

НИШОНОВ Ф.Х

РАСЧЕТ СЛОЖНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Сложными называются трубопроводы, имеющие ответвления. Точки смыкания ветвей называются узловыми точками.

В зависимости от характера ответвлений сложные трубопроводы делится на трубопроводы с параллельными ветвями, трубопроводы с концевой раздачей, трубопроводы с непрерывной раздачей и другие.

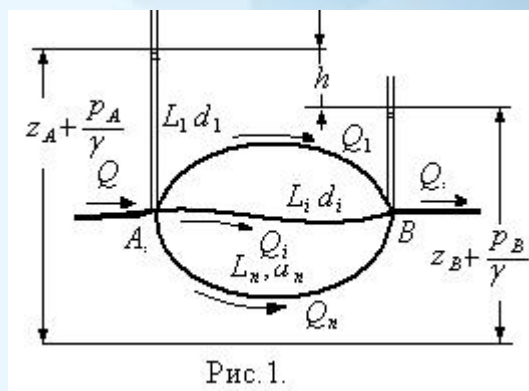


Рис. 1.

Расчет сложного трубопровода сводится к решению системы уравнений, выражающих соотношения между расходами, напорами и размерами труб системы.

Конкретный вид расчетных уравнений и порядок расчета определяются типом сложного трубопровода и поставленной задачей.

Ниже рассматриваются методы расчета некоторых основных типов сложных трубопроводов.

I. Трубопроводы с параллельными ветвями. Параллельными ветвями называются участки трубопровода, соединяющие две узловые точки (рис.1.).

При расчете сложного трубопровода с параллельными ветвями пользуются следующими соотношениями:

а) Сумма расходов в параллельных ветвях равна расходу в подводящей и расходу в отводящей трубах, примыкающих к узловой точке:

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_i$$

(1)

где Q_i - расходе ветви;

Q - расход в подводящей и отводящей трубах,

б) Потери напора в параллельных ветвях одинаковы:

$$h_{\Pi 1} = \dots = h_{\Pi i} = \dots = h_{\Pi n},$$

(2)

где

$$h_{\Pi i} = \lambda_i \frac{L_i}{d_i} \frac{g_i^2}{2g} = 0,0827 \lambda_i \frac{L_i}{d_i^5} Q_i^2$$

(3)

Числовой коэффициент 0,0827 в формуле (3) равен $\frac{16}{\pi^2 2g}$ где g выражена в $\frac{м}{сек^2}$.

L_i - приведенная длина ветви (в приведенную длину включаются эквивалентные длины местных сопротивлений).

d_i - диаметр ветви;

λ_i - коэффициент сопротивления трения ветви.

Для длинных трубопроводов, когда скоростными напорами можно пренебречь по сравнению с потерями напора, потеря напора в каждой из параллельных ветвей практически равна разности h уровней жидкости в пьезометрах, установленных в узловых точках:

$$h_{\Pi 1} = \dots = h_{\Pi i} = \dots = h_{\Pi n} = h$$

(4)

Для выполнения расчета сложного трубопровода с параллельными ветвями перечисленные ранее соотношения (1) и (4) дополняются уравнением баланса напоров во всем трубопроводе; для длинного трубопровода это уравнение имеет вид:

$$H = \sum_{i=1}^n h_{\Pi i},$$

(5)

где H - располагаемый или потребный напор сложного трубопровода;

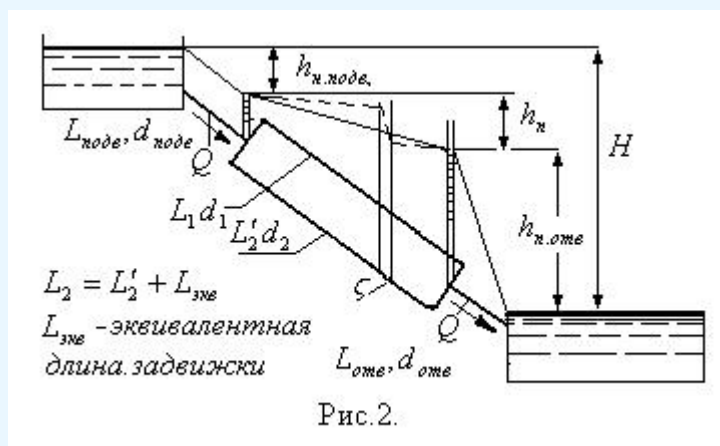
$H = \sum_{i=1}^n h_{\Pi i} = h_{\Pi}$ - сумма потерь напора во всех последовательно работающих участках трубопровода.

Для трубопровода, изображенного на рис. 2, расчетная система уравнений будет:

$$\begin{aligned} Q &= Q_1 + Q_2 \\ 0,0827 \lambda_1 \frac{L_1}{d_1^5} Q_1^2 &= 0,0827 \lambda_2 \frac{L_2}{d_2^5} Q_2^2 \\ H &= 0,0827 \lambda_{\text{подв}} \frac{L_{\text{подв}}}{d_{\text{подв}}^5} Q_{\text{подв}}^2 + \lambda_i \frac{L_i}{d_i^5} Q_i^2 + \lambda_{\text{отв}} \frac{L_{\text{отв}}}{d_{\text{отв}}^5} Q_{\text{отв}}^2 \end{aligned} \quad (6)$$

Индекс i относится либо к первой, либо ко второй ветви.

Решение системы уравнений типа (6) может быть осуществлено аналитически или графически.



Аналитическое решение этой системы (относительно напора H при заданном расходе Q_i в одной из ветвей или относительно расходов Q_i и Q при заданном напоре H приходится производить методом последовательных приближений, так как не имея данных относительно расходов в некоторых или во всех трубах системы, нельзя точно определить величины коэффициента λ сопротивления трения для потоков в этих трубах.

Для решения уравнений в первом приближении значения λ принимают, полагая наличие в трубах квадратичного режима течения. Решив уравнения в соответствии с выбранными λ и определив расходы, выполняются решение во втором приближении, пользуясь более точными значениями λ , вычисленными по расходам, полученным в первом решении. Приближения повторяют до хорошего совпадения полученных результатов. Обычно уже второе приближение оказывается достаточно точным.

Аналитический расчет сложного трубопровода с параллельными ветвями может быть проведен также путем замены пучка параллельных ветвей одной эквивалентной трубой, т. е. такой, которая пропускает весь расход, проходящий через пучок, при потере, равной потере в любой из труб этого пучка. Размеры эквивалентной трубы связаны с размерами параллельно работающих ветвей соотношением.

$$\sqrt{\frac{d_s^5}{\lambda_s L_s}} = \sqrt[n]{\frac{d_i^5}{\lambda_i L_i}}$$

(7)

При расчете таким способом сложного трубопровода с параллельными ветвями эквивалентный трубопровод входит как один из последовательно работающих участков в уравнение (5) баланса напоров.

$$H = 0,0827 \lambda_{\text{подв}} \frac{L_{\text{подв}}}{d_{\text{подв}}^5} Q_{\text{подв}}^2 + \lambda_i \frac{L_i}{d_i^5} Q_i^2 + \lambda_{\text{омб}} \frac{L_{\text{омб}}}{d_{\text{омб}}^5} Q_{\text{омб}}^2$$

Графический метод расчета состоит в графическом решении систем расчетных уравнений типа (6). Для выполнения такого решения прежде всего строятся характеристики всех труб системы, для длинных труб- согласно уравнениям (3).

При турбулентном течении в трубопроводе его характеристика является практически квадратичной параболой; при ламинарном течении –практически прямой.

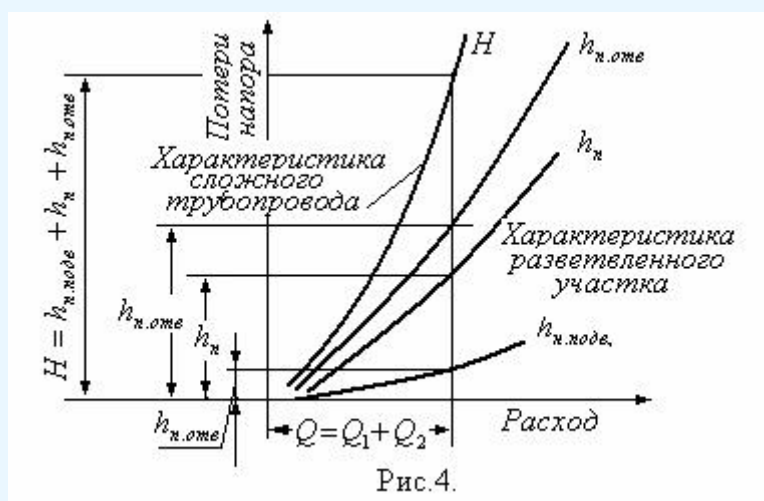


Рис. 3.

Характеристики параллельно работающих ветвей затем складываются согласно уравнениям (1) и (4), т.е. путем сложения абсцисс кривых (расходов) при одинаковых ординатах (напорах). Полученная в результате сложения характеристика представляет собой характеристику разветвленного участка и может рассматриваться как характеристика эквивалентной трубы, заменяющей данные параллельные ветви.

На рис.3. построена характеристика разветвленного участка трубопровода, изображенного на рис.2.

Характеристика разветвленного участка суммируется затем с характеристиками подводящей и отводящей труб согласно уравнению (5), т. е. путем сложения ординат (напоров) при одинаковых абсциссах (расходах). Полученная таким способом характеристика является характеристикой сложного трубопровода.



На рис.4. построена характеристика сложного трубопровода, изображенного на рис.2. Полная схема графического расчета сложного трубопровода с параллельными ветвями

показана на рис.5.

Построенные характеристики позволяют по заданному расходу в одной из ветвей определить требуемый напор сложного трубопровода или по заданному располагаемому напору определить расходы во всех трубах.

Для решения первого вопроса нужно известный расход, например Q_1 , отложить на оси абсцисс и через полученную точку A провести вертикаль до пересечения с характеристикой первой ветви. Ордината полученной при этом точки B_1 выражает величину потерь напора в параллельных ветвях:

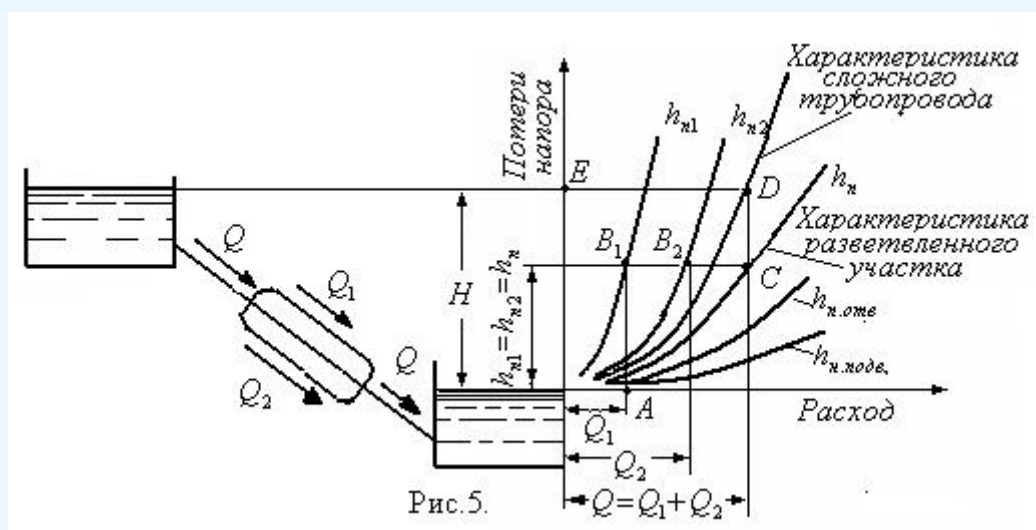
$$h_{п1} = h_{п2} = h_{п}.$$

Если через точку B_1 провести горизонталь до пересечения с характеристикой разветвленного участка, то получим точку C , абсцисса которой выражает величину суммарного расхода $Q = Q_1 + Q_2$ в системе. Проведя через точку C вертикаль до пересечения с характеристикой сложного трубопровода, получим точку D , ордината которой выражает искомый напор H .

Для решения второго вопроса нужно на оси ординат отложить известный напор H и через полученную точку E провести горизонталь до пересечения с суммарной характеристикой системы. Абсцисса полученной при этом точки D выражает собой величину суммарного расхода в системе:

$$Q = Q_1 + Q_2$$

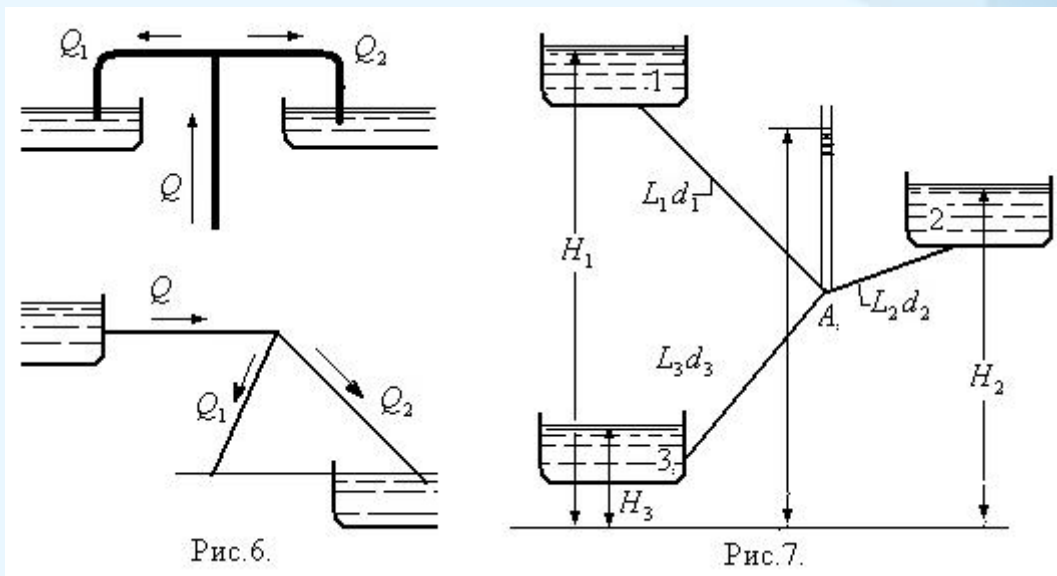
Если через точку D провести вертикаль до пересечения с характеристикой



разветвленного участка, то ордината полученной при этом точки C выражает собой величину потери напора в каждой из параллельных ветвей. Если через точку C провести горизонталь до пересечения с характеристиками ветвей, то получим точки B_2 и B_1 абсциссы которых выражают величины расходов в ветвях.

Если характеристики построены с учетом изменения λ в зависимости от режимов течения жидкости в трубопроводах и шероховатости стенок трубопроводов, то отпадает необходимость в последовательных приближениях, что является преимуществом графического метода.

Соотношения (1) и (2) могут быть использованы не только для расчета сложных трубопроводов с параллельными ветвями, но и для расчета сложных трубопроводов с концевой раздачей в тех случаях, когда потери напора в ветвях, расходящихся из одной узловой точки таких трубопроводов, оказываются равными. На рис.6. изображены некоторые схемы таких трубопроводов.



II. Трубопроводы с концевой раздачей. Простейшей схемой разветвленного трубопровода с концевой, раздачей является трубопровод, соединяющий три резервуара и имеющий одну узловую точку (рис.7).

При известных размерах ветвей ($L_1, d_1, L_2, d_2, L_3, d_3$ где L_1, L_2, L_3 - приведенные длины) и известных напорах в резервуарах (H_1, H_2, H_3) задача расчета такого трубопровода сводится к определению расходов в ветвях (задача о трех резервуарах).

Для отыскания расходов решается система уравнений, состоящая из уравнения баланса расходов в узловой точке и уравнений баланса напоров для каждой из труб.

В зависимости от величины статического напора (y) в узловой точке возможны три случая распределения расходов в ветвях трубопровода.

1) Если напор y в узловой точке меньше напора H_2 в резервуаре 2 ($y < H_2$), жидкость из резервуаров 1 и 2 перетекает в резервуар 3 и система уравнений для решения задачи имеет вид:

$$\begin{aligned} H_1 - y &= 0,0827 \lambda_1 \frac{L_1}{d_1^5} Q_1^2 \\ H_2 - y &= 0,0827 \lambda_2 \frac{L_2}{d_2^5} Q_2^2 \\ y - H_3 &= 0,0827 \lambda_3 \frac{L_3}{d_3^5} Q_3^2 \\ Q_1 + Q_2 &= Q_3 \end{aligned} \quad (8)$$

2) Если $y > H_2$, жидкость из резервуара 1 перетекает в резервуары 2 и 3, и расчетная

система уравнений принимает вид:

$$\begin{aligned} H_1 - y &= 0,0827 \lambda_1 \frac{L_1}{d_1^5} Q_1^2 \\ y - H_2 &= 0,0827 \lambda_2 \frac{L_2}{d_2^5} Q_2^2 \\ y - H_3 &= 0,0827 \lambda_3 \frac{L_3}{d_3^5} Q_3^2 \\ Q_1 + Q_2 &= Q_3 \end{aligned} \quad (9)$$

3) Если $y = H_2$ расход $Q_2 = 0, Q_1 = Q_3 = Q$ и жидкость перетекает из резервуара 1 в резервуар 3. В этом случае неизвестный расход Q определяется из следующих независимых уравнений:

$$\begin{aligned} H_1 - H_2 &= 0,0827 \lambda_1 \frac{L_1}{d_1^5} Q^2 \\ H_2 - H_3 &= 0,0827 \lambda_3 \frac{L_3}{d_3^5} Q^2 \end{aligned} \quad (10)$$

Чтобы для расчета воспользоваться одной из указанных трех систем уравнений, необходимо знать направление потока в трубе 2. Для решения этого вопроса нужно определить напор y в узловой точке при выключенной трубе 2:

$$y = H_1 - \frac{H_1 - H_2}{\frac{\lambda_3}{\lambda_1} \frac{L_3}{L_1} \frac{d_1^5}{d_3^5} + 1}$$

Если это уравнение дает значение $y < H_2$, то работа трубопровода при включенной ветви 2 соответствует рассмотренному выше случаю 1 и расчет системы следует производить согласно уравнениям (8).

Если $y > H_2$, то при включенной ветви 2 трубопроводы работают по схеме 2 и расчет производится согласно уравнениям (9).

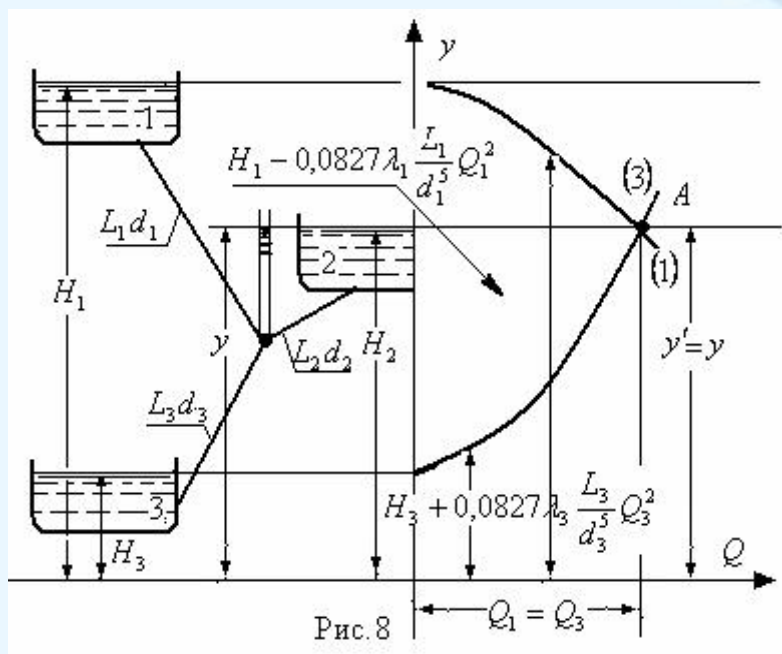


Рис. 8

Если $y = H_2$, то расход в ветви 2 равен нулю и расчет трубопровода производится соответственно случаю 3 по уравнениям (10).

Поставленная задача может быть решена и графически. Идея графического решения заключается в определении статического напора y в

узловой точке, при котором удовлетворяется условие баланса расходов в этой точке.

При этом сначала, для определения напора y в узловой точке при выключенной трубе 2 строятся кривые $y = f(Q)$ для ветвей 1 и 2 согласно уравнениям

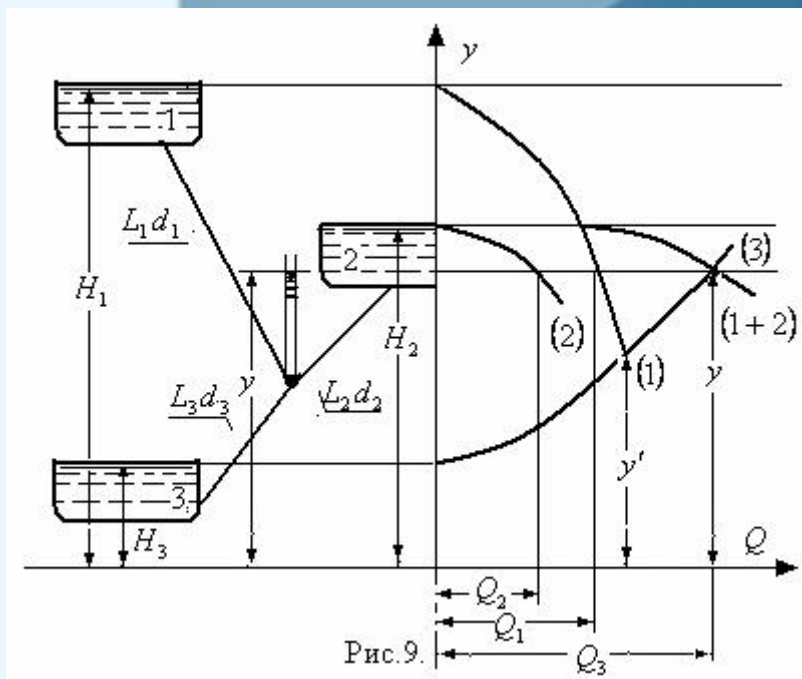
$$y = H_1 - 0,0827 \lambda_1 \frac{L_1}{d_1^5} Q_1^2$$

$$y = H_3 + 0,0827 \lambda_3 \frac{L_3}{d_3^5} Q_3^2$$

Ордината точки A пересечения кривых дает величину напора y (рис.8).

Если получается, что $y = H_2$, то абсцисса точки A дает величину действительного расхода в ветвях $Q_1 = Q_2$. Расход Q_2 , при этом равен нулю.

Если $y < H_2$, то имеет место распределение потоков в ветвях, соответствующее случаю 1. Для определения расходов в этом случае следует построить кривую $y = f(Q)$ для ветви 2 согласно второму уравнению системы (8) а затем сложить кривые для



ветвей 1 и 2 согласно последнему уравнению этой же системы (рис.9).

Ордината и абсцисса точки B пересечения суммарной кривой ветвей 1 и 2 с кривой ветви 3 дают соответственно величину действительного напора y в узловой точке и расхода Q_3 , равного в этом случае $Q_1 + Q_2$.

Если $y > H_2$ (рис.10), то имеет место распределение потоков в ветвях, соответствующее случаю 2. Для определения расходов в этом случае следует построить кривую $y = f(Q)$ для ветви 2 согласно второму уравнению системы (9) и сложить кривые для ветвей 3 и 2 согласно последнему уравнению этой системы.

Ордината и абсцисса точки B пересечения суммарной кривой ветвей 3 и 2 и кривой, построенной для ветви 1, дают соответственно величину напора y в узловой точке и расхода Q_1 , равного в данном случае $Q_2 + Q_3$.

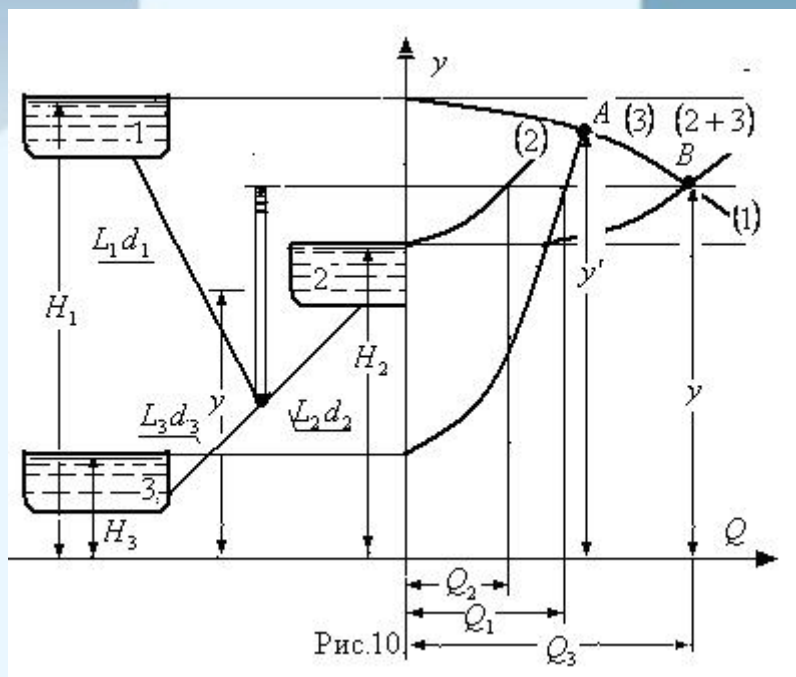


Рис.10

Если система включает трубы, оканчивающиеся сходящимися насадками, открытыми в атмосферу, то при составлении уравнения баланса напоров для таких труб следует учитывать скоростной напор на выходе из насадка и потерю напора в насадке.

Как следует из сказанного выше, аналитическое решение задачи можно осуществить только методом последовательных приближений, так как при неизвестном расходе хотя бы в одной из труб невозможно определить точное значение коэффициента сопротивления трения для потока в ней.

При графическом решении отпадает необходимость в последовательных приближениях, так как характеристики можно строить с учетом изменения λ в зависимости от режимов движения жидкости в трубах и шероховатости.

III. Трубопроводы с непрерывной раздачей. Трубопроводами с непрерывной раздачей называются такие трубопроводы, в которых на некоторой длине L - часть подачи Q_{Π} (путевой расход) равномерно расходуется в большом количестве пунктов, расположенных на одинаковых расстояниях друг от друга (рис.11).

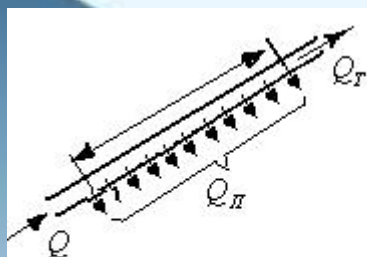


Рис.11.

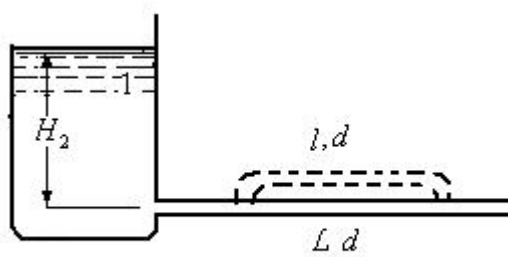


Рис.12.

Нерозданная часть расхода Q_T (транзитный расход) следует транзитом через участок L в последующие участки трубопровода.

Расчет трубопроводов с непрерывной раздачей производится в предположении, что забор жидкости осуществляется непрерывно и равномерно с интенсивностью $q \frac{\text{л}}{\text{сек}}$ на 1 пог.м. по всей длине участка L .

Расход в начале участка

$$Q = Q_T + Q_{II} = Q_T + qL$$

Потеря напора на участке L .

$$h_{II} = 0,0827\lambda \frac{L}{d^5} Q_T^2 + \frac{Q_{II}^2}{3} + Q_{II}Q_T = 0,0827\lambda \frac{L}{d^5} Q_T^2 + \frac{q^2 L^2}{3} + qLQ_T \quad (11)$$

Проиллюстрируем сказанное выше некоторыми примерами.

Использованная литература

1. Агроскин И.И. «Гидравлика» Госэнергоиздат, 1964г.
2. Агроскин И.И. Таблицы для гидравлических расчетов, Госэнергоиздат, 1946.
3. Задачник по гидравлике под редакцией проф. И.И. Куколевского и доц. Л.Г. Подвидза. Госэнергоиздат. 1960. 440с.
4. Хамидов А.А., Худайкулов С.И., Махмудов И.Э. «Гидромеханика» ФАН- 2008г. 340с.