

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Уфимский государственный нефтяной технический университет»  
Филиал УГНТУ в г. Октябрьском

Кафедра механики и технологии машиностроения

# **ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПРОСТОГО ТРУБОПРОВОДА**

**Учебно-методическое пособие  
к выполнению курсовой работы**

**по дисциплине «Гидравлика и нефтегазовая гидромеханика»**

**г. Октябрьский**

**2015**

Учебно-методическое пособие содержит контрольные задания к выполнению курсовой работы по гидравлическому расчету трубопровода заданной геометрии. Даны рекомендации по выполнению работы.

Пособие рекомендуется для студентов всех форм обучения по профилям «Эксплуатация и обслуживание объектов добычи нефти», «Бурение нефтяных и газовых скважин» направления подготовки: 21.03.01 Нефтегазовое дело.

Составители:

Арсланов И.Г., д-р техн. наук, проф.  
Шангареев Р.Р., доц., канд. техн. наук

Рецензент

Галеев А.С., д-р техн. наук, проф.

## ВВЕДЕНИЕ

Курсовая работа по дисциплине «Гидравлика и нефтегазовая гидромеханика» выполняется студентами всех форм обучения по профилям «Эксплуатация и обслуживание объектов добычи нефти», «Бурение нефтяных и газовых скважин» направления подготовки: 21.03.01 Нефтегазовое дело.

Целью работы является закрепление знаний, полученных студентами при изучении теоретического материала, выработка у них навыков практического применения этих знаний при решении инженерных задач.

В курсовую работу входит гидравлический расчет трубопровода заданной геометрии. Работа должна состоять из расчетно-пояснительной записки с включенными в нее результатами расчетов и чертежа, на котором схематически изображается трубопровод, и наносятся линии полного и пьезометрического напоров, а также указываются все составляющие потери напора.

### 1 ЗАДАНИЕ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ

Каждому студенту преподаватель (руководитель курсовой работы) сообщает тип схемы трубопровода и номер варианта, в соответствии с которым студент из приложения 1 выбирает данные своего задания.

В гидравлической системе следует определить расход жидкости, если давление в емкости  $p_m$ , а высота уровня жидкости –  $H_0$ .

Схемы гидравлических систем, таблицы их геометрических размеров и значений исходных данных приведены в приложении 1.

Запорный вентиль в схемах А, В, Д, Ж, И, К открыт полностью, а в схемах Б, Г, Е, З, Л, М – частично. Трубы стальные, новые.

### 2 ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Простым трубопроводом называют трубопровод, по которому жидкость транспортируется без промежуточных ответвлений потока. В коротких трубопроводах местные потери напора соизмеримы с потерями на трение.

Исходным при расчетах простого трубопровода является уравнение Бернулли, составленное для потока жидкости от плоскости свободной

поверхности питающего резервуара до плоскости выходного сечения трубопровода.

При установившемся движении жидкости имеем:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} = z_k + \frac{p_k}{\gamma} + \alpha_k \frac{v_k^2}{2g} + \sum_{i=1}^n h_{ni} \quad (1)$$

где  $z_1; z_k$  – ординаты, определяющие высоту положения центра выбранного сечения над горизонтальной плоскостью сравнения 0–0 (рис. 1);

$\frac{p_1}{\gamma}; \frac{p_k}{\gamma}$  – пьезометрический напор в сечениях 1–1 и К–К;

$\alpha_1 \frac{v_1^2}{2g}; \alpha_k \frac{v_k^2}{2g}$  – скоростной напор в сечениях 1–1 и К–К;

$\alpha_1; \alpha_k$  – коэффициенты Кориолиса, учитывающие неравномерность распределения скоростей в соответствующих живых сечениях потока;

$\sum_{i=1}^n h_{ni}$  – сумма потерь напора на всех участках трубопровода на пути

между выбранными сечениями, состоящая из потерь на трение по длине и потерь в местных сопротивлениях на каждом из участков ( $h_{ni} = h_{mpi} + h_{mj}$ );

$n$  – количество участков.

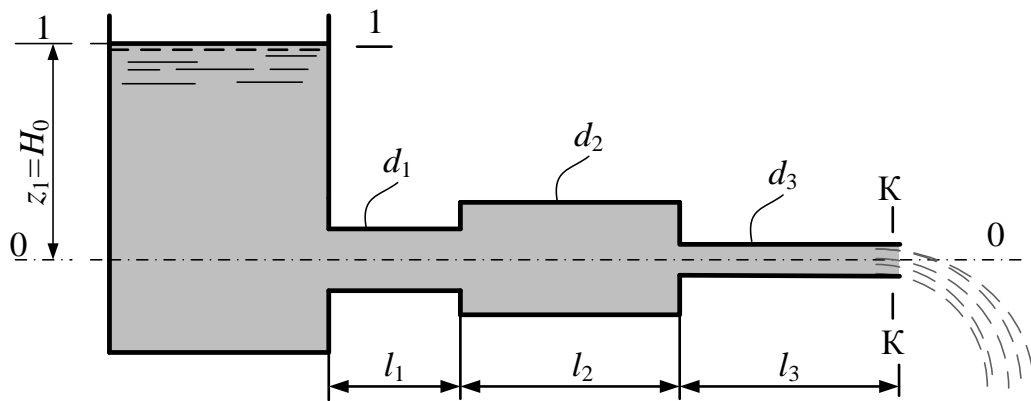


Рис. 1. Схема простого трубопровода

Для удобства расчетов вводится понятие располагаемого напора трубопровода, который представляет перепад гидравлических напоров, действующих в выбранных сечениях потока:

$$H = \left(z_1 + \frac{p_1}{\gamma}\right) - \left(z_k + \frac{p_k}{\gamma}\right) = z_1 - z_k + \frac{p_1 - p_k}{\gamma}, \quad (2)$$

где  $z_1 - z_k = H_0$  (для схем А, Б, Д, Е, Ж, З, И, К, Л, М),

$z_1 - z_k = H_0 + h$  (для схем В, Г) – при условии, что плоскость сравнения проходит через центр выходного сечения трубопровода;

$\frac{P_1 - P_k}{\gamma} = \frac{P_m}{\gamma}$  – при условии, что  $p_k = p_{atm}$  (давление на выходе из трубопровода равно атмосферному).

Преобразуя, с учетом (2), уравнение Бернулли (1), получим общий вид расчетного уравнения простого трубопровода:

$$H = \alpha_k \frac{v_k^2}{2g} - \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} + \sum_{i=1}^n h_{mi} \quad (3)$$

Так как площадь свободной поверхности питающего резервуара достаточно велика по сравнению с сечением трубопровода, скорости в сечении 1–1 будут малы и скоростным напором в этом сечении можно пренебречь.

После этого расчетное уравнение примет вид:

$$H = \alpha_k \frac{v_k^2}{2g} + \sum_{i=1}^n h_{mi} \quad (4)$$

Выражая потери на трение по длине и местные потери формулами:

$$h_{mpi} = \lambda_i \frac{l_i}{d_i} \cdot \frac{v_i^2}{2g} \quad (5)$$

$$h_{mi} = \zeta_j \frac{v_i^2}{2g} \quad (6)$$

получим значение располагаемого напора:

$$H = \sum_{i=1}^n \left( \lambda_i \frac{l_i}{d_i} + \zeta_j \right) \frac{v_i^2}{2g} + \alpha_k \frac{v_k^2}{2g} \quad (7)$$

где  $\lambda_i$  – коэффициент гидравлического трения на  $i$ -участке;

$l_i$  – длина  $i$ -участка;

$d_i$  – диаметр  $i$ -участка;

$\zeta_j$  – коэффициент местных сопротивлений, имеющихя на участке;

$v_i$  – средняя скорость потока на  $i$ -участке;

$v_k$  – скорость в выходном сечении трубопровода;

$\alpha_k$  – коэффициент Кориолиса для сечения К-К (принимается при ламинарном режиме  $\alpha_k = 1$ , при турбулентном режиме  $\alpha_k = 1,1$ )

Используя уравнение неразрывности

$$Q = v_1 S_1 \dots = v_i S_i = v_k S_k \quad (8)$$

получим расчетное уравнение трубопровода в окончательной форме:

$$H = \frac{v_k^2}{2g} \left[ \alpha_k + \sum_{i=1}^n \left( \lambda_i \frac{l_i}{d_i} + \zeta_j \right) \frac{S_k^2}{S_i^2} \right] \quad (9)$$

где  $S_k$  – площадь выходного сечения трубопровода;

$S_i$  – площадь живого сечения на каждом участке.

### 3 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовая работа «Гидравлический расчет простого трубопровода» состоит в определении расхода жидкости  $Q$  в простом трубопроводе и построении его напорной и пьезометрической линий.

Все физические величины в расчетах должны приводиться в Международной системе единиц (СИ).

Работу рекомендуется выполнять по этапам.

#### 1 ЭТАП

##### Построение схемы трубопровода

На бумаге в масштабе 1:100 вычерчивается схема трубопровода с указанием всех его геометрических размеров. Напорный бак на схеме следует располагать слева в нижней части листа.

Весь трубопровод условно разбивается на  $n$  линейных участков, границами которых служат местные сопротивления. Каждому линейному участку присваивается порядковый номер  $i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ), каждому местному сопротивлению присваивается порядковый номер  $j$  ( $j = I, II, III \dots n$ ).

#### 2 ЭТАП

##### Определение режима движения жидкости

Режим движения жидкости в трубопроводе определяется путем сравнения располагаемого напора  $H$  с его критическим значением. Располагаемый напор определяется по формуле (2).

Формулу для получения критического напора, соответствующего переходу от ламинарного режима движения жидкости к турбулентному можно получить, воспользовавшись формулой для определения потерь напора на трение при ламинарном движении:

$$H_{\text{лам}} = \frac{64 \cdot l \cdot \nu^2}{\text{Re} \cdot d \cdot 2g} = \frac{32 \cdot \nu \cdot l \cdot \nu}{g \cdot d^2}, \quad (11)$$

При этом для определения числа Re используем формулу:

$$\text{Re} = \nu \cdot d / \nu. \quad (12)$$

Имея в виду, что критический напор  $H_{\text{кр}}$  соответствует критической скорости  $\nu_{\text{кр}}$ , подставим в (11) значение  $\nu_{\text{кр}}$ , выраженное через критическое значение числа  $\text{Re}_{\text{кр}}$ :

$$\nu_{\text{кр}} = \text{Re}_{\text{кр}} \nu / d \quad (13)$$

и получим выражение для критического напора:

$$H_{\text{кр}} = \frac{32 \cdot \nu \cdot l \cdot \nu_{\text{кр}}}{gd^2} = \frac{32 \cdot \nu^2 \cdot l \cdot \text{Re}_{\text{кр}}}{gd^3}, \quad (14)$$

Значение  $\text{Re}_{\text{кр}}$  можно принимать равным 2320.

Если  $H < H_{\text{кр}}$  – режим ламинарный; если  $H > H_{\text{кр}}$  – режим турбулентный.

По формуле (14) для каждого линейного участка простого трубопровода определяется критический напор. Сравнивая критический напор с располагаемым напором, устанавливается режим движения жидкости на каждом линейном участке трубопровода.

### 3 ЭТАП

#### Определение коэффициентов гидравлического трения и местных сопротивлений

Для каждого линейного участка задаемся определенным значением числа Re. В случае ламинарного режима целесообразно, в качестве первоначального, принимать значения  $\text{Re}_{\text{кр}} = 2320$ , в случае турбулентного режима предполагаем, что движение жидкости в трубопроводе происходит в области квадратичного трения, в этом случае число Re определяем по

формуле –  $\text{Re}_{\text{кви}} = 500 \frac{d_i}{\Delta_s}$ , где  $d_i$  – диаметр трубопровода на рассматриваемом участке;  $\Delta_s$  – абсолютная величина эквивалентной равномерно-зернистой шероховатости, принимается по [2, 3].

В соответствии с принятыми значениями числа Re для каждого линейного участка трубопровода определяем значение коэффициентов гидравлического трения  $\lambda_i$ , учитывая, что:

1) при ламинарном режиме  $\lambda_i$  определяется по формуле Стокса:

$$\lambda_i = 64 / \text{Re} \quad (17)$$

2) при турбулентном режиме  $\lambda_i$  определяется по формуле Альтшуля:

$$\lambda_i = 0,11 \left( \frac{\Delta_{\text{э}}}{d} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25} \quad (18)$$

Коэффициенты местных сопротивлений определяются по справочной литературе [2, 3] в зависимости от вида местного сопротивления. Коэффициент сопротивление сопла принимается равным  $\zeta = 1,2$ .

#### 4 ЭТАП

**Определение скорости истечения жидкости из трубопровода.**

**Определение расхода жидкости в трубопроводе**

Подставляя значения коэффициентов гидравлического трения  $\lambda_i$  и коэффициентов местного сопротивления  $\zeta_j$  в формулу (19), определяем значение скорости истечения жидкости из трубопровода:

$$v_k = \sqrt{\frac{2gH}{\left[ \alpha_k + \sum_{i=1}^n \left( \lambda_i \frac{l_i}{d_i} + \zeta_j \right) \frac{S_k^2}{S_i^2} \right]}} \quad (19)$$

Значение расхода определяем по формуле:

$$Q = v_k \cdot S_k \quad (16)$$

#### 5 ЭТАП

**Определение скоростей течения жидкости и чисел  $Re_i$  на линейных участках трубопровода**

Используя формулу (8), по найденному значению расхода определяем значение скоростей  $v_i$  на всех линейных участках трубопровода.

По формуле (12) для каждого участка трубопровода определяем значение чисел  $Re_i^1$ .

При **ламинарном режиме** движения полученные значения чисел  $Re_i^1$  для каждого линейного участка сравниваем с числом  $Re_{кр}=2320$ , принятым на третьем этапе в качестве первоначального. Если разность между этими числами составит более чем 10 %, тогда необходимо расчет параметров  $\lambda_i$ ,  $v_k$ ,  $Q$  повторить. При этом для определения  $\lambda_i$  следует принимать  $Re_i^1$ , найденный по формуле (12).



Далее необходимо опять по формуле (8) найти значения скоростей  $v_i$  на всех линейных участках трубопровода, а по формуле (12) найти значения  $Re_i^2$  и сравнить эти числа с  $Re_i^1$ . Если разность между этими числами составит более чем 10 %, тогда необходимо расчет параметров  $\lambda_i$ ,  $v_k$ ,  $Q$  повторить. При этом для определения  $\lambda_i$  следует принимать  $Re_i^2$ .

Такие последовательные расчеты проводятся до тех пор, пока разность между двумя последними значениями чисел Рейнольдса не будет меньше 10 %.

При **турбулентном режиме** движения полученные значения чисел  $Re_i^1$  для каждого линейного участка сравниваем с  $Re_{квi}$ , принятым на третьем этапе в качестве первоначального. Если  $Re_i^1 < Re_{квi}$ , тогда необходимо расчет параметров  $\lambda_i$ ,  $v_k$ ,  $Q$  повторить. При этом для определения  $\lambda_i$  следует принимать  $Re_i^1$ , найденный по формуле (12).

Далее необходимо опять по формуле (8) найти значения скоростей  $v_i$  на всех линейных участках трубопровода, а по формуле (12) найти значения  $Re_i^2$  и сравнить эти числа с  $Re_i^1$ . Если разность между этими числами составит более чем 10 %, тогда необходимо расчет параметров  $\lambda_i$ ,  $v_k$ ,  $Q$  повторить. При этом для определения  $\lambda_i$  следует принимать  $Re_i^2$ .

Такие последовательные расчеты проводятся до тех пор, пока разность между двумя последними значениями чисел Рейнольдса не будет меньше 10 %.

## 6 ЭТАП

### Уточнение коэффициентов гидравлического трения и коэффициентов местного сопротивления

В соответствии с полученными в 5 этапе значениями числа  $Re_i$  определяем окончательное значение коэффициента гидравлического трения для каждого линейного участка, учитывая что:

а) если  $Re_i \cdot \frac{\Delta_2}{d_i} < 10$ , то  $\lambda_i$  определяется по формуле Блазиуса (зона

гидравлически гладких труб):

$$\lambda = 0,3164 / Re^{0,25} \quad (17)$$

б) если  $10 < Re_i \cdot \frac{\Delta_2}{d_i} < 500$ , то  $\lambda_i$  определяется по формуле Альтшуля

(переходная зона):

$$\lambda = 0,11 \left( \frac{\Delta_э}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} \quad (18)$$

в) если  $Re_i \cdot \frac{\Delta_э}{d_i} > 500$ , то  $\lambda_i$  определяется по формуле Шифринсона (квадратичная зона – вполне шероховатые трубы):

$$\lambda = 0,11 \Delta_э / d^{0,25}, \quad (19)$$

где  $d_i$  – диаметр трубопровода на рассматриваемом участке;

$\Delta_э$  – абсолютная величина эквивалентной равномерно-зернистой шероховатости.

В соответствии с полученными в 5 этапе значениями числа  $Re_i$ , определяем значение коэффициентов местных сопротивлений ( $\zeta_j$ ) по справочной литературе в зависимости от вида местного сопротивления.

## 7 ЭТАП

### Определение скоростного напора

Скоростной напор на каждом из линейных участков трубопровода определяем по формуле:

$$h_{v_i} = \alpha_i \frac{v_i^2}{2g} \quad (20)$$

## 8 ЭТАП

### Определение потерь напора на трение

По формуле (5) определяем потери напора на трение для всех линейных участков трубопровода.

## 9 ЭТАП

### Определение потерь напора в местных сопротивлениях

По формуле (6) определяем потери напора в местных сопротивлениях.

## 10 ЭТАП

### Проверка проведенных расчетов

Проверку проведенных расчетов проводим, сравнивая исходное значение располагаемого напора, полученного по формуле (2) со значением

располагаемого напора, полученного по формуле (4). Погрешность вычислений выражаем в процентах:

$$\Delta = \frac{H_{(2)} - H_{(4)}}{H_{(2)}} \cdot 100\% , \quad (21)$$

где  $H_{(2)}$  – располагаемый напор, определенный по формуле (2),  
 $H_{(4)}$  – располагаемый напор, определенный по формуле (4).

## 11 ЭТАП

### Построение диаграммы Бернулли

На схеме трубопровода (приложение 2) проводим вверх вертикальную линию, перпендикулярную плоскости сравнения от центра сечения выходного отверстия напорного бака (выход трубопровода из бака). Откладываем на этой линии вверх значение располагаемого напора, определенного по формуле (2).

От полученной точки строим напорную линию, которая получается путем последовательного вычитания (по направлению потока) потерь на каждом из участков из начального напора потока (диаграмму уравнения Бернулли).

Пьезометрическая линия (показывающая изменение гидростатического напора потока) строится путем вычитания скоростного напора в каждом сечении из полного напора потока, соответствующего данному сечению.

## **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

### **Основная**

1 Штеренлихт, Д. В. Гидравлика : учеб. для студ. вузов / Д. В. Штеренлихт. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : КолосС, 2005 – 655 с.

2 Справочное пособие по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам / Я. М. Вильнер [и др.] ; под общ. ред. Б. Б. Некрасова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск : Выш. шк. 1985. – 382 с.

3 Идельчик, И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И. Е. Идельчик. – М. : Машиностроение, 1976. – 256 с.

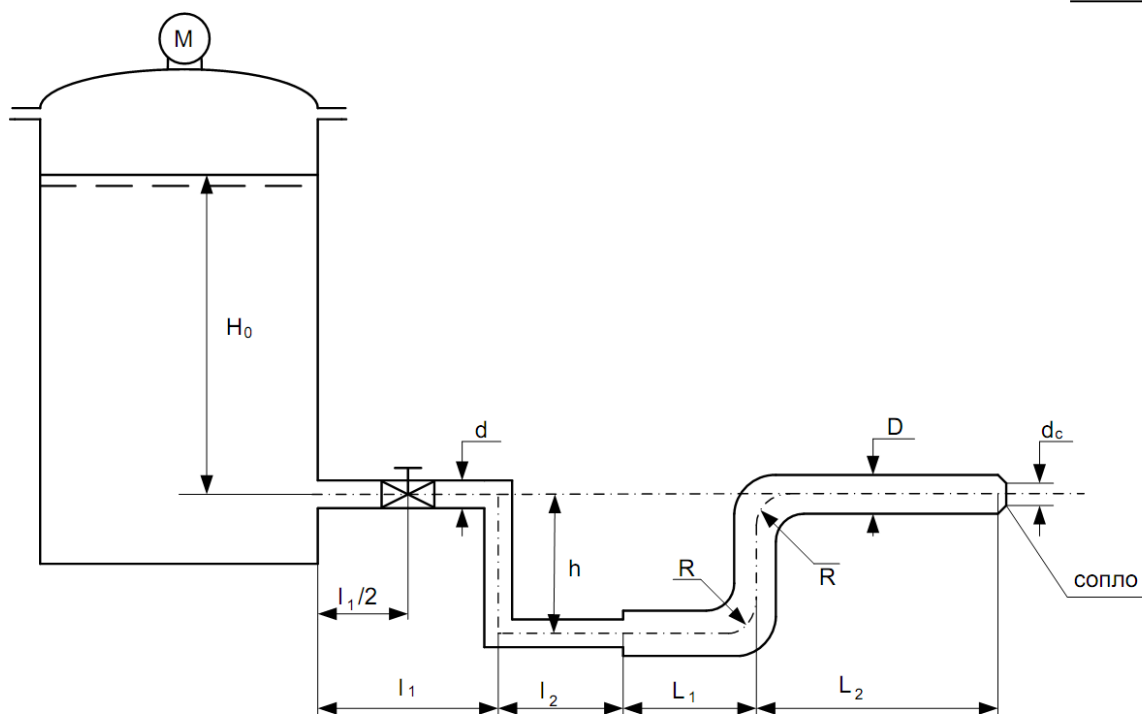
### **Дополнительная**

1 Медведев, В. Ф. Гидравлика и гидравлические машины : учеб. пособие / В. Ф. Медведев. – Минск : Выш. шк., 1998. – 311 с.

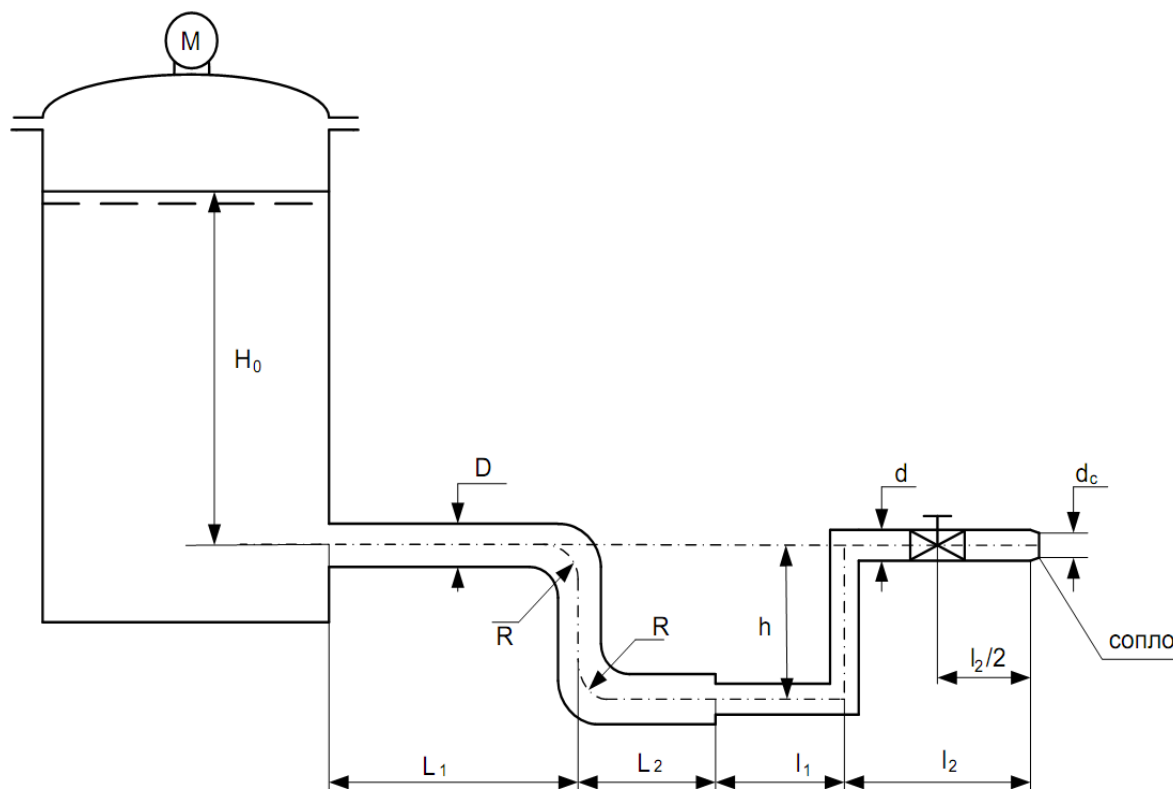
# ПРИЛОЖЕНИЕ А

## ВАРИАНТЫ СХЕМ ТРУБОПРОВОДА

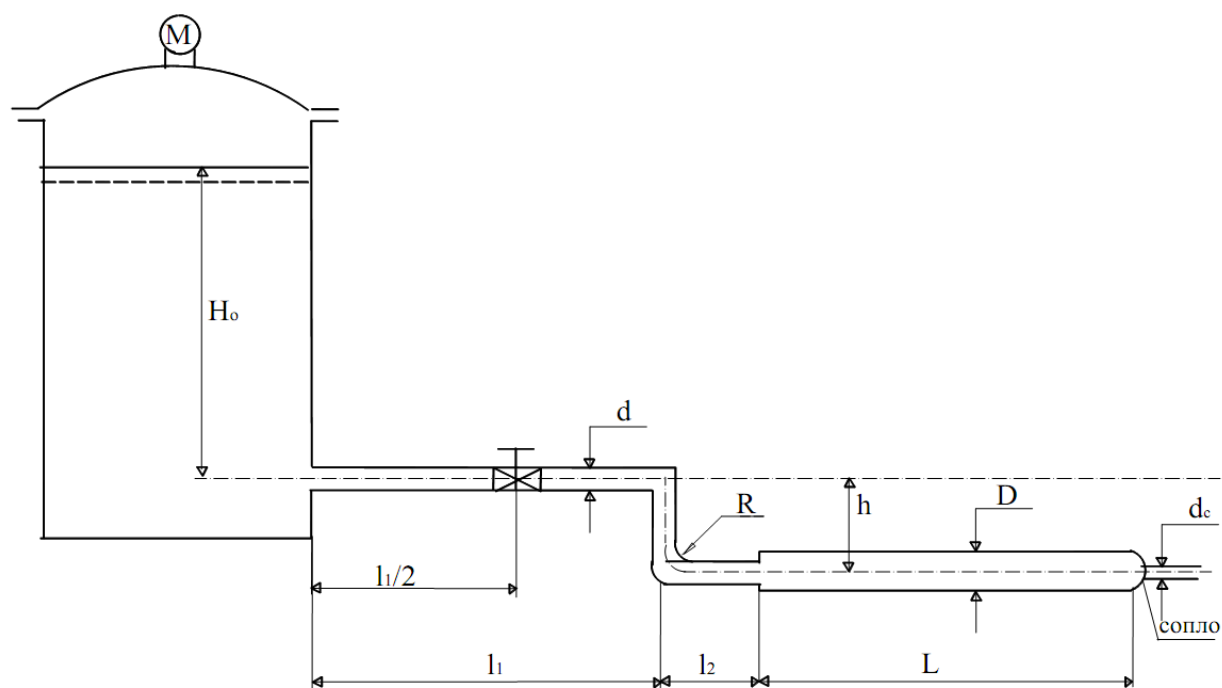
Тип А



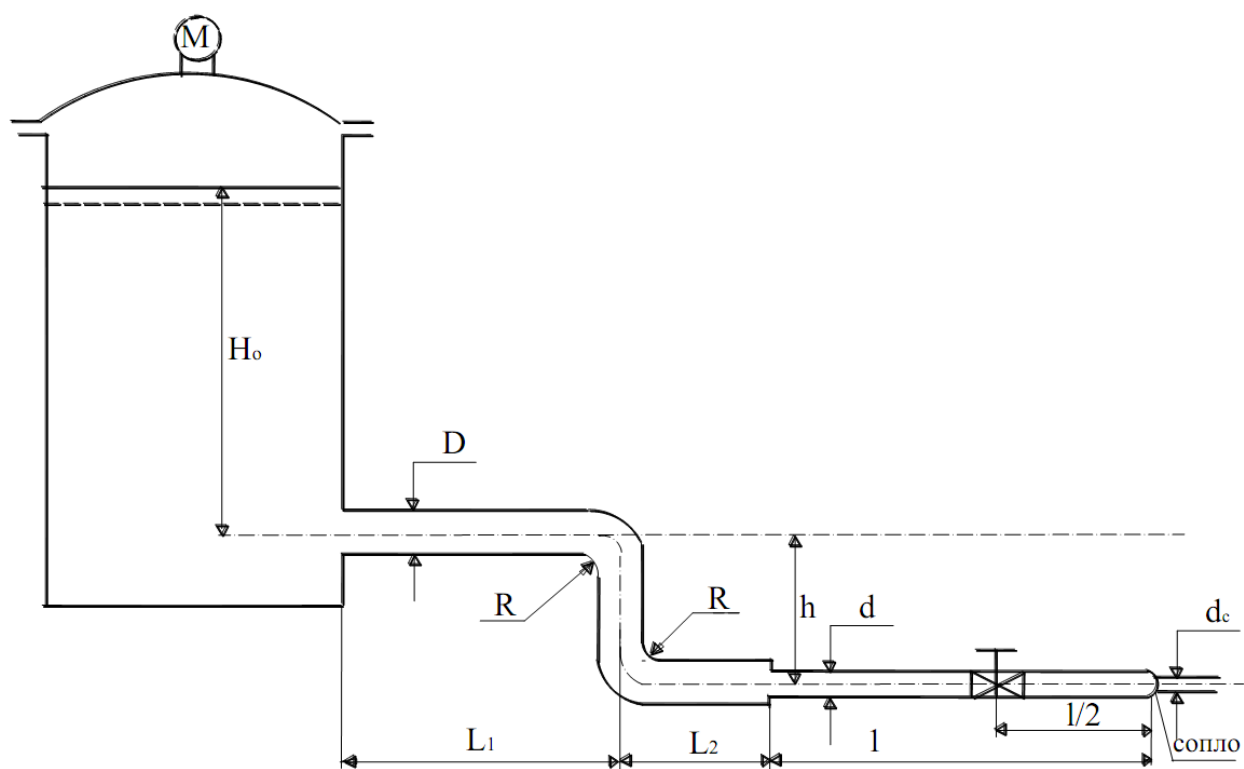
Тип Б



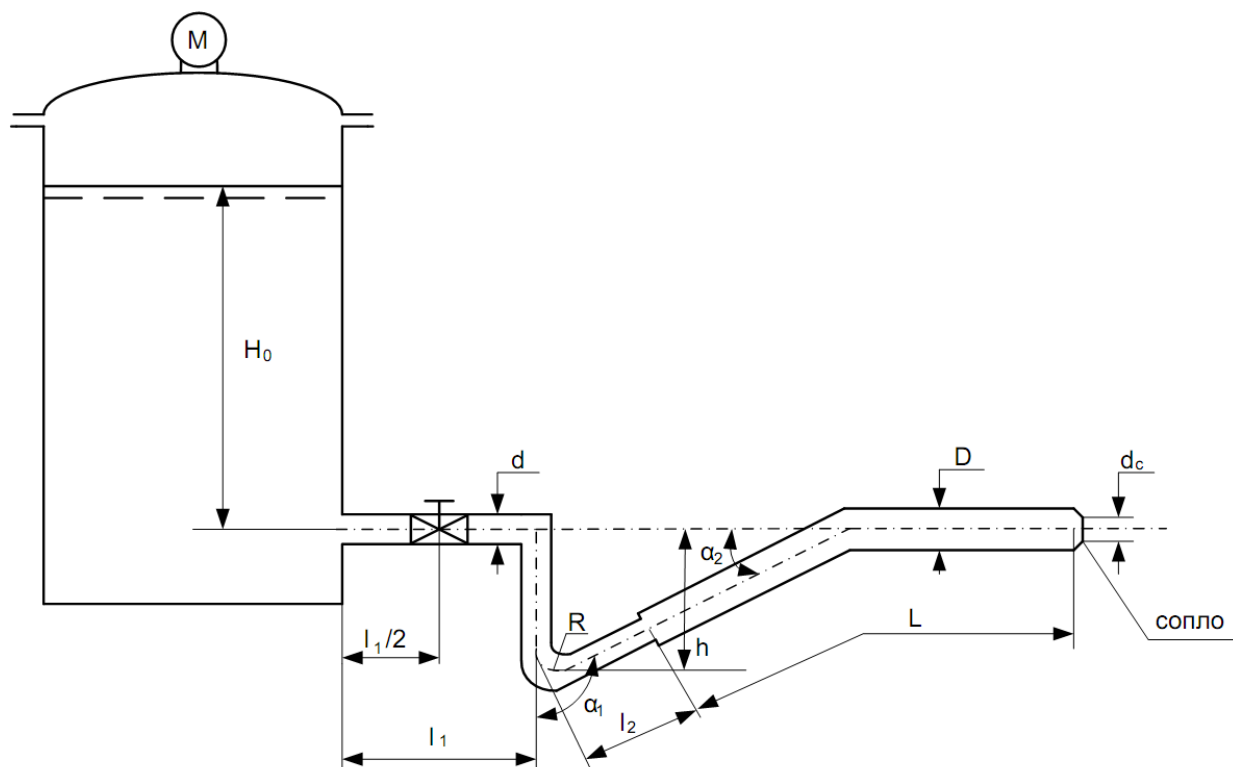
Тип В



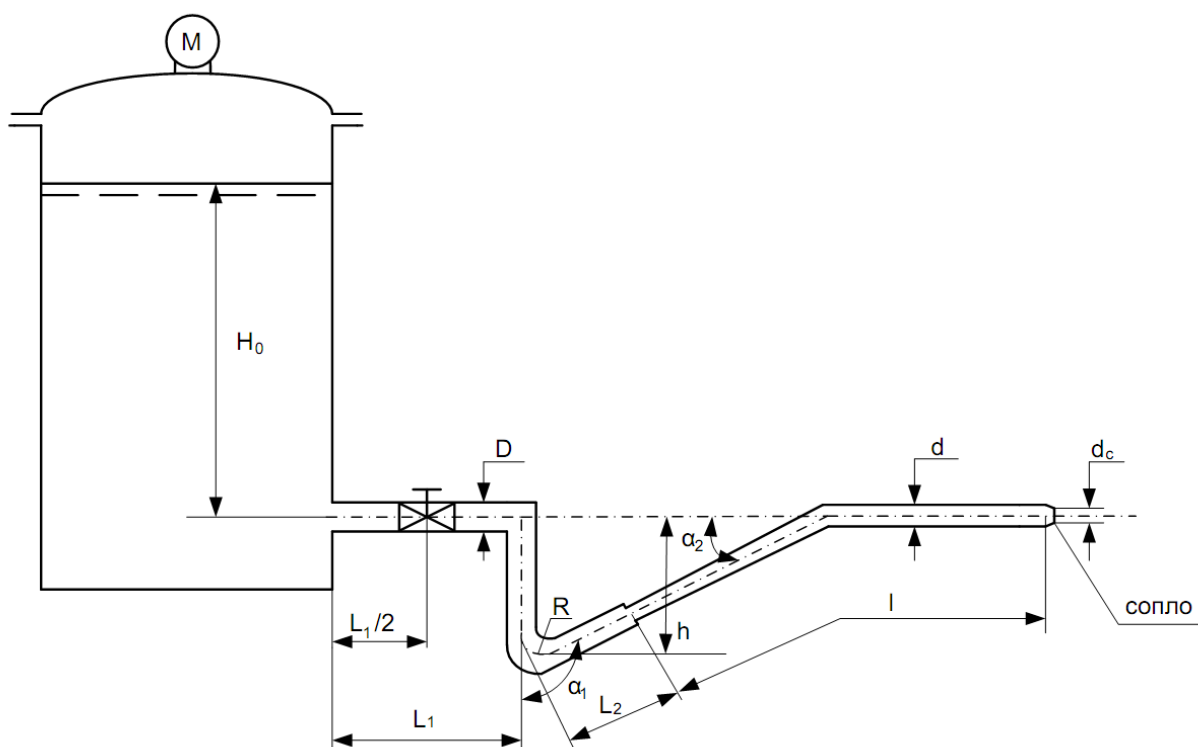
Тип Г

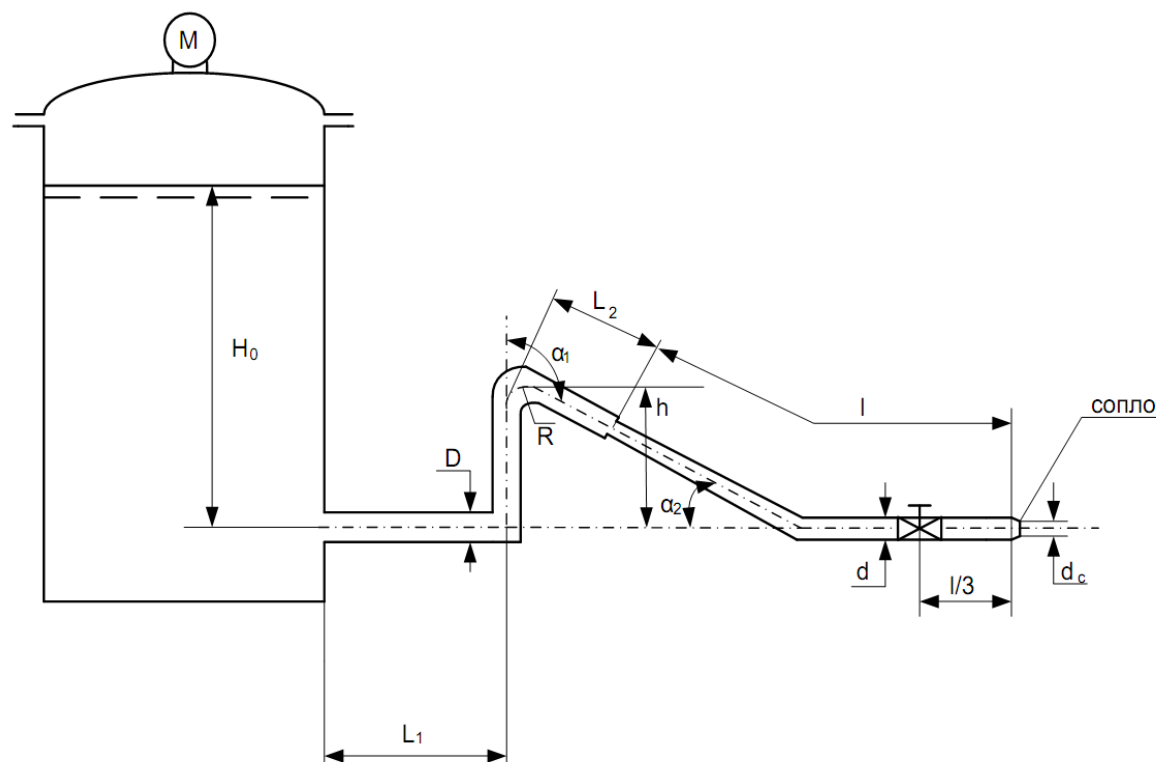
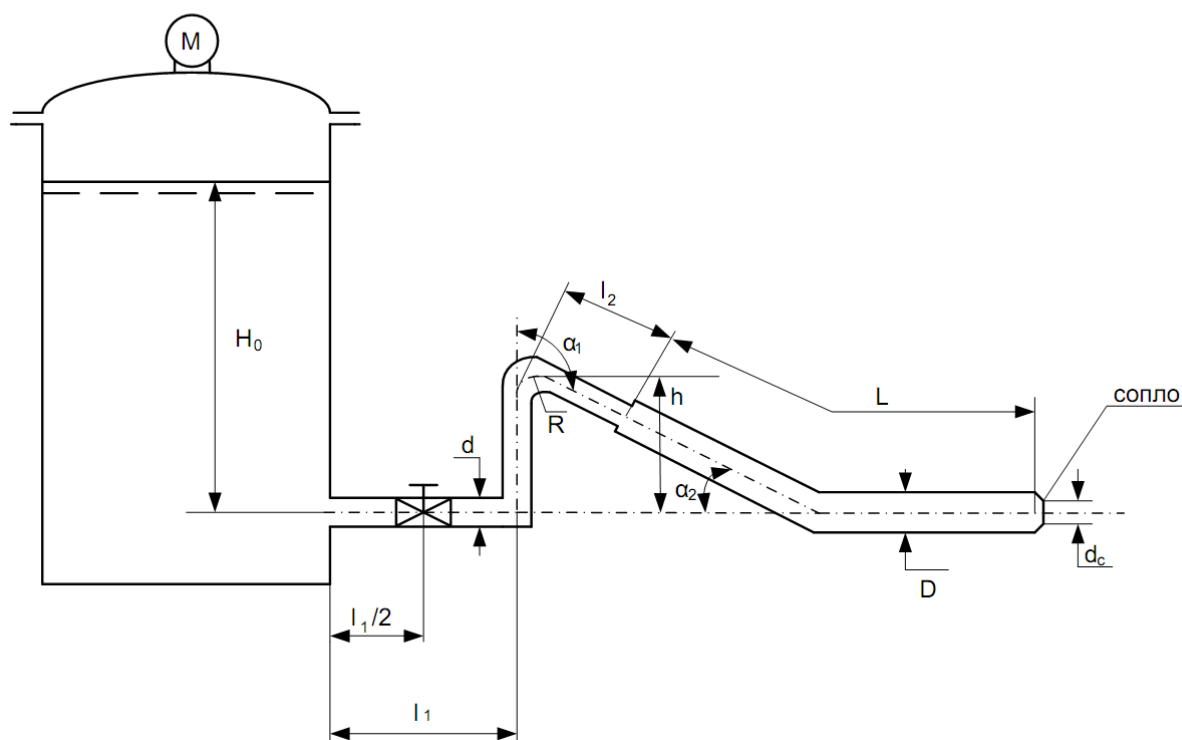


Тип Д



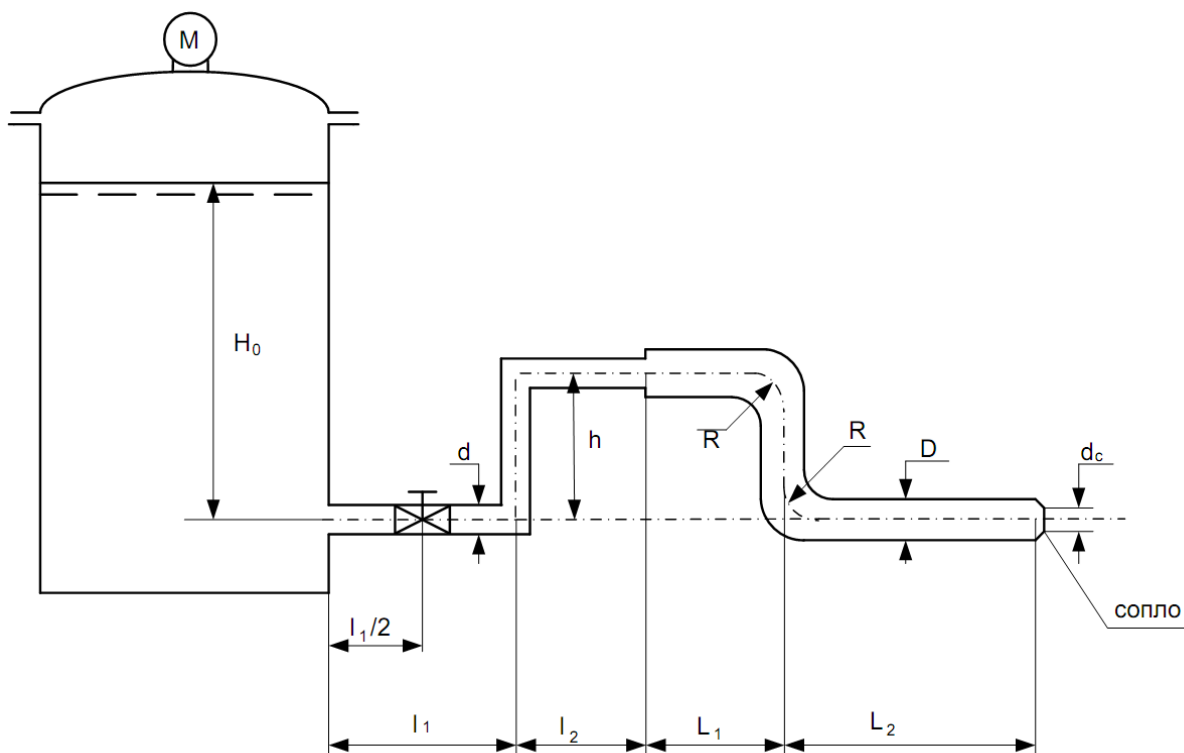
Тип Е



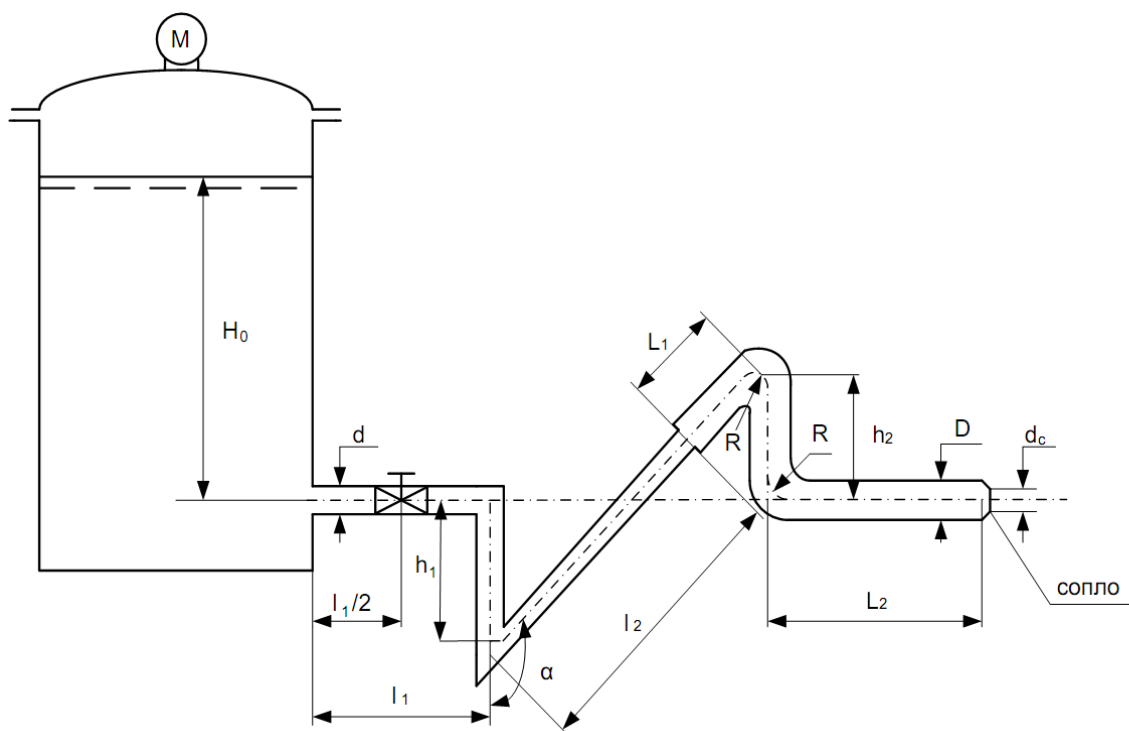




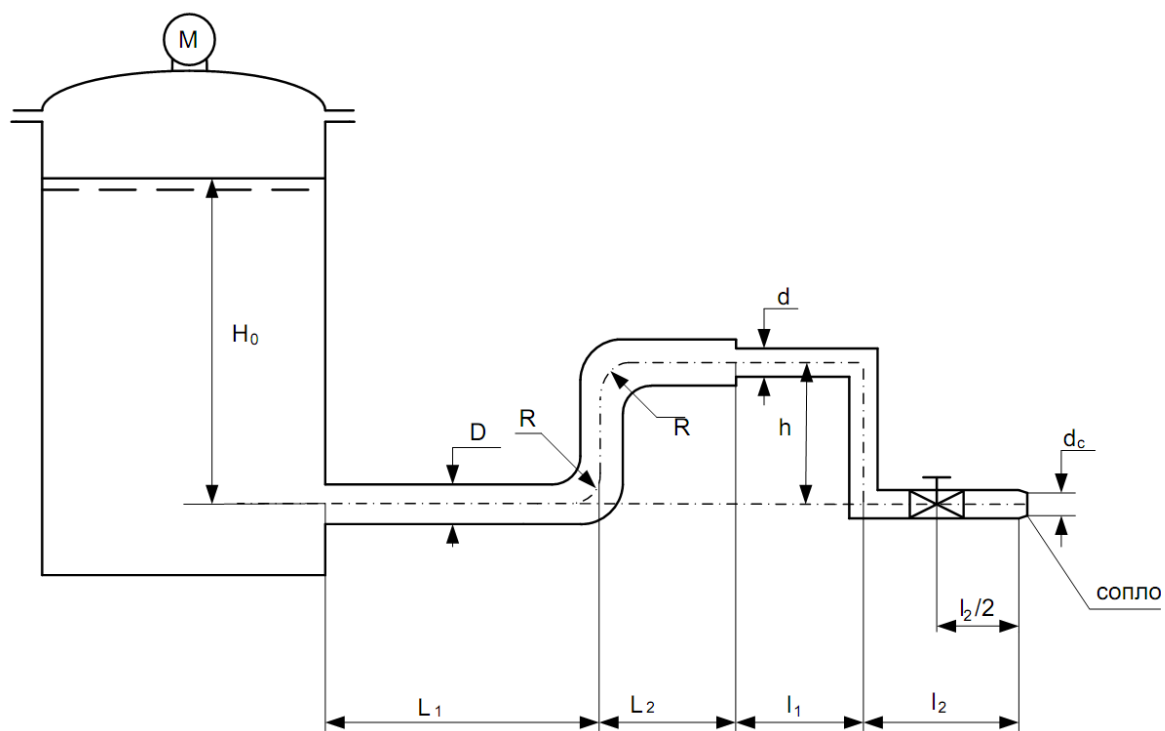
Тип И



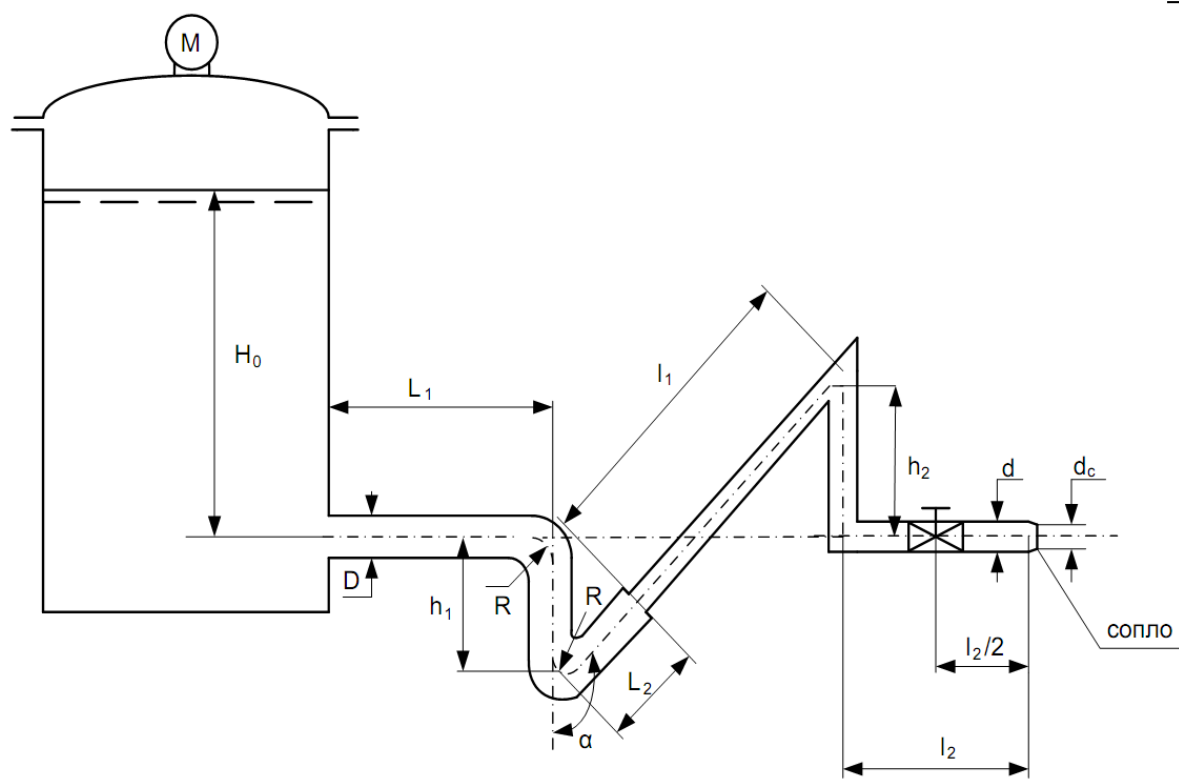
Тип К



Тип Л



Тип М



**ПРИЛОЖЕНИЕ Б. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ К РАСЧЕТУ ТРУБОПРОВОДА**

Номер варианта	$P_m$	$H_0$	$h$	$h_1$	$h_2$	$d$	$l$	$l_1$	$l_2$	$D$	$L$	$L_1$	$L_2$	$d_c$	$R$	$\alpha$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$t$	Жид- кость	Схема
	кг/см <sup>2</sup>	м	м	м	м	м	м	м	м	м	м	м	м	м	м	град	град	град	°С		
1	5,0	10,0	4,0	-	-	0,10	-	10	5	0,2	-	20	10	0,08	0,2	-	-	-	20	Вода	А
2	4,0	10,0	3,5	-	-	0,15	-	10	12	0,2	-	12	10	0,06	0,3	-	-	-	20	Вода	Б
3	3,0	5,0	4,0	-	-	0,10	-	12	10	0,2	40	-	-	0,08	0,2	-	-	-	20	Вода	В
4	2,5	10,0	4,0	-	-	0,10	12	-	-	0,2	-	20	15	0,05	0,2	-	-	-	20	Вода	Г
5	4,0	12,0	4,0	-	-	0,10	-	10	5	0,2	20	-	-	0,08	0,2	-	-	-	20	Вода	Д
6	5,0	10,0	5,0	-	-	0,10	20	-	-	0,2	-	20	6	0,05	0,2	-	120	30	20	Вода	Е
7	3,0	5,0	3,0	-	-	0,10	-	12	5	0,2	20	-	-	0,08	0,1	-	120	30	20	Вода	Ж
8	3,5	5,0	3,0	-	-	0,10	20	-	-	0,2	-	12	5	0,05	0,1	-	120	30	20	Вода	З
9	4,0	6,0	3,0	-	-	0,10	-	10	6	0,2	-	20	20	0,08	0,2	-	-	-	20	Вода	И
10	4,0	4,0	-	2,0	3,0	0,10	-	10	3,5	0,2	-	7,5	7,5	0,08	0,2	120	-	-	20	Вода	К
11	4,5	3,5	2,0	-	-	0,10	-	15	10	0,2	-	15	12	0,05	0,2	-	-	-	20	Вода	Л
12	4,5	5,0	-	2,0	3,0	0,10	-	7	10	0,2	-	12	3	0,06	0,1	120	-	-	20	Вода	М
13	4,5	12	4,1	-	-	0,15	-	18	5	0,20	-	15	10	0,010	0,2	-	-	-	20	Керо- син	А
14	4,2	10	4	-	-	0,10	-	5	8	0,20	-	20	10	0,05	0,2	-	-	-	15	Керо- син	Б
15	3,2	5	4,2	-	-	0,10	-	10	8	0,15	35	-	-	0,09	0,3	-	-	-	15	Бензин	В
16	3,2	5	4,2	-	-	0,10	-	10	8	0,15	35	-	-	0,09	0,3	-	-	-	15	Бензин	Г
17	4,5	10	4,5	-	-	0,10	-	12	4	0,15	18	-	-	0,06	0,2	-	135	45	15	Вода	Д
18	4,5	12	4,5	-	-	0,10	18	-	-	0,18	-	18	6	0,05	0,2	-	110	20	20	Бензин	Е
19	3,5	4	3	-	-	0,10	-	10	4	0,15	18	-	-	0,06	0,1	-	120	30	20	Керо- син	Ж
20	3,0	4,5	2,5	-	-	0,15	25	-	-	0,2	-	14	4	0,05	0,15	-	110	20	15	Бензин	З

Номер варианта	$P_m$	$H_0$	$h$	$h_1$	$h_2$	$d$	$l$	$l_1$	$l_2$	$D$	$L$	$L_1$	$L_2$	$d_c$	$R$	$\alpha$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$t$	Жид- кость	Схема
	$кг/см^2$	$м$	$м$	$м$	$м$	$м$	$м$	$м$	$м$	$м$	$м$	$м$	$м$	$м$	$м$	град	град	град	°C		
21	4,2	5	3,5	-	-	0,10	-	12	8	0,15	-	15	20	0,06	0,15	-	-	-	15	Вода	И
22	4,2	3,5	-	1,6	2,4	0,10	-	8	3	0,15	-	5	6	0,06	0,15	120	-	-	20	Бензин	К
23	4,3	3,0	2,2	-	-	0,15	-	12	14	0,2	-	16	14	0,06	0,2	-	-	-	20	Бензин	Л
24	4,4	4,5	-	3,0	2,0	0,15	-	5	16	0,2	-	16	5	0,06	0,15	120	-	-	10	Вода	М
25	5,5	6	5,2	-	-	0,10	-	12	3	0,18	-	18	12	0,10	0,2	-	-	-	15	Бензин	А
26	4,7	12	4,5	-	-	0,15	-	4	19	0,22	-	18	15	0,06	0,3	-	-	-	25	Вода	Б
27	2,5	7	4,5	-	-	0,12	-	8	12	0,20	42	-	-	0,10	0,2	-	-	-	15	Вода	В
28	3,0	7	4,0	-	-	0,12	10	-	-	0,15	-	18	15	0,06	0,5	-	-	-	15	Керо- син	Г
29	5,0	8	4	-	-	0,15	-	8	5	0,20	30	-	-	0,08	0,2	-	-	-	20	Керо- син	Д
30	4,0	10	3	-	-	0,10	15	-	-	0,15	-	12	4	0,05	0,15	-	135	45	15	Вода	Е
31	4,0	4,5	3,5	-	-	0,12	-	8	4	0,20	25	-	-	0,08	0,10	-	135	45	30	Вода	Ж
32	3,0	5,0	3,5	-	-	0,10	20	-	-	0,15	-	18	5	0,05	0,1	-	110	20	15	Вода	З
33	4,5	5,5	3,0	-	-	0,12	-	10	10	0,18	-	20	15	0,06	0,2	-	-	-	20	Бензин	И
34	4,0	4,2	-	2	2	0,12	-	10	3	0,20	-	2,66	10	0,08	0,2	135	-	-	20	Керо- син	К
35	4,0	3,2	2,0	-	-	0,10	-	10	16	0,15	-	20	15	0,05	0,15	-	-	-	15	Вода	Л
36	4,0	4,8	-	2,6	2	0,15	-	3	15	0,2	-	14	2,3	0,06	0,15	150	-	-	20	Бензин	М
37	4,0	7	5,3	-	-	0,10	-	7	7	0,15	-	10	18	0,06	0,3	-	-	-	25	Вода	А
38	5,0	8	4	-	-	0,10	-	5	12	0,15	-	15	10	0,05	0,2	-	-	-	15	Бензин	Б
39	3,0	4	4,5	-	-	0,12	-	6	10	0,19	45	-	-	0,09	0,3	-	-	-	20	Керо- син	В
40	3,5	5	4,2	-	-	0,10	12	-	-	0,15	-	15	12	0,05	0,3	-	-	-	20	Бензин	Г

Номер варианта	$P_m$	$H_0$	$h$	$h_1$	$h_2$	$d$	$l$	$l_1$	$l_2$	$D$	$L$	$L_1$	$L_2$	$d_c$	$R$	$\alpha$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$t$	Жид- кость	Схема
	$кг/см^2$	$м$	$м$	$м$	$м$	$м$	$м$	$м$	$м$	$м$	$м$	$м$	$м$	$м$	$м$	град	град	град	°С		
41	3,5	14	5	-	-	0,12	-	14	8	0,20	25	-	-	0,08	0,2	-	-	-	20	Бензин	Д
42	4,5	8	3,5	-	-	0,15	20	-	-	0,20	-	16	4	0,06	0,2	-	120	30	20	Керо- син	Е
43	3,0	4	2,5	-	-	0,15	-	12	3	0,20	20	-	-	0,08	0,15	-	135	45	20	Бензин	Ж
44	3,5	4	3,0	-	-	0,10	18	-	-	0,18	-	16	4	0,05	0,1	-	135	45	15	Керо- син	З
45	4,3	5,2	3,5	-	-	0,15	-	8	10	0,20	-	15	18	0,08	0,2	-	-	-	20	Керо- син	И
46	3,5	4,5	-	3	3	0,12	-	9	4	0,18	-	4,5	8	0,06	0,2	135	-	-	16	Вода	К
47	3,8	4	2,5	-	-	0,10	-	16	8	0,13	-	18	16	0,05	0,2	-	-	-	25	Вода	Л
48	4,2	4,0	-	1,5	2,5	0,15	-	2,3	14	0,2	-	15	2,3	0,06	0,15	150	-	-	25	Вода	М
49	3,5	14	5,4	-	-	0,12	-	6	10	0,18	-	14	14	0,06	0,3	-	-	-	15	Вода	А
50	4,5	14	4,5	-	-	0,10	-	7	8	0,18	-	16	8	0,05	0,2	-	-	-	15	Вода	Б
51	3,2	4	5,0	-	-	0,15	-	10	10	0,18	30	-	-	0,08	0,2	-	-	-	30	Вода	В
52	4,0	10	4,5	-	-	0,12	14	-	-	0,20	-	20	17	0,05	0,2	-	-	-	25	Вода	Г
53	4,5	8	4	-	-	0,12	-	16	4	0,18	20	-	-	0,06	0,2	-	135	45	30	Вода	Д
54	3,5	12	4	-	-	0,18	25	-	-	0,20	-	20	5	0,06	0,2	-	110	20	30	Вода	Е
55	3,5	5	3,0	-	-	0,10	-	14	4	0,18	15	-	-	0,06	0,1	-	110	20	15	Вода	Ж
56	4,0	4,5	3,0	-	-	0,12	15	-	-	0,2	-	20	4	0,05	0,1	-	135	45	30	Вода	З
57	3,8	4,8	2,5	-	-	0,10	-	14	8	0,18	-	20	18	0,08	0,2	-	-	-	10	Вода	И
58	3,5	4,5	-	3	3	0,12	-	9	4	0,18	-	4,5	8	0,06	0,2	135	-	-	16	Вода	К
59	4,0	4,4	3,0	-	-	0,12	-	18	12	0,18	-	20	20	0,05	0,15	-	-	-	20	Керо- син	Л
60	3,8	3,5	-	2,3	2,3	0,12	-	3	10	0,18	-	14	3,5	0,06	0,12	135	-	-	16	Вода	М

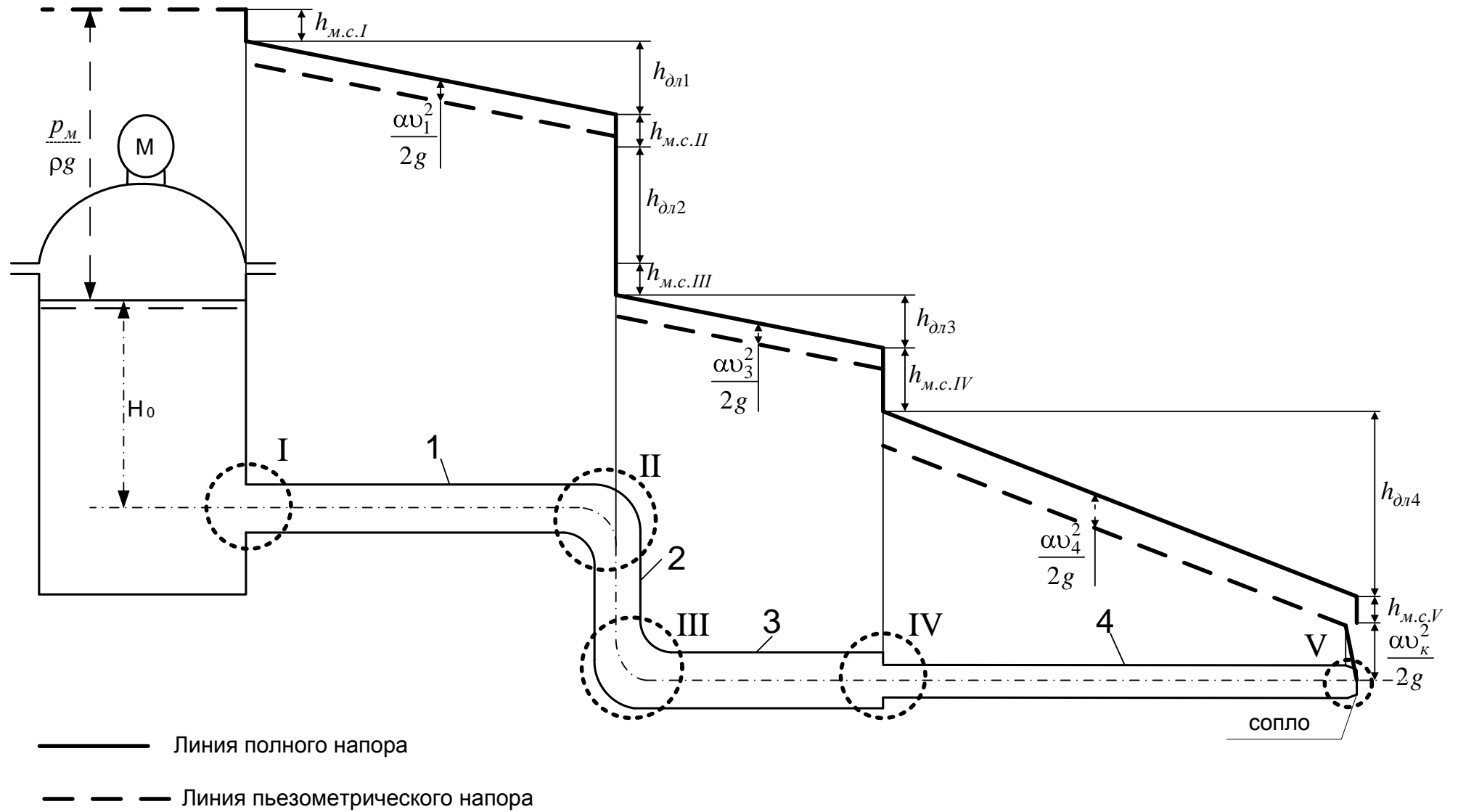
Номер варианта	$P_m$	$H_0$	$h$	$h_1$	$h_2$	$d$	$l$	$l_1$	$l_2$	$D$	$L$	$L_1$	$L_2$	$d_c$	$R$	$\alpha$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$t$	Жид- кость	Схема
	кг/см <sup>2</sup>	м	м	м	м	м	м	м	м	м	м	м	м	м	м	град	град	град	°С		
61	4,2	12	5,0	-	-	0,12	-	8	12	0,15	-	12	10	0,06	0,3	-	-	-	20	Керо- син	А
62	3,5	10	4	-	-	0,12	-	10	7	0,15	-	14	6	0,05	0,2	-	-	-	20	Бензин	Б
63	3,5	6	3,5	-	-	0,15	-	12	12	0,15	25	-	-	0,07	0,3	-	-	-	20	Бензин	В
64	3,5	10	4,8	-	-	0,12	16	-	-	0,20	-	16	16	0,06	0,2	-	-	-	20	Керо- син	Г
65	4,0	7	4,5	-	-	0,10	-	14	4	0,18	25	-	-	0,06	0,2	-	120	30	25	Бензин	Д
66	4,0	10	4,5	-	-	0,12	20	-	-	0,18	-	18	6	0,06	0,1	-	120	30	25	Вода	Е
67	3,0	4,5	3,5	-	-	0,12	-	12	3	0,18	18	-	-	0,06	0,2	-	120	30	20	Керо- син	Ж
68	3,5	4,5	2,5	-	-	0,12	19	-	-	0,18	-	18	3	0,05	0,1	-	120	30	25	Вода	З
69	4,6	5,0	3,2	-	-	0,12	-	15	10	0,20	-	18	25	0,08	0,2	-	-	-	15	Керо- син	И
70	3,8	5,0	-	4,0	2,0	0,12	-	8	2,4	0,15	-	4,5	7	0,06	0,15	150	-	-	25	Вода	К
71	4,4	8,0	2,6	-	-	0,14	-	12	14	0,18	-	25	12	0,06	0,15	-	-	-	15	Бензин	Л
72	3,6	4,0	-	2,4	2,4	0,10	-	3	10	0,18	-	16	2,5	0,05	0,10	135	-	-	10	Бензин	М
73	4,8	10	5,1	-	-	0,10	-	9	9	0,16	-	16	8	0,05	0,3	-	-	-	20	Бензин	А
74	3,8	8	3,5	-	-	0,14	-	9	10	0,20	-	16	4	0,05	0,3	-	-	-	20	Керо- син	Б
75	3,4	5	3,0	-	-	0,10	-	11	10	0,14	40	-	-	0,06	0,2	-	-	-	10	Вода	В
76	3,3	6	3,5	-	-	0,14	20	-	-	0,22	-	18	14	0,06	0,3	-	-	-	30	Вода	Г
77	3,8	10	3,5	-	-	0,10	-	10	3	0,16	22	-	-	0,06	0,15	-	120	30	15	Керо- син	Д
78	4,4	6	4,0	-	-	0,14	25	-	-	0,20	-	25	4	0,06	0,2	-	120	30	15	Бензин	Е
79	4,0	4,0	2,5	-	-	0,10	-	10	3	0,16	20	-	-	0,06	0,15	-	110	20	15	Бензин	Ж
80	4,2	5,0	3,0	-	-	0,11	20	-	-	0,20	-	16	4	0,05	0,2	-	120	30	20	Бензин	З

Номер варианта	$P_m$	$H_0$	$h$	$h_1$	$h_2$	$d$	$l$	$l_1$	$l_2$	$D$	$L$	$L_1$	$L_2$	$d_c$	$R$	$\alpha$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$t$	Жид- кость	Схема
	$кг/см^2$	$м$	$м$	$м$	$м$	$м$	$м$	$м$	$м$	$м$	$м$	$м$	$м$	$м$	$м$	град	град	град	°С		
81	4,8	5,5	3,0	-	-	0,10	-	14	14	0,16	-	16	16	0,08	0,2	-	-	-	25	Вода	И
82	4,3	4,4	-	2,0	4,0	0,10	-	10	3,5	0,17	-	5	7,5	0,06	0,17	135	-	-	15	Бензин	К
83	4,2	4,0	3,0	-	-	0,10	-	10	10	0,16	-	10	16	0,05	0,2	-	-	-	10	Вода	Л
84	3,5	3,8	-	1,5	1,5	0,20	-	5	12	0,17	-	12	4	0,05	0,20	120	-	-	15	Бензин	М
85	5,0	10	5,2	-	-	0,12	-	10	10	0,20	-	20	20	0,08	0,2	-	-	-	10	Вода	А
86	4,2	10	3,0	-	-	0,18	-	12	10	0,12	-	10	15	0,05	0,2	-	-	-	30	Вода	Б
87	5,0	6	4,0	-	-	0,12	-	10	10	0,16	35	-	-	0,05	0,2	-	-	-	15	Керо- син	В
88	3,5	9	3,0	-	-	0,10	18	-	-	0,18	-	14	20	0,05	0,2	-	-	-	10	Бензин	Г
89	3,6	9	3,0	-	-	0,14	-	12	3	0,20	28	-	-	0,08	0,2	-	110	20	25	Вода	Д
90	4,5	8	3,5	-	-	0,12	28	-	-	0,20	-	30	4	0,05	0,2	-	110	20	18	Вода	Е
91	4,4	4	2,8	-	-	0,12	-	15	2,5	0,16	22	-	-	0,06	0,15	-	135	45	25	Вода	Ж
92	4,5	5	3,0	-	-	0,14	22	-	-	0,2	-	15	3,5	0,05	0,2	-	135	45	10	Бензин	З
93	5,0	5,2	3,5	-	-	0,11	-	12	20	0,15	-	25	10	0,08	0,15	-	-	-	15	Бензин	И
94	3,0	4,8	-	3,0	3,0	0,15	-	12	4	0,20	-	8	15	0,08	0,2	120	-	-	10	Вода	К
95	4,0	3,5	2,8	-	-	0,12	-	12	8	0,16	-	15	15	0,05	0,2	-	-	-	10	Керо- син	Л
96	4,2	3,6	-	3,0	3,0	0,10	-	4,9	10	0,15	-	10	2	0,06	0,10	150	-	-	20	Керо- син	М
97	5,4	12	5,3	-	-	0,11	-	15	10	0,20	-	22	15	0,08	0,2	-	-	-	18	Вода	А
98	4,5	12	4	-	-	0,12	-	15	8	0,16	-	18	12	0,05	0,3	-	-	-	10	Вода	Б
99	3,5	5	4,5	-	-	0,11	-	10	14	0,20	45	-	-	0,07	0,3	-	-	-	25	Вода	В
100	3,2	7	4,0	-	-	0,12	25	-	-	0,16	-	30	10	0,05	0,3	-	-	-	10	Вода	Г

Номер варианта	$P_m$	$H_0$	$h$	$h_1$	$h_2$	$d$	$l$	$l_1$	$l_2$	$D$	$L$	$L_1$	$L_2$	$d_c$	$R$	$\alpha$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$t$	Жид- кость	Схема
	кг/см <sup>2</sup>	м	м	м	м	м	м	м	м	м	м	м	м	м	м	град	град	град	°С		
101	4,2	10	3,6	-	-	0,11	-	8	4	0,18	26	-	-	0,08	0,2	-	135	45	16	Вода	Д
102	4,2	10	3,0	-	-	0,12	30	-	-	0,16	-	25	3	0,05	0,2	-	135	45	10	Вода	Е
103	4,5	4,5	3,0	-	-	0,11	-	18	3	0,20	25	-	-	0,08	0,20	-	120	30	16	Вода	Ж
104	4,0	4,5	2,8	-	-	0,10	24	-	-	0,16	-	10	3	0,05	0,2	-	110	20	16	Вода	З
105	4,5	4,5	3,2	-	-	0,12	-	20	10	0,18	-	22	20	0,08	0,2	-	-	-	10	Керо- син	И
106	3,4	4,6	-	2,5	2,0	0,11	-	10	5	0,17	-	4	10	0,06	0,2	120	-	-	30	Вода	К
107	3,5	4,5	3,0	-	-	0,10	-	11	9	0,17	-	20	16	0,05	0,1	-	-	-	16	Вода	Л
108	4,3	4,4	-	3,0	3,0	0,10	-	6	8	0,16	-	12	6	0,06	0,1	120	-	-	15	Керо- син	М
109	5,5	8	5,4	-	-	0,11	-	12	15	0,18	-	25	10	0,06	0,3	-	-	-	30	Вода	А
110	4,0	14	4,4	-	-	0,10	-	10	10	0,16	-	14	11	0,05	0,3	-	-	-	18	Вода	Б
111	5,0	4	3,0	-	-	0,11	-	14	12	0,16	40	-	-	0,08	0,2	-	-	-	18	Вода	В
112	4,0	8	3,0	-	-	0,10	15	-	-	0,16	-	25	12	0,05	0,3	-	-	-	18	Вода	Г
113	4,4	8	4	-	-	0,11	-	11	4	0,16	32	-	-	0,08	0,15	-	110	20	18	Вода	Д
114	4,0	12	2,5	-	-	0,10	25	-	-	0,16	-	24	3	0,05	0,2	-	120	30	16	Вода	Е
115	4,2	5	3,2	-	-	0,11	-	16	3,5	0,16	18	-	-	0,08	0,15	-	110	20	18	Вода	Ж
116	3,7	4,8	2,5	-	-	0,20	18	-	-	0,16	-	14	3,2	0,05	0,15	-	120	30	20	Керо- син	З
117	4,0	5	2,5	-	-	0,11	-	18	8	0,17	-	16	14	0,08	0,2	-	-	-	30	Вода	И
118	3,6	4,1	-	1,0	3,6	0,11	-	9	2,3	0,20	-	3,0	12	0,08	0,2	150	-	-	10	Бензин	К
119	4,5	4,0	2,5	-	-	0,11	-	10	12	0,17	-	18	20	0,05	0,2	-	-	-	30	Вода	Л
120	4,0	4,8	-	4,0	4,0	0,10	-	5,5	10	0,14	-	10	3	0,05	0,10	135	-	-	15	Вода	М



ДИАГРАММА УРАВНЕНИЯ БЕРНУЛЛИ



**ПРИЛОЖЕНИЕ Г**

**СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ**

**Таблица 1**

**Размерности величин в различных системах измерения**

Величина	СИ	Перевод в другие единицы
Длина	м	1 м = 100 см = 1000 мм
Площадь	м <sup>2</sup>	1 м <sup>2</sup> = 10 <sup>4</sup> см <sup>2</sup> = 10 <sup>6</sup> мм <sup>2</sup>
Объём	м <sup>3</sup>	1 м <sup>3</sup> = 10 <sup>6</sup> см <sup>3</sup> = 1000 л
Масса	кг	1 кг = 1000 г
Сила, вес	Н	10 Н ≈ 1 кгс = 10 <sup>-3</sup> тс
Плотность	кг/м <sup>3</sup>	1000 кг/м <sup>3</sup> = 1 г/см <sup>3</sup>
Удельный вес	Н/м <sup>3</sup>	10 <sup>4</sup> Н/м <sup>3</sup> = 1 тс/м <sup>3</sup>
Вязкость кинематическая	м <sup>2</sup> /с	1 м <sup>2</sup> /с = 10 <sup>4</sup> см <sup>2</sup> /с
Давление	Па = Н/м <sup>2</sup>	100000 Па ≈ 1 ат = 1 кгс/см <sup>2</sup> = =10 м вод. ст. = 760 мм рт. ст.

**Таблица 2**

**Связь между единицами давления**

Единица	Па	дин/см <sup>2</sup>	кгс/м <sup>2</sup>	кгс/см <sup>2</sup>	атм.	мм рт. ст.
1 Па	1	10	0,102	1,02	9,87·10 <sup>-6</sup>	7,5·10 <sup>-3</sup>
1 дин/см <sup>2</sup>	0,1	1	1,02	1,02·10 <sup>-6</sup>	9,87·10 <sup>-7</sup>	7,5·10 <sup>-4</sup>
1 кгс/м <sup>2</sup>	9,81	98,1	1	10 <sup>-4</sup>	9,68·10 <sup>-5</sup>	7,36·10 <sup>-2</sup>
1 кгс/см <sup>2</sup>	9,81·10 <sup>4</sup>	9,81·10 <sup>5</sup>	10 <sup>4</sup>	1	0,968	7,36·10 <sup>2</sup>
1 атм	1,01·10 <sup>5</sup>	1,01·10 <sup>6</sup>	1,03·10 <sup>4</sup>	1,03	1	7,5·10 <sup>2</sup>
1 мм рт. ст.	1,33·10 <sup>2</sup>	1,33·10 <sup>3</sup>	13,6	1,36·10 <sup>-3</sup>	1,32·10 <sup>-3</sup>	1

**Таблица 3**

**Зависимость давления насыщенных паров воды от температуры**

t, °C	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50
p <sub>н.п.</sub> , Па	50,5	125,6	279,6	612	1179	2335	4240	7360	12320

**Таблица 4**

**Зависимость коэффициента кинематической вязкости воды от температуры**

t, °C	0	5	7	10	12
v, см <sup>2</sup> /с	0,0179	0,0152	0,0143	0,0131	0,0124
t, °C	15	17	20	25	30
v, см <sup>2</sup> /с	0,0114	0,0109	0,0101	0,009	0,008

Таблица 5

Плотность  $\rho$  воды

$t, ^\circ\text{C}$	+10	+20	+30	+40	+50
$\rho, \text{кг/м}^3$	999,73	998,23	995,67	992,24	988,07

Таблица 6

## Шероховатость труб

Характеристика поверхности труб	Материал	$\Delta$ , мм
1 Цельнотянутые трубы	из латуни	0,0015–0,01
	новые стальные	0,02–0,1
	стальные, находящиеся в эксплуатации	1,2–1,5
2 Цельносварные стальные трубы	новые	0,04–0,1
	бывшие в эксплуатации	0,1–0,15
3 Чугунные трубы	новые	0,25–1,0
	новые битумизированные	0,1–0,15
	бывшие в эксплуатации	1,0–1,5
4 Бетонные и асбестоцементные трубы	бетонные трубы при хорошей поверхности с затиркой	0,3–0,8
	бетонные трубы с шероховатой поверхностью	3,0–9,0
	новые асбестоцементные трубы	0,05–0,1
	асбестоцементные трубы, бывшие в эксплуатации	0,6
5 Стекланые трубы	трубы из чистого стекла	0,0015–0,01

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	1
1 Задание на курсовую работу.....	1
2 Основные сведения.....	1
3 Порядок выполнения курсовой работы.....	4
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	10
ПРИЛОЖЕНИЕ А. Варианты схем трубопровода.....	11
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Исходные данные к расчету трубопровода по вариантам.....	17
ПРИЛОЖЕНИЕ В. Диаграмма уравнения Бернулли.....	23
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. Справочные данные.....	24