4. РАСЧЕТ ТРУБОПРОВОДОВ

4.1 Краткие теоретические сведения

При гидравлических расчетах рассматривается несколько видов трубопроводов.

Простые — трубопроводы с постоянным диаметром по длине, которые не содержат разветвлений. Трубопровод, содержащий как последовательные, так и параллельные соединения труб, называется *сложным*.

Суммарная потеря напора в простом трубопроводе складывается из потерь на трение по длине и местных потерь:

$$h_{\text{пот}}=h_{\text{тр}}+\sum h_{\text{м}}=\left(\lambda\frac{l}{d}+\sum\zeta\right)\frac{8Q^2}{g\pi^2d^4}. \qquad (4.1)$$

Формула (4.1) справедлива для обоих режимов течения, однако при ламинарном режиме чаще используют формулу (3.7) с заменой в ней фактической длины трубопровода расчетной, равной $l_{\text{рас}}=l+l_{\text{эк}}$, где $l_{\text{эк}}$ — длина, эквивалентная всем местным гидравлическим сопротивлениям в трубопроводе.

Если в трубопроводе необходимо обеспечить расход жидкости Q, то потребный для этого напор $H_{\text{п}}$, т. е. пьезометрическая высота в начальном сечении $p_1/(\rho g)$, определяется по формуле

$$p_1/(\rho g)=H_{\text{п}}=\Delta Z+p_2/(\rho g)+h_{\text{пот}}\,, \qquad (4.2)$$

где ΔZ – геометрическая высота, на которую нужно поднять жидкость, $\Delta Z=Z_1-Z_2$;

$p_2/(\rho g)$ -- пьезометрическая высота в конечном сечении трубопровода.

Если трубопровод состоит из n последовательно соединенных участков, то справедливы равенства:

$$Q_1=Q_2=Q_3=\ldots=Q_{\text{n}}\,; \qquad (4.3)$$

$$\sum h=\sum h_1+\sum h_2+\ldots+\sum h_{\text{n}}\ . \qquad (4.4)$$

При параллельном соединении n трубопроводов (n — количество разветвлений):

$$Q=Q_1+Q_2+\ldots+Q_{\text{n}}; \qquad (4.5)$$

$$\sum h_1 = \sum h_2 = \ldots = \sum h_n, \qquad (4.6)$$

где Q – расход в точке разветвления;

Q_n – расход n-ого участка;

$\sum h_n$ – потери напора на n-ом участке.

Задачи на расчет простого трубопровода можно разбить на три типа.

1-й тип. Даны расход жидкости Q в трубопроводе; все размеры (l, d, ΔZ); шероховатость труб; давление в конечном сечении (для всасывающих трубопроводов — в начальном) и свойства жидкости (ρ, ν). Местные сопротивления либо заданы коэффициентами $f_м$ или эквивалентными длинами $l_{эк}$, либо оцениваются по справочным данным.

Требуется найти потребный напор $H_п$.

По Q, d, и ν находят число Рейнольдса и определяют режим течения.

При ламинарном режиме искомый напор находят по формулам (3.8) и (4.2).

При турбулентном режиме задачу решают с помощью формул (4.1) и (4.2) с использованием формул (3.9), (3.12) или (3.14) в зависимости от шероховатости труб.

2-й тип. Даны напор $H_р$, который будем называть располагаемым, и все величины, перечисленные в 1 типе задачи, кроме расхода Q. Такие задачи решают методом итерации (последовательного приближения).

Задаются режимом течения, основываясь на роде жидкости: для воды, бензина, керосина – режим обычно турбулентный; для масла, глицерина – ламинарный.

При ламинарном режиме течения задачу решают с помощью формул (3.8) и (4.1). После определения Q проверяют режим течения.

При турбулентном режиме течения в первом приближении следует задаться коэффициентом λ (например, $\lambda_т$=0,03). Далее по формулам (4.1), (4.2) рассчитывают Q, проверяют режим течения и, определившись с областью сопротивления, по одной из формул (3.9), (3.12) или (3.14) рассчитывают новое значение λ_1. Используя это новое значение λ_1, рассчитывают расход Q проверяют режим течения и, определившись с областью сопротивления, по одной из формул (3.9), (3.12) или (3.14) рассчитывают новое зна-

чение λ_2 и, сравнивая его с предыдущим, принимают решение, переходить ли к новому приближению. Обычно бывает достаточно второго приближения.

3-й т и п. Даны расход, располагаемый напор $H_р$ и все величины, перечисленные ранее, кроме диаметра трубопровода d.

Так как число Рейнольдса, как и в предыдущей задаче, подсчитать нельзя, то режимом течения либо задаются, либо по формулам (3.8) и (4.1) выражают диаметр через критическое число Рейнольдса и определяют $H_{кр}$, соответствующее смене режима. Сравнивая $H_{кр}$, и $H_р$, определяют режим течения.

При ламинарном режиме задачу решают просто на основании формул (3.8) и (4.1).

При турбулентном режиме задачу решают графически. Для этого задаются рядом значений диаметра d и по ним подсчитывают $H_п$. Затем строят график $H_п=f(d)$ и по нему, зная $H_р$, определяют d.

4.2. Указания и примеры решения задач

Величина потерь напора $h_{пот}$ в общем случае складывается из местных потерь $h_м$, которые можно выражать формулой Вейсбаха (3.1), и потерь на трение по длине $h_{дл}$, определяемых формулой Дарси (3.5).

При вычислении общих потерь напора пользуются принципом наложения (сложения) потерь, т.е. суммируют потери напора на всех последовательно включенных прямолинейных участках и в местных сопротивлениях. Этот метод справедлив только в том случае, когда местные сопротивления расположены на расстоянии более (20…50)d друг от друга.

При определении гидравлических потерь по формуле Вейсбаха следует обращать внимание на указания относительно того, к какой скорости (или какой площади) отнесены заданные коэффициенты сопротивления.

Пример 4.1. Из резервуара вода насосом транспортируется по трубопроводу. Определить показания манометра М при расходе воды в трубопроводе Q = 50 м^3/ч. Длина трубопровода l=120 м, высота h=960 мм, диаметр труб d=100 мм, эквивалентная ше-

роховатость $\Delta_э$=0,5 мм, коэффициент местного сопротивления в коленах равен $f_к$=0,3, в задвижке – $f_з$=1,5 (см. рис. 4.1).

Решение

Проведем в потоке два сечения 1-1 и 2-2, а также плоскость сравнения 0-0.

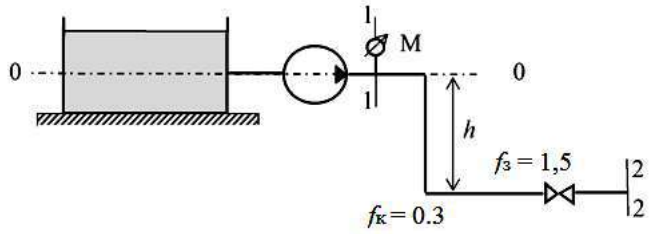


Рис.4.1. Схема к решению примера 4.1

Из формулы (4.2) имеем:

$$p_1 = \Delta Z\rho g + p_2 + \rho g h_{пот}.$$

Учитывая, что $\Delta Z = Z_2 - Z_1 = -h$; $p_2 = p_а$; $h_{пот} = h_д + h_м = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{\upsilon^2}{2g} + \sum f_M \frac{\upsilon^2}{2g}$, получим

$$p_M = p_1 - p_a = \rho g \left[\left(\lambda \frac{l}{d} + \sum f_M \right) \frac{\upsilon^2}{2g} - h \right].$$

Средняя скорость воды в трубопроводе будет равна

$$\upsilon = \frac{4Q}{\pi d^2} = \frac{4 \cdot 50}{3{,}14 \cdot 0{,}1^2 \cdot 3600} = 1{,}77 \text{ м/с}$$

Число Рейнольдса

$$\mathrm{Re} = \frac{\upsilon \cdot d}{\nu} = \frac{1{,}77 \cdot 0{,}1}{0{,}01 \cdot 10^{-4}} = 177000$$

Поскольку $\mathrm{Re} > \mathrm{Re}_{кр}$=2300, режим движения по трубопроводу – турбулентный. Так как $\mathrm{Re} \cdot \Delta_э / d = 177000 \cdot 0{,}5 \cdot 10^{-3} / 0{,}1 = 885 > 500$, то λ находится в квадратичной области сопротивления, для которой справедлива формула (3.13)

$$\lambda = 0{,}11 \left(\frac{\Delta_э}{d} \right)^{0{,}25} = 0{,}11 \left(\frac{0{,}0005}{0{,}1} \right)^{0{,}25} = 0{,}0293.$$

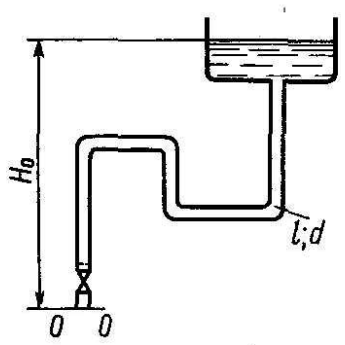
Местные сопротивления представлены в этом трубопроводе двумя коленами и одной задвижкой, поэтому $\sum f_м = 2 \cdot 0{,}3 + 1{,}5 = 2{,}1$.

Подставив заданные и найденные значения величин в полученное выше уравнение, найдем

$$p_M = 1000 \cdot 9{,}81 \left[\left(0{,}0293 \frac{120}{0{,}1} + 2{,}1 \right) \frac{1{,}77^2}{2 \cdot 9{,}81} - 0{,}96 \right] = 48950 \text{ Па}.$$

4.3. Контрольные задачи

Задача 4.1. Определить потребный напор, который необходимо создать в сечении 0—0 для подачи в бак жидкости вязкостью v, если длина трубопровода l; его диаметр d; расход жидкости Q; высота H_0; коэффициент сопротивления крана f_1, колена f_2; шероховатость стенок трубы Δ. Учесть потери при входе в бак.



Исходные данные для задачи 4.1 смотрите в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Исходные данные для задачи 4.1

Вариант	Показатели							
	d, мм	l, м	Q, л/с	v Ст.	f_1,	H_0, м	f_2	Δ, мм
1	50	80	15	0.008	5	8	0,8	0,04
2	50	60	16	0.007	6	9	0.9	0.03
3	45	50	14	0.006	7	10	0.7	0.05
4	45	30	13	0.005	8	12	0.6	0.04
5	40	20	12	0.009	9	15	0.5	0.03
6	40	70	11	0.010	8	18	0.8	0.05
7	30	80	10	0.011	7	20	0.7	0.02
8	30	90	9	0.008	6	25	0.6	0.04
9	25	60	8	0.012	5	30	0.5	0.03
0	55	100	17	0.010	4	35	0.7	0.05