4 и получаем 0,996 м. Почти еще один метр.

Задача 2:

Стальная (железная) труба проложена длиной 376 метров с внутренним диаметром 100 мм, по длине трубы имеются 21 отвод (угловых поворотов 90°С). Труба проложена с перепадом 17м. То есть труба относительно горизонта идет вверх на высоту 17 метров. Характеристики насоса: Максимальный напор 50 метров (0,5МПа), максимальный расход 90м³/ч. Температура воды 16°С. Найти максимально возможный расход в конце трубы.



Дано:

$D=100 \text{ мм} = 0,1 \text{ м}$

$L=376 \text{ м}$

Геометрическая высота=17м

Отводов 21 шт

Напор насоса= 0,5 МПа (50 метров водного столба)

Максимальный расход=90м³/ч

Температура воды 16°С.

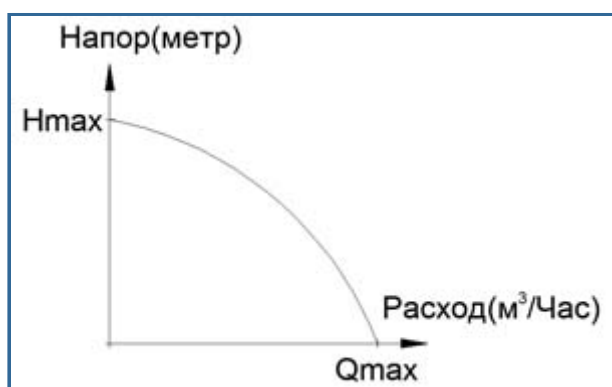
Труба стальная железная

Найти максимальный расход = ?

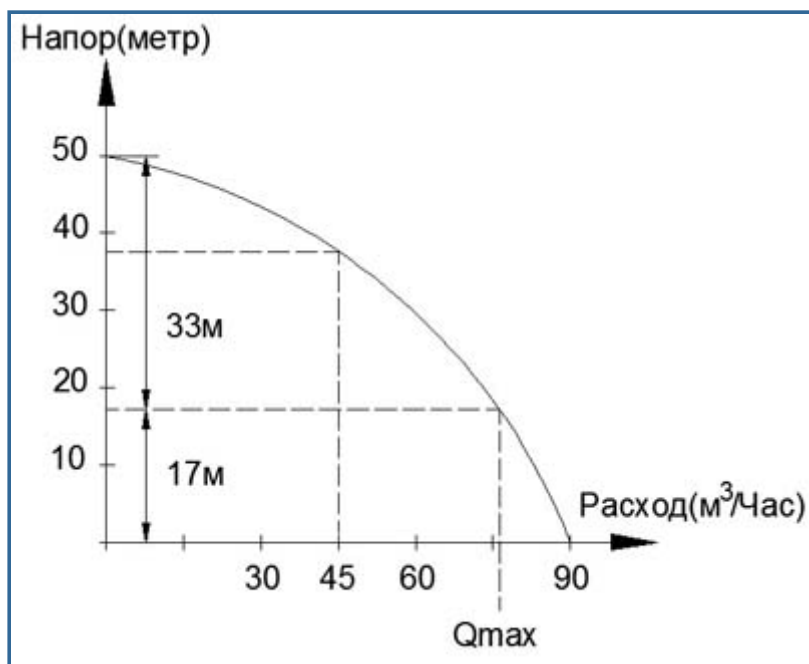
Решение:

Для решения необходимо знать график насосов: Зависимость расхода от напора.

Я выбрал визуально похожий график всех насосов, от реального может отличаться на 10-20%. Для более точного расчета необходим график насоса, который указан в паспорте насоса.



В нашем случае будет такой график:



Смотрите, прерывистой линией по горизонту обозначил 17 метров и на пересечение по кривой получаю максимально возможный расход: Q_{\max} .

По графику я могу смело утверждать, что на перепаде высоты, мы теряем примерно: $14 \text{ м}^3/\text{час}$. ($90 - Q_{\max} = 14 \text{ м}^3/\text{ч}$).

Не существует прямой формулы, которая дает прямой расчет нахождения расхода, а если и существует, то она имеет ступенчатый характер и некоторую логику, которая способна Вас запутать - окончательно.

Ступенчатый расчет получается потому, что в формуле существует квадратичная особенность потерь напора в динамике (движение).

Поэтому решаем задачу ступенчато.

Поскольку мы имеем интервал расходов от 0 до $76 \text{ м}^3/\text{час}$, то мне хочется проверить потерю напора при расходе равным: $45 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Находим скорость движения воды

$$V = \frac{4Q}{\pi D^2}$$

$$Q = 45 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,0125 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

$$V = (4 \cdot 0,0125) / (3,14 \cdot 0,1 \cdot 0,1) = 1,59 \text{ м/с}$$

Находим число рейнольдса

$$Re = \frac{VD}{\nu}$$

$$\nu = 1,16 \cdot 10^{-6} = 0,00000116. \text{ Взято из таблицы. Для воды при температуре } 16^\circ\text{C.}$$

$$Re = (V \cdot D) / \nu = (1,59 \cdot 0,1) / 0,00000116 = 137069$$

$$\Delta \varepsilon = 0,1 \text{ мм} = 0,0001 \text{ м. Взято из таблицы, для стальной (железной) трубы.}$$

Далее сверяемся по таблице, где находим формулу по нахождению коэффициента гидравлического трения.

У меня попадает на вторую область при условии

$$10 \cdot D / \Delta \varepsilon < Re < 560 \cdot D / \Delta \varepsilon$$

$$10 \cdot 0,1 / 0,0001 < Re < 560 \cdot 0,1 / 0,0001$$

$$10\ 000 < Re < 560\ 000$$

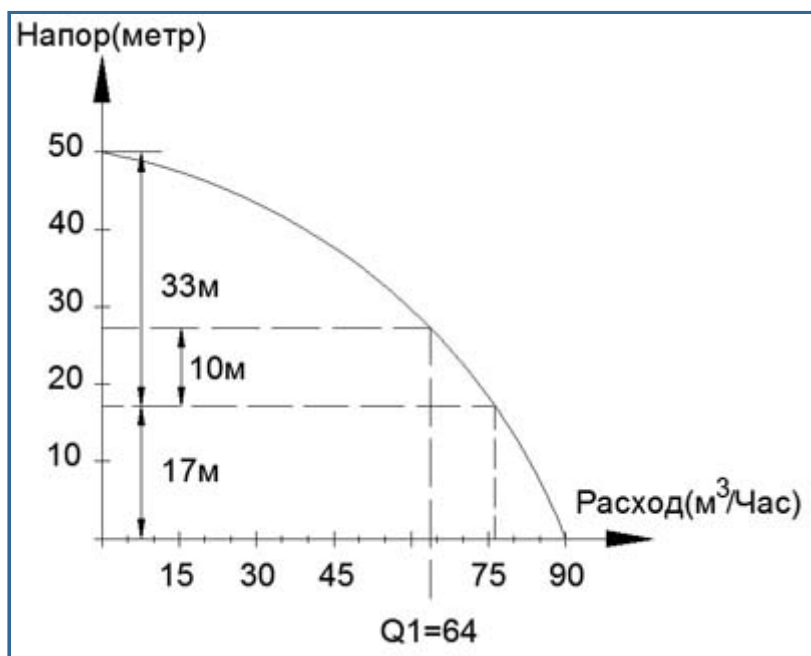
2-я область	$10 \frac{d}{\Delta_s} < Re < 560 \frac{d}{\Delta_s}$	$\lambda_T = 0,11 \left(\frac{\Delta_s}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}$ (ф-ла АЛЬТШУЛЯ)
-------------	---	---

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta_s}{D} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} = 0,11 \cdot \left(0,0001/0,1 + 68/137069 \right)^{0,25} = 0,0216$$

Далее завершаем формулой:

$$h = \lambda \cdot (L \cdot V^2) / (D \cdot 2 \cdot g) = 0,0216 \cdot (376 \cdot 1,59 \cdot 1,59) / (0,1 \cdot 2 \cdot 9,81) = 10,46 \text{ м.}$$

Как видите, потеря составляет 10 метров. Далее определяем Q1, смотри график:



Теперь делаем оригинальный расчет при расходе равный 64 м³/час

$$Q = 64 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,018 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

$$V = (4 \cdot 0,018) / (3,14 \cdot 0,1 \cdot 0,1) = 2,29 \text{ м/с}$$

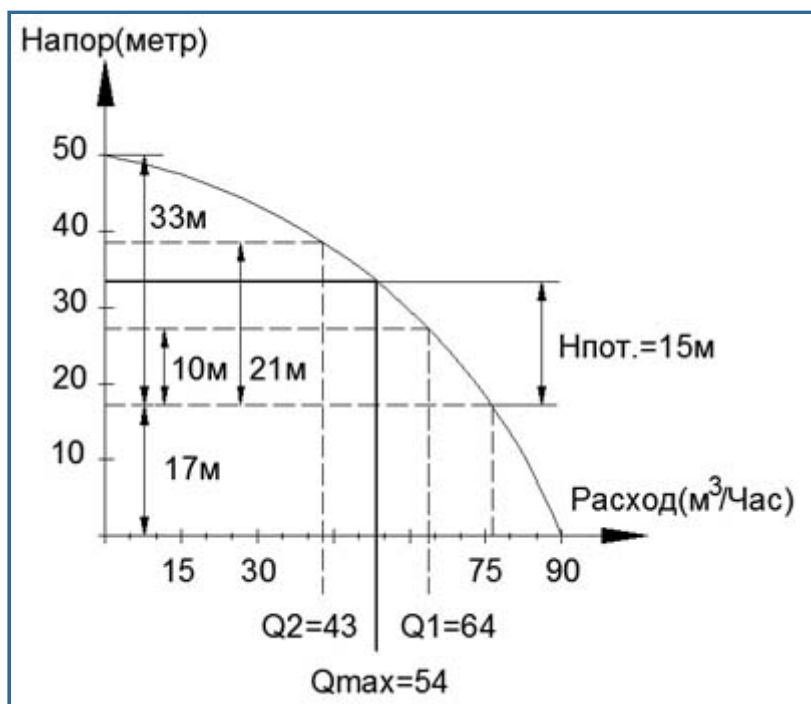
$$Re = (V \cdot D) / \nu = (2,29 \cdot 0,1) / 0,00000116 = 197414$$

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta_s}{D} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} = 0,11 \cdot \left(0,0001/0,1 + 68/197414 \right)^{0,25} = 0,021$$

$$h = \lambda \cdot (L \cdot V^2) / (D \cdot 2 \cdot g) = 0,021 \cdot (376 \cdot 2,29 \cdot 2,29) / (0,1 \cdot 2 \cdot 9,81) = 21,1 \text{ м.}$$

Отмечаем на графике:

Qmax находится на пересечении кривой между Q1 и Q2 (Ровно середина кривой).



Ответ: Максимальный расход равен 54 м³/ч. Но это мы решили без сопротивления на поворотах.

Для проверки проверим:

$$Q=54 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,015 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

$$V = (4 \cdot 0,015) / (3,14 \cdot 0,1 \cdot 0,1) = 1,91 \text{ м/с}$$

$$Re = (V \cdot D) / \nu = (1,91 \cdot 0,1) / 0,00000116 = 164655$$

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta \varepsilon}{D} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} = 0,11 \left(\frac{0,0001}{0,1} + \frac{68}{164655} \right)^{0,25} = 0,0213$$

$$h = \lambda \cdot (L \cdot V^2) / (D \cdot 2 \cdot g) = 0,0213 \cdot (376 \cdot 1,91 \cdot 1,91) / (0,1 \cdot 2 \cdot 9,81) = 14,89 \text{ м.}$$

Итог: Мы попали на $H_{\text{пот}} = 14,89 = 15 \text{ м.}$

А теперь посчитаем сопротивление на поворотах:

Формула по нахождению напора на местном гидравлическом сопротивлении:

$$h = \zeta \frac{V^2}{2g}$$

Подробнее об этом в разделе: [Местные гидравлические сопротивления](#)

h -потеря напора здесь она измеряется в метрах.

ζ -Это коэффициент сопротивления. Для колена он равен примерно одному, если диаметр меньше 30мм.

V -скорость потока жидкости. Измеряется [Метр/секунда].

g -ускорение свободного падения равен 9,81 м/с²

ζ -Это коэффициент сопротивления. Для колена он равен примерно одному, если диаметр меньше 30мм. Для больших диаметров он уменьшается. Это связано с тем, что влияние скорости движения воды по отношению к повороту уменьшается.

Смотрел в разных книгах по [местным сопротивлениям](#) для поворота трубы и отводов. И приходил часто к расчетам, что один сильный резкий поворот равен коэффициенту единице. Резким поворотом считается, если радиус поворота по значению не превышает диаметр. Если радиус превышает диаметр в 2-3 раза, то значение коэффициента значительно уменьшается.

Подробнее об этом в разделе: [Местные гидравлические сопротивления](#)

Возьмем $\zeta = 1$.

Скорость 1,91 м/с

$$h = \zeta \cdot (V^2) / 2 \cdot 9,81 = (1 \cdot 1,91^2) / (2 \cdot 9,81) = 0,18 \text{ м.}$$

Это значение умножаем на количество отводов и получаем $0,18 \cdot 21 = 3,78 \text{ м.}$

Ответ: при скорости движения 1,91 м/с, получаем потерю напора 3,78 метров.

Давайте теперь решим целиком задачку с отводами.

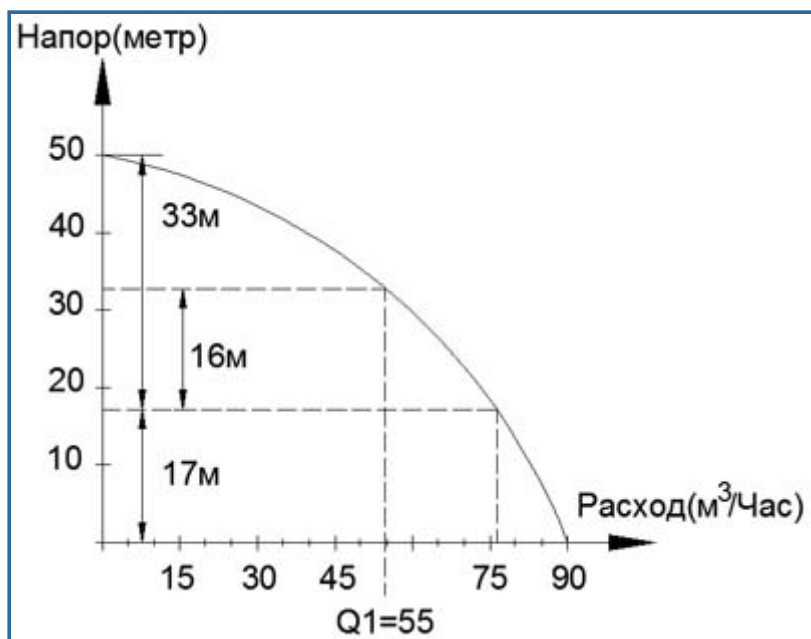
При расходе 45 м³/час получили потерю напора по длине: 10,46 м. Смотри выше.

При этой скорости (2,29 м/с) находим сопротивление на поворотах:

$$h = \zeta \cdot (V^2) / 2 \cdot 9,81 = (1 \cdot 2,29^2) / (2 \cdot 9,81) = 0,27 \text{ м. умножаем на 21} = 5,67 \text{ м.}$$

Складываем потери напора: $10,46 + 5,67 = 16,13 \text{ м.}$

Отмечаем на графике:



Решаем тоже самое только для расхода в 55 м³/ч

$$Q=55 \text{ м}^3/\text{ч} = 0,015 \text{ м}^3/\text{сек.}$$

$$V = (4 \cdot 0,015) / (3,14 \cdot 0,1 \cdot 0,1) = 1,91 \text{ м/с}$$

$$Re = (V \cdot D) / \nu = (1,91 \cdot 0,1) / 0,0000116 = 164655$$

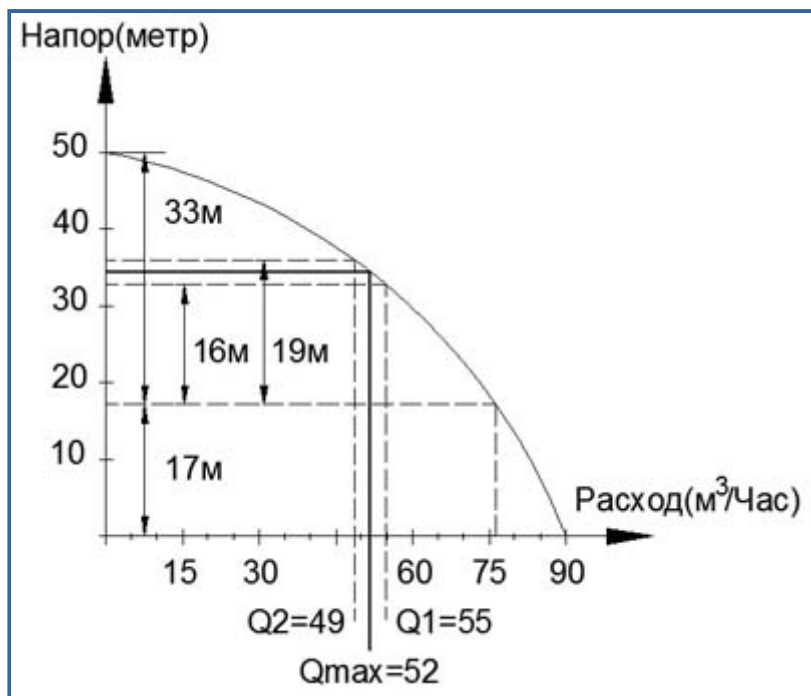
$$\lambda = 0,11 (\Delta \varepsilon / D + 68 / Re)^{0,25} = 0,11 (0,0001 / 0,1 + 68 / 164655)^{0,25} = 0,0213$$

$$h = \lambda \cdot (L \cdot V^2) / (D \cdot 2 \cdot g) = 0,0213 \cdot (376 \cdot 1,91 \cdot 1,91) / (0,1 \cdot 2 \cdot 9,81) = 14,89 \text{ м.}$$

$$h = \zeta \cdot (V^2) / 2 \cdot 9,81 = (1 \cdot 1,91^2) / (2 \cdot 9,81) = 0,18 \text{ м. умножаем на 21} = 3,78 \text{ м.}$$

Складываем потери: 14,89 + 3,78 = 18,67 м

Рисуем на графике:



Ответ: Максимальный расход = 52 м³/час. Без отводов Q_{max} = 54 м³/час.

Теперь я думаю вам понятно как происходит сопротивление движению потока. Если не понятно, то я готов услышать ваши комментарии по данной статье. Пишите комментарии.

Чтобы в ручную не считать всю математику я приготовил специальную программу:

[Скачать калькулятор расчетов гидравлического сопротивления.](#)