

Расчет трубопроводов

Одна из задач расчета трубопровода - определить минимальную мощность, необходимую для доставки данного количества жидкости или газа в заданную точку, т. е. на определенное расстояние,

$$N = \dot{Q} \Delta p \quad \text{вт}, \quad (1)$$

где $\dot{Q}$ - объемный расход, $\text{м}^3/\text{сек}$; Δp - перепад, необходимый для транспортировки среды на заданное расстояние l , н/м^2 .

Трубопроводы разделяются на две основные категории - простые и сложные. Простой трубопровод представляет систему последовательно соединенных труб с постоянным по длине расходом, не имеющую ответвлений. Сложный трубопровод - это система параллельно соединенных труб с ответвлениями или различными источниками питания.

Для расчета трубопровода воспользуемся уравнением Бернулли и запишем его для потока в произвольном трубопроводе. Плоскость сравнения выберем на уровне расположения основной части трубопровода, а сам трубопровод будем считать состоящим из ряда участков, характеризующихся некоторыми сопротивлениями Δp_i ,

$$\gamma z_1 + p_1 + \rho \frac{c_{\text{ср}1}^2}{2} = \gamma z_2 + p_2 + \rho \frac{c_{\text{ср}2}^2}{2} + \Delta p_{\text{п}} \quad (2)$$

где $\Delta p_{\text{п}}$ учитывает все потери энергии на пути потока от первого сечения ко второму.

Из уравнения (2) можно найти перепад давления, необходимый для транспортировки среды,

$$\Delta p = p_1 - p_2 = \gamma (z_2 - z_1) + \rho \frac{c_{\text{ср}2}^2 - c_{\text{ср}1}^2}{2} + \Delta p_{\text{п}} \quad (3)$$

Таким образом, необходимый перепад давления Δp определяется изменением потенциальной энергии положения, кинетической энергии и членом, учитывающим сумму потерь энергии на сопротивление при переходе потока из первого сечения во второе.

Входящие в это выражение скорости на отдельных участках трубопровода можно вычислить, зная объемный расход

$$\dot{Q} = c_{\text{ср}1} F_1 = c_{\text{ср}2} F_2 \quad (4)$$

Потерянный напор энергии $\Delta p_{\text{п}}$ складывается из перепада, необходимого для преодоления сопротивления при стабилизированном течении $\Delta p_{\text{т}}$, и местных сопротивлений $\Delta p_{\text{м}}$:

$$\Delta p_{\Pi} = \Delta p_{\tau} + \Delta p_{\text{м}} \quad (5)$$

Потери при стабилизированном течении для трубопровода круглого сечения заданного диаметра можно представить в виде

$$\Delta p_{\tau} = \lambda \frac{l}{d} \rho \frac{c_{\text{ср}}^2}{2}, \quad (6)$$

где l —длина трубопровода.

Величина коэффициента сопротивления λ зависит от режима движения жидкости, который определяется числом Рейнольдса

$$\text{Re} = \frac{c_{\text{ср}} d}{\nu} \quad (7)$$

Если число $\text{Re} < 2300$, то движение будет ламинарным, и коэффициент сопротивления можно представить в виде

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}} \quad (8)$$

При турбулентном режиме течения коэффициент сопротивления зависит не только от критерия Re , но и от шероховатости. Обычно шероховатость учитывается средней высотой бугорка Δ (в мм), а еще чаще — относительной шероховатостью. Для расчета шероховатых труб можно пользоваться рис. 1.1. В области квадратичного закона сопротивления в технических трубах

$$\lambda = \frac{1}{\left(1,74 + 2 \lg \frac{d}{2\Delta}\right)^2}, \quad (9)$$

Начало перехода к квадратичному закону сопротивления определяется

$$\text{Re}_{\Pi} = \left(120 \frac{d}{\Delta}\right)^{1,125} \quad (10)$$

Средние значения Δ для различных случаев приведены в табл. 1.1.

Наименование трубопровода	Δ мм
Трубопровод из новых стальных труб	0,06
Трубопроводы сжатого воздуха от компрессора . . .	0,8
Стальные трубы, подверженные коррозии	$50 \cdot 10^{-3}$
Стальные сильно заржавленные трубы	0,2
Чистые цельнотянутые трубы из латуни, меди и свинца	$0,1115 \div 0,01$
Новые чугунные трубы	0,3
Очищенные чугунные трубы	0,45
Резиновый шланг	$0,01 \div 0,03$
Каналы из березовой фанеры	$0,025 \div 0,05$
Каналы из сосновой фанеры	0,10
Керамические трубы	$0,45 \div 6,0$
Бетонированные каналы	$0,8 \div 9,0$

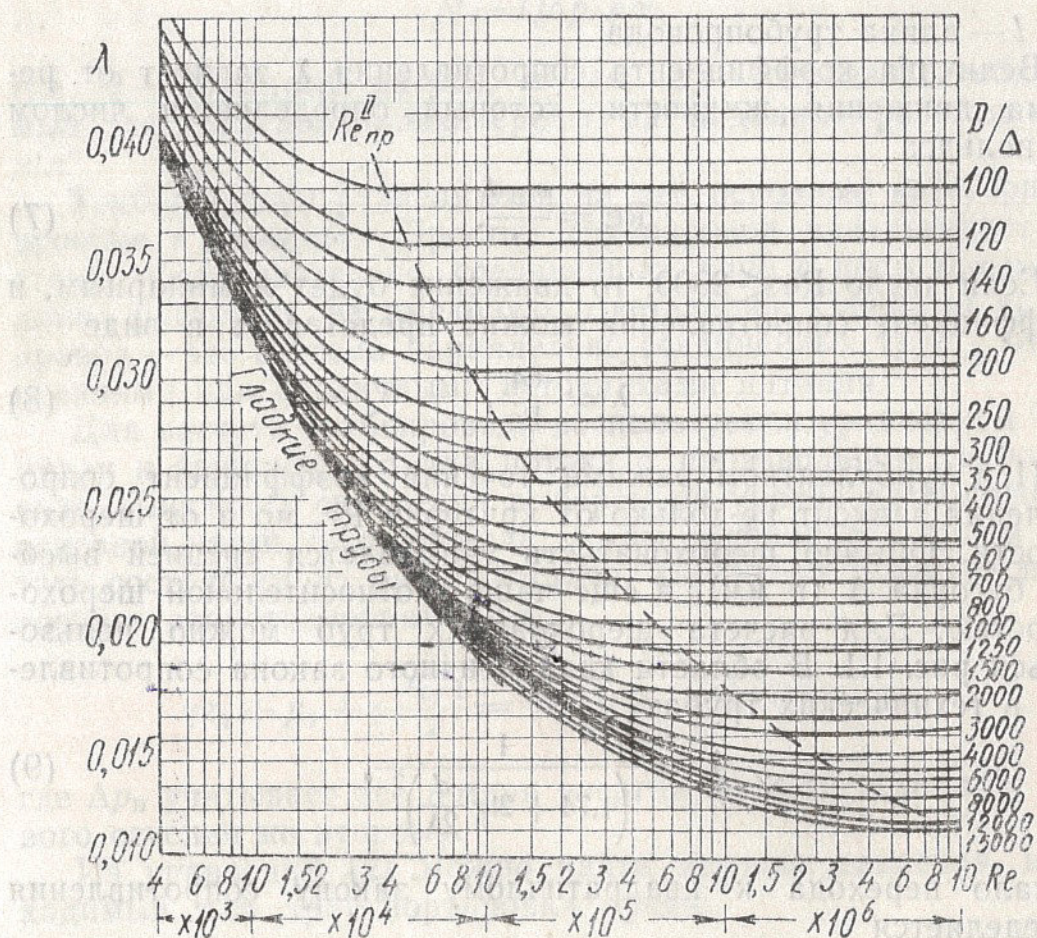


Рис. 1.1

Когда трубопровод будет иметь участки с разными диаметрами, то потери можно подсчитать для каждого участка и затем сложить. Сумма потерь в этом случае

$$\Delta p_{\tau} = \sum_{i=1}^n \lambda_i \frac{l_i}{d_i} \frac{\rho c_{\text{ср}i}^2}{2} \quad (11)$$

при этом выбирается коэффициент сопротивления λ_i , соответствующий режиму движения на участке с данным диаметром трубопровода.

В качестве примера сложного трубопровода будем рассматривать разветвленный и параллельный трубопроводы. В первом случае жидкость от насосной станции подается с секундным расходом $\dot{Q}$ к потребителям, удаленным от точки разветвления на расстояние l_i , по трубопроводам с диаметрами d_i . Требуется узнать величину объемного расхода жидкости $\dot{Q}_i$ по каждому трубопроводу.

В начале и конце трубопроводов давления одинаковы, следовательно, перепады давлений по всей длине трубопроводов одинаковы. По формуле (6) найдем систему уравнений, определяющих расход через каждую трубу

$$\dot{Q}_i^2 = \frac{\pi^2 d_i^4}{8 \lambda_i l_i \rho} \Delta p \quad (12)$$

Задаваясь λ_i и имея в виду, что для всех труб Δp одинаково, получим систему n уравнений, равную количеству ответвлений. Так как Δp тоже неизвестная величина, то для решения задачи необходимо иметь систему с $n + 1$ уравнением. Дополнительным уравнением будет задание суммарного расхода жидкости, т.е.

$$\dot{Q} = \sum^n \dot{Q}_i \quad (13)$$

Решая эту систему совместно, можно найти $\dot{Q}_i$ и Δp . Совершенно аналогично решается задача с ответвлениями и параллельными линиями.

Местные сопротивления изменяют сечение потока или его направление, что сопровождается интенсивным вихреобразованием, резким изменением поля скоростей по сечению потока и обуславливает дополнительные, так называемые местные потери напора Δp_m .

Общепринятая формула для Δp_{mi}

$$\Delta p_{mi} = \zeta_i \frac{\rho c_{\text{ср}i}^2}{2} \quad (14)$$

где $c_{\text{ср}i}$ - средняя скорость в трубопроводе, обычно за местом потерь; ζ_i - коэффициент сопротивления, зависящий от геометрической формы местного сопротивления, числа Re , а в некоторых случаях также от шероховатости на участке местного сопротивления и от структуры потока перед местным сопротивлением.

Для $Re > 1 \cdot 10^5 \div 2 \cdot 10^5$ (область обычной эксплуатации трубопроводов с маловязкими жидкостями) величина ζ_i почти не зависит от Re .

Если в трубопроводе имеется m местных сопротивлений, то суммарные потери можно определить по формуле

$$\Delta p_m = \sum_{i=1}^m \zeta_i \frac{\rho c_{cp}^2}{2} \quad (15)$$

Коэффициенты местных сопротивлений принимаются главным образом по результатам экспериментальных исследований. Соответствующие данные по используемым в задании местным сопротивлениям приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

1. Вход в трубу. Острая входная кромка

$$\zeta = 0,5$$

2. Резкий поворот в трубе на 90°

$$\zeta = 1,5$$

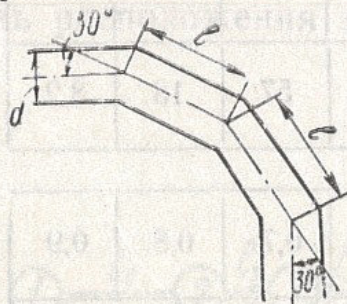
3. Плавный поворот на 90°. Поворот на любой угол φ с закруглением

$$\zeta_\varphi = \zeta_{90} \frac{\varphi}{90}$$

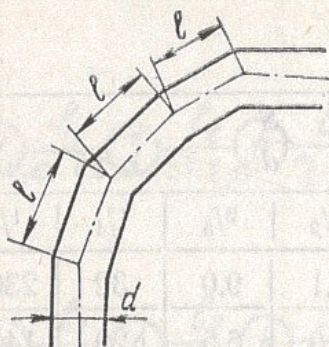
$\frac{R}{d}$	1	2	3	4	5
ζ_{90}	0,29	0,15	0,12	0,10	0,08

Продолжение

4. Колено под углом $\alpha = 90^\circ$ с двумя и тремя симметричными проставками

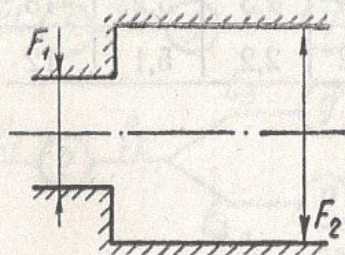


5.



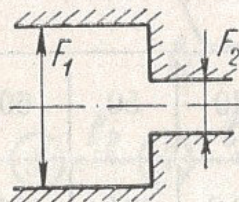
$\frac{l}{d}$	1,2	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	≥ 4
$2l$	0,35	0,31	0,32	0,34	0,35	0,35	0,35
$3l$	0,30	0,26	0,28	0,32	0,32	0,32	0,32

6. Внезапное расширение потока



$$\zeta = \left(\frac{F_2}{F_1} - 1 \right)^2$$

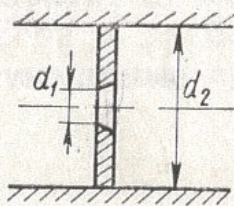
7. Внезапное сужение потока



$$\zeta = 0,5 \left(1 - \frac{F_2}{F_1} \right)$$

Продолжение

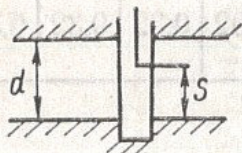
8. Диафрагмы



$\frac{F_1}{F_2}$	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4
ζ	960	240	57	18	8,2

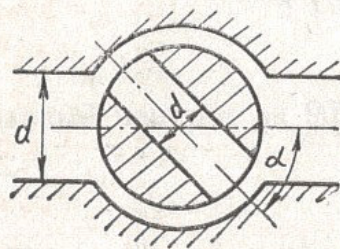
$\frac{F_1}{F_2}$	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
ζ	3,8	1,8	0,8	0,3	0,06

9. Задвижка с листовым шибером



d мм	$\frac{S}{d}$					
	1	$\frac{3}{4}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{8}$
25	0,23	0,90	4,1	9,0	32	230
50	0,16	0,68	3,0	6,5	20	140
100	0,14	0,55	2,6	5,5	16	92
150	0,12	0,49	2,4	5,3	14	73
200	0,10	0,46	2,3	5,2	13	66
300	0,07	0,42	2,2	5,1	12	56

10. Затворы конусные (крановые)



α	0	5	10	20	30	40	50	60	70
ζ	0	0,36	0,9	2,7	7,5	18,2	49,2	151	675

По формулам (3) и (5) можно вычислить потерянный напор в трубопроводе и по формуле (1) - мощность, необходимую для привода насоса.