

7. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТРУБОПРОВОДОВ.

7.1. Гидравлический расчет простых трубопроводов.

Трубопровод без разветвлений принято называть простым. При расчете простых трубопроводов используется физический параметр - потребный напор (иногда этот параметр называют располагаемым напором). Под потребным напором в дальнейшем будем понимать пьезометрический напор в начальном сечении, обеспечивающий заданный расход жидкости в данном трубопроводе.

На рис.16 изображен простой трубопровод постоянного сечения диаметром d и длиной l с несколькими местными сопротивлениями. Если записать уравнение Бернулли для сечений 1-1 и 2-2, то после математических преобразований получим выражение для потребного напора

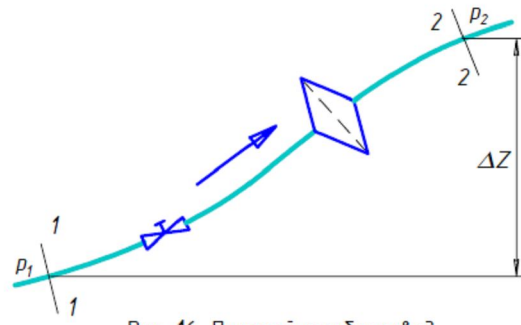


Рис. 16. Простой трубопровод.

$$H_{\text{потр}} = \Delta Z + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \Sigma h_{\text{пот}} , \quad (30)$$

где ΔZ - перепад высот между конечным и начальным сечениями;

p_2 - давление в конечном сечении;

$\Sigma h_{\text{пот}}$ - суммарные потери от сечения 1-1 до 2-2.

Суммарные потери напора в общем случае можно представить в виде

$$\Sigma h_{\text{пот}} = K_{\text{л}} \cdot Q + K \cdot Q^2 . \quad (31)$$

В правой части зависимости (31) суммированы потери напора в гидравлических сопротивлениях, которые имеют место в данном трубопроводе. Первое слагаемое присутствует при наличии ламинарных потерь на трение по длине или

линейных потерь в местных сопротивлениях. Второе - при наличии турбулентных потерь на трение по длине или квадратичных потерь в местных сопротивлениях.

Коэффициент K_d может быть получен из формулы Пуазейля (22) с учетом положений раздела 5.3.2, а коэффициент K - из формул Дарси (19) и Вейсбаха (18) с учетом зависимости для расхода (14). Эти коэффициенты определяются геометрическими параметрами трубопроводов и свойствами жидкости. Следует однако отметить, что при турбулентном течении (особенно в области гидравлически гладких труб) коэффициент K может несколько зависеть от расхода (см. раздел 5.2).

Кривые требуемого напора приведены на рис.17. Причем, на рис.17а зависимости носят линейный характер, т.е. $K \cdot Q^2 = 0$, а на рис.17б - квадратичный.

Зависимости требуемых напоров связывают основные геометрические параметры трубопроводов, характеристики жидкости и параметры потока. Они могут быть представлены в графическом (рис.17) или в аналитическом (30), (31) виде. Эти зависимости позволяют существенно упростить расчеты сложных гидравлических систем.

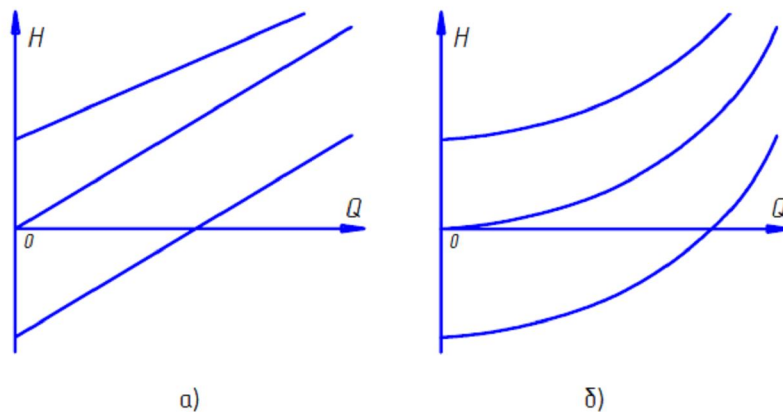


Рис. 17. Зависимость требуемых напоров от расхода.

В ряде случаев вместо зависимостей требуемого напора используют характеристики трубопроводов. Характеристика трубопровода это зависимость сум-

марных потерь от расхода, т.е. $\Sigma h_{\text{пот}} = f(Q)$. Она отличается от линии потребного напора на величину так называемого статического напора

$$H_{\text{ст}} = \Delta Z + \frac{p_2}{\rho \cdot g} \quad (32)$$

и применяется в расчетах машиностроительных объемных гидросистем.

7.2. Соединения простых трубопроводов. Сложный трубопровод.

7.2.1. Последовательное соединение простых трубопроводов.

При последовательном соединении нескольких простых трубопроводов (например трех, см. рис.18,*а*) расходы в них одинаковы и такой же расход во всем сложном трубопроводе $Q_{\text{сл}}$ состоящим из этих трех простых, т.е.

$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_{\text{сл}}. \quad (33)$$

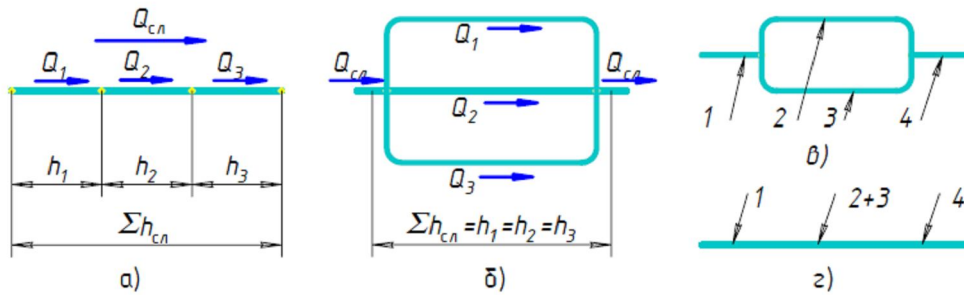


Рис. 18. Соединения простых трубопроводов.

Суммарные потери напора $\Sigma h_{\text{сл}}$ (или потери давления $\Sigma \Delta p_{\text{сл}}$) сложного трубопровода в данном случае будут равны сумме потерь в простых, т.е.

$$\Sigma h_{\text{сл}} = h_1 + h_2 + h_3 \quad \text{или} \quad \Sigma \Delta p_{\text{сл}} = p_1 + p_2 + p_3. \quad (34)$$

Формулы (33), (34) позволяют графическим сложением из характеристик простых трубопроводов (или их потребных напоров) получить аналогичную зависимость для сложного трубопровода. На рис. 19,*а* представлены характеристики трех простых трубопроводов (линии 1, 2 и 3). Сложение характеристик последова-

тельно соединенных трубопроводов проводят при нескольких произвольно взятых расходах. Например, при $Q = Q^*$ по (34) определяют отрезок Σh_{cl} и получают точку, принадлежащую характеристике сложного трубопровода (точка E_1). А затем по нескольким таким точкам проводят суммарную характеристику сложного трубопровода (линия Σ).

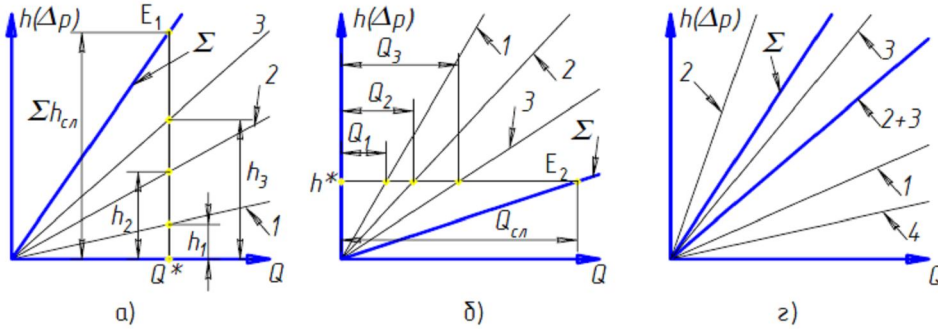


Рис. 19. Сложение характеристик трубопроводов.

7.2.2. Параллельное соединение простых трубопроводов.

При параллельном соединении нескольких простых трубопроводов (рис. 18,б) расходы в них в общем случае различны. Суммарный расход Q_{cl} подводимый к сложному трубопроводу, составленному из этих трех простых трубопроводов, (или отводимый от него) будет равен сумме расходов в простых трубопроводах, т.е.

$$Q_{cl} = Q_1 + Q_2 + Q_3. \quad (35)$$

А потери напора (или давления) в каждом из простых трубопроводов будут одинаковы и равны суммарной потере напора Σh_{cl} (или давления $\Sigma \Delta p_{cl}$) в сложном трубопроводе, т.е.

$$\Sigma h_{cl} = h_1 = h_2 = h_3 \quad \text{или} \quad \Sigma \Delta p_{cl} = \Delta p_1 = \Delta p_2 = \Delta p_3. \quad (36)$$

Формулы (35), (36) позволяют графическим сложением из характеристик простых трубопроводов (или их потребных напоров) получить аналогичную зави-

симось для сложного трубопровода. Сложение характеристик параллельно соединенных трубопроводов (линии 1, 2 и 3 на рис. 19,б) проводят при нескольких произвольно взятых потерях напора (или давления). Например, при $\Sigma h = h^*$ по (35) определяют отрезок $Q_{\text{сл}}$ и получают точку принадлежащую характеристике сложного трубопровода (точка E_2). А затем по нескольким таким точкам проводят суммарную характеристику сложного трубопровода (линия Σ)

7.2.3. Сложный трубопровод.

Выше были рассмотрены случаи, когда сложные трубопроводы образовывали последовательно или параллельно соединенные простые трубопроводы. В общем случае сложный трубопровод состоит из простых трубопроводов с последовательным и параллельным их соединением. Поэтому для любого из них можно применить законы, используемые ранее и получать зависимости требуемого напора (или характеристики) теми же методами. В качестве примера рассмотрим сложный трубопровод изображенный на рис. 18,в.

На рис.19,в приведены характеристики простых трубопроводов образующих рассматриваемый сложный трубопровод (линии 1, 2, 3 и 4). Вначале следует сложить характеристики параллельных трубопроводов 2 и 3 по методам раздела 7.2.2. В результате получим характеристику условного трубопровода 2+3 (линия 2+3). Тогда сложный трубопровод можно представить в виде трех последовательно соединенных трубопроводов (рис. 19,г). Затем складываем характеристики этих трех трубопроводов по методам раздела 7.2.1. В результате получим суммарную характеристику сложного трубопровода (линия Σ).

7.3. Трубопровод с насосной подачей.

В машиностроении основным способом подачи жидкости является принудительное нагнетание насосом. В основе расчета трубопроводов с насосной подачей лежит закон сохранения энергии, который применительно к гидросистемам удобно записать в следующем виде:

$$H_{\text{н}} = H_{\text{потр}}, \quad (37)$$

где $H_{\text{н}}$ - напор насоса, т. е. приращение полной удельной энергии, сообщаемое насосом жидкости (подробнее см. раздел 9); $H_{\text{потр}}$ - потребный напор трубопровода.

Использование уравнения (37) при расчете гидросистем зачастую затрудняется существенной сложностью аналитического описания зависимостей $H_{\text{н}} = f_1(Q)$ и $H_{\text{потр}} = f_2(Q)$. В этом случае применяют графоаналитический метод расчета.

Сушность этого метода заключается в том, что на один график наносят характеристики насоса $H_{\text{н}} = f_1(Q)$ и трубопровода $H_{\text{потр}} = f_2(Q)$ (рис.20). Точка пересечения этих кривых R (рабочая точка) определяет рабочий режим гидросистемы. Далее по графику находят напор насоса и его подачу $Q_{\text{н}}$ при работе с данным трубопроводом (рис.20).

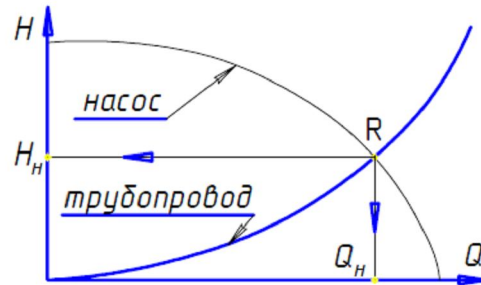


Рис. 20. Трубопровод с насосной подачей.

8. ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ УДАР.

Гидравлический удар возникает в трубопроводах при резком изменении направления движения жидкости, например, при остановке потока из-за быстрого перекрытия задвижки (крана). Он представляет собой колебательный процесс со скачкообразными изменениями давления и может привести к разрушению гидросистемы. Наибольшую опасность представляет начальный скачок давления. В этом случае кинетическая энергия движущейся жидкости переходит в работу растяжения стенок трубы и сжатия жидкости. Величина ударного давления $\Delta p_{\text{уд}}$ может быть вычислена по формуле Жуковского

$$\Delta p_{\text{уд}} = \rho \cdot V_0 \cdot c, \quad (39)$$

где V_0 - начальная скорость движения жидкости;

c - скорость распространения скачка давления (ударной волны).

Величина скорости ударной волны c зависит от упругих свойств трубы и жидкости. И чем они более упруги, тем меньше c и меньше скачок давления $\Delta p_{\text{уд}}$.

Формула Жуковского (39) справедлива при прямом гидравлическом ударе, когда время закрытия задвижки

$$t_{\text{закр}} < t_0 = \frac{2 \cdot l}{c}, \quad (40)$$

где t_0 -фаза гидроудара, т.е. время необходимое для пробега ударной волны от крана до начала трубопровода длиной l и обратно. При $t_{\text{закр}} > t_0$ скачок давления $\Delta p_{\text{уд}}$ получается меньше и такой гидроудар называют непрямым. Поэтому для снижения ударного давления следует увеличивать величину $t_{\text{закр}}$.

ЧАСТЬ 2. ГИДРОМАШИНЫ И ГИДРОПРИВОДЫ

9. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ГИДРОМАШИНАХ.

9.1. Основные понятия и общая классификация.

Гидравлическими машинами (гидромашинами) называются устройства, которые сообщают протекающей через них жидкости энергию, или получают от жидкости энергию и передают её на выходное звено для совершения полезной работы.

Наиболее распространенной разновидностью гидромашин являются насосы. Насос - это гидромашина, предназначенная для преобразования энергии приводного звена в энергию потока жидкости.

Второй разновидностью гидромашин являются гидродвигатели, назначение которых состоит в противоположном преобразовании энергии. Гидродвигатель - это гидромашина, предназначенная для преобразования энергии потока жидкости в энергию выходного звена.

По характеру силового взаимодействия все гидромашины (насосы и гидродвигатели) подразделяются на динамические и объемные.