

**ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ
ПРОСТОГО НАПОРНОГО ТРУБОПРОВОДА**

ИЗДАТЕЛЬСТВО ТГТУ

УДК 621.221-62/075.5/
ББК Ж123я73-5
Ж85

Рекомендовано Редакционно-издательским советом университета

Р е ц е н з е н т

Доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Прикладная механика и
сопротивление материалов» ТГТУ

В.Ф. Першин

С о с т а в и т е л ь

Н.П. Жуков

Ж85 Гидравлический расчёт простого напорного трубопровода : методические указания / сост. Н.П. Жуков. – Тамбов :
Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. – 24 с. – 300 экз.

Представлен переработанный вариант методических указаний, в которых приведены варианты схем, исходные данные к ним и порядок гидравлического расчёта простого напорного трубопровода для выполнения расчётно-графической работы по разделу «Гидравлика». Дан список рекомендуемой литературы.

Предназначены для студентов 2 и 3 курсов дневной и заочной форм обучения направлений 110300, 140100, 140200, 140500, 150400, 150900, 151000, 270100, 280200.

УДК 621.221-62/075.5/
ББК Ж123я73-5

технический университет» (ТГТУ), 2009

© ГОУ ВПО «Тамбовский государственный

Министерство образования и науки Российской Федерации
ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ ПРОСТОГО НАПОРНОГО ТРУБОПРОВОДА

Методические указания
к расчётно-графической работе
для студентов 2 и 3 курсов дневной и заочной форм обучения
направлений 110300, 140100, 140200, 140500, 150400, 150900, 151000, 270100, 280200



Тамбов
Издательство ТГТУ
2009

Учебное издание

**ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ
ПРОСТОГО НАПОРНОГО ТРУБОПРОВОДА**

Методические указания

Составитель
ЖУКОВ Николай Павлович

Редактор Л.В. Комбарова
Инженер по компьютерному макетированию М.А. Филатова

Подписано в печать 14.10.2009.
Формат 60 × 84/16. 1,39 усл. печ. л. Тираж 300 экз. Заказ № 413.

Издательско-полиграфический центр
Тамбовского государственного технического университета
392000, Тамбов, Советская, 106, к. 14

ВВЕДЕНИЕ

Расчётно-графическая работа по гидравлическому расчёту простого напорного трубопровода выполняется на завершающем этапе изучения раздела «Гидравлика» студентами, обучающимися на технических специальностях в учебных планах которых имеется дисциплина гидравлического профиля. Студенты, не выполнившие его своевременно, не могут быть допущены к экзамену или положительно аттестованы на зачёте.

Целью расчётно-графической работы является изучение и усвоение на практике общей схемы гидравлического расчёта простого напорного трубопровода, а также приобретение навыков работы с технической и справочной литературой.

Расчётно-графическая работа состоит из четырёх разделов:

I раздел – «Определение расхода жидкости», выполняется одним из двух предложенных методов.

Выбор метода производится согласно шифру задания.

II раздел – «Определение диаметра трубопровода», выполняется также одним из двух предложенных методов.

Описание методов решения I и II разделов работы (1-я и 2-я цифры шифра задания) представлено на стр. 6 – 10 данного методического указания.

III раздел – «Построение напорной и пьезометрической линий» в обязательном порядке следует выполнять на миллиметровой бумаге.

IV раздел состоит из трёх вариантов, выбор которых производится также согласно шифру задания (3-я цифра шифра).

Работа должна быть оформлена на листах формата А 4 (отпечатана, либо написана ясным, разборчивым почерком на обеих сторонах листа писчей бумаги, которые затем сброшюровываются). Она должна начинаться титульным листом, на котором указывается учебное заведение, кафедра, название расчётно-графической работы, учебная группа, шифр задания, фамилия и инициалы студента и преподавателя, год.

Схема задания вычерчивается на одном листе пояснительной записки формата А 4 в соответствии с требованиями ЕСКД с приложением таблицы исходных данных согласно шифру задания (Приложение, табл. 1), который состоит из буквы и шести цифр. Например, А213645: А – расчётная схема задания (Приложение, рис. 1); 2 – метод решения первого раздела работы (Приложение, блок-схема I-2); 1 – метод решения второго раздела работы (Приложение, блок-схема II-1); 3 – вариант четвертого раздела работы; 6 – исходные данные к расчётной схеме (Приложение, табл. 2); 4 – материал трубопровода (Приложение, табл. 3); 5 – транспортируемая жидкость (Приложение, табл. 4).

Все расчёты необходимо проводить в международной системе измерений физических величин СИ. Справочные данные из устаревших источников необходимо переводить в систему СИ перед использованием их в расчётах [9]. Все вычисления необходимо приводить в развёрнутом виде с указанием размерностей полученных результатов.

Все справочные данные и расчётные формулы в работе должны сопровождаться ссылками на литературные источники.

ЗАДАНИЕ

Раздел I. В соответствии со схемой задания, определить расход жидкости, проходящей по трубопроводу, состоящему из последовательно соединённых труб разных диаметров, задаваясь:

- 1) квадратичной областью гидравлического сопротивления на всех участках трубопровода;
- 2) скоростью движения жидкости на произвольном участке трубопровода (в соответствии с рекомендациями – в пределах 1...3 м/с).

Раздел II. Определить диаметр трубопровода, обеспечивающий расход жидкости, рассчитанный в I разделе. Общую длину трубопровода принять равной его суммарной длине (раздел I). Расчёт производить задаваясь:

- 1) произвольными значениями диаметров трубопровода;
- 2) скоростью движения жидкости (в пределах 1...3 м/с).

Раздел III. Для заданной схемы рассчитать и построить в масштабе напорную и пьезометрическую линии. По пьезометрической линии определить давление p (Н/м²) до и после задвижки.

Раздел IV. Задаваясь исходными и расчётными данными разделов I и II задания, определить:

- 1) необходимую степень открытия задвижки для пропускa $0,75Q$ жидкости, определённого в разделе II по трубопроводу постоянного сечения;
- 2) величину избыточного давления в сечении А–А (исходные данные раздела I);
- 3) время выравнивания уровней жидкости в резервуарах (исходные данные раздела I).

Методические указания

Задачи такого типа решаются с применением уравнения баланса напоров (уравнения Бернулли) для установившегося движения потока реальной (вязкой) жидкости. Уравнение Бернулли составляется для выбранных характерных сечений и имеет вид [1]:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} + \sum \Delta h_n, \quad (1)$$

где z_1 и z_2 – геометрические высоты центров тяжести рассматриваемых характерных сечений над плоскостью сравнения, м; p_1 и p_2 – давление на поверхности жидкости в питающем и приёмном резервуарах, Н/м²; v_1 , v_2 – средняя скорость потока в выбранных характерных сечениях, м/с; $\frac{\alpha_1 v_1^2}{2g}$, $\frac{\alpha_2 v_2^2}{2g}$ – скоростной

напор в данных сечениях, м (для ламинарного режима течения в круглой трубе коэффициент Кориолиса (коэффициент кинетической энергии) $\alpha_n = 2$; для турбулентного режима течения – $\alpha_n = 1$); $\sum \Delta h_n$ – сумма потерь напора на пути между выбранными характерными сечениями, состоящая из потерь на трение по длине Δh_l и потерь в местных сопротивлениях Δh_M , расположенных на трубопроводе и определяемых по формулам, м:

$$\Delta h_l = \lambda \frac{l}{d} \frac{v^2}{2g}, \quad (2)$$

$$\Delta h_M = \xi \frac{v^2}{2g}. \quad (3)$$

Значения коэффициентов местных сопротивлений ξ приводятся в учебной и справочной литературе [1 – 7]. К местным потерям напора относятся также потери при входе потока в трубопровод и при выходе из него. Величина коэффициента гидравлического трения λ определяется в зависимости от режима течения жидкости, материала труб и их срока службы (Приложение, табл. 3, 4).

Как правило, в качестве характерных сечений принимаются уровни жидкости в резервуарах – питателе и приёмнике (для общего случая – в начале и конце схемы).

Для получения общего вида расчётного уравнения простого напорного трубопровода уравнение Бернулли преобразуется относительно располагаемого напора:

$$H = \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} + \sum \Delta h_n, \quad (4)$$

где $H = \left(z_1 + \frac{p_1}{\rho g} \right) - \left(z_2 + \frac{p_2}{\rho g} \right)$ – перепад гидростатических напоров в питателе и приёмнике, м.

Если площади характерных сечений (резервуаров) значительно превышают сечение соединяющего трубопровода, то при составлении баланса напоров скоростными напорами жидкости в них можно пренебречь.

В данном случае уровни жидкости в резервуарах считаются постоянными и рассматриваются как пьезометрические уровни в питателе и приёмнике. Уравнение (4) при этом будет иметь вид:

$$H = \sum_{i=1}^k \left(\lambda_i \frac{l_i}{d_i} + \xi_i \right) \frac{v_i^2}{2g}. \quad (5)$$

Для случаев, когда площадь в одном из характерных сечений соизмерима с сечением трубопровода, с помощью уравнения расхода [7], м³/с:

$$Q = v_1 \omega_1 = v_2 \omega_2 = \dots = v_i \omega_i = v_k \omega_k = \text{const}, \quad (6)$$

значения скоростей движения жидкости на любом рассматриваемом участке выражаются с учётом соотношения площадей поперечного сечения рассматриваемых участков трубопровода. В этом случае расчётное уравнение простого напорного трубопровода приводится к виду, м:

$$H = \frac{v_i^2}{2g} \left[\alpha_k + \sum_{i=1}^k \left(\lambda_i \frac{l_i}{d_i} + \xi_i \right) \right], \quad (7)$$

где α_k – коэффициент Кориолиса для выбранного конечного характерного сечения трубопровода.

В случае истечения жидкости из большого резервуара через трубопровод в атмосферу уравнение Бернулли имеет вид [3]:

$$H = \alpha_k \frac{v_k^2}{2g} + \Sigma \Delta h_n, \quad (8)$$

где H – располагаемый напор трубопровода, определяемый высотой пьезометрического уровня в резервуаре-питателе над центром выходного сечения трубопровод; $\alpha_k \frac{v_k^2}{2g}$ – скоростной напор в выходном (конечном) сечении.

Так как потеря напора при выходе потока из трубопровода в данном случае отсутствует, уравнение (8) при подстановке в него выражений потерь преобразуется в уравнение (7). Следовательно, приведённые расчётные зависимости являются общими для трубопроводов с истечением жидкости, как под уровень, так и в атмосферу.

Если известна величина располагаемого напора, то расчётное уравнение простого напорного трубопровода может быть преобразовано относительно скорости движения жидкости, в результате чего уравнение будет иметь вид, м/с:

$$v_i = \sqrt{\frac{2gH}{\alpha_k + \sum_{i=1}^k \left(\lambda_i \frac{l_i}{d_i} + \xi_i \right)}}. \quad (9)$$

I. Определение расхода жидкости

Задача по определению расхода жидкости в трубопроводе является наиболее сложной, так как в расчётное уравнение (7) входит коэффициент λ , величина которого зависит от режима течения жидкости. Данная задача решается методами последовательного приближения. Наиболее часто применяются два из них:

I-1. Определение расхода жидкости методом задания области гидравлического сопротивления (зоны сопротивления).

Вычисление расхода в первом приближении рекомендуется производить исходя из допущения, что на всех участках трубопровода имеет место квадратичная область гидравлического сопротивления. Исходя из этого предположения, рассчитывают коэффициенты λ . Для проверки правильности такого предположения после первого приближения на каждом участке определяют режимы течения жидкости (вычисляют числа Рейнольдса Re) и сравнивают их с граничными значениями (табл. 1).

Таблица I

| Зоны сопротивления | Граничные условия | Расчётные формулы по определению λ |
|--------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| Ламинарного режима течения | $Re \leq 2320$ | $\lambda = 64/Re$ |
| Гладкостенного скольжения | $2320 \leq Re \leq 56 \frac{d}{\Delta}$ | $\lambda = \frac{0,32}{\sqrt[4]{Re}}$ |
| Доквадратичного режима течения | $56 \frac{d}{\Delta} \leq Re \leq 500 \frac{d}{\Delta}$ | $\lambda = 0,11 \left(\frac{68}{Re} + \frac{\Delta}{d} \right)^{0,25}$ |
| Квадратичного режима течения | $Re > 500 \frac{d}{\Delta}$ | $\lambda = 0,11 \left(\frac{\Delta}{d} \right)^{0,25}$ |

Если для каждого участка трубопровода соблюдены условия существования квадратичной области, расчёт на этом заканчивается. При несоблюдении данного условия на одном или нескольких участках

расход вычисляют вторично, причём в расчётное уравнение подставляют значения λ , вычисленные по формулам, соответствующим фактической области гидравлического сопротивления.

Полученные во втором приближении значения λ являются приближёнными, так как их определяют через скорости, вычисленные по приближённому значению расхода.

Вычисление расхода в третьем приближении производится в прежней последовательности с той только разницей, что значения λ теперь вычисляют по уточнённым значениям скоростей, выраженным через расход во втором приближении. Точность вычисления расхода в третьем приближении является достаточной.

Порядок решения задачи этим методом представлен блок-схемой I-1.

I-2. Определение расхода жидкости методом задавания скорости её движения в трубопроводе.

На основании данного предположения для оценки режима течения жидкости в трубопроводе задаются её скоростью на произвольном участке в пределах 1...3 м/с, исходя из рекомендаций [4]. На остальных участках трубопровода скорость вычисляют с помощью уравнения расхода (6). Значения полученных скоростей используют для определения режима течения жидкости, величины числа Рейнольдса Re и коэффициента гидравлического сопротивления на трение λ .

Для проверки правильности исходного предположения по расчётному уравнению (9) определяют скорости движения жидкости на каждом участке трубопровода. После первого приближения полученные значения скорости сравнивают с заданными.

Если расхождение между скоростями составляет менее 10 %, то значения последних принимают за истинные и расчёт на этом заканчивают. При несоблюдении данного условия на одном или нескольких участках (расхождение между указанными скоростями составляет более 10 %), расчёт повторяется, при этом задаются значениями скоростей, полученными в первом приближении.

Расчёт продолжается до требуемого предела точности, причём, для каждого последующего расчёта задаются значениями скоростей, полученными в предыдущем приближении.

После окончательного определения скорости, зная диаметр трубопровода, расход жидкости рассчитывается по уравнению (6).

Порядок решения задачи этим методом представлен блок-схемой I-2.

II. Определение диаметра трубопровода

Задача по определению потребного диаметра трубопровода решается двумя способами: графо-аналитическим и аналитическим с применением метода последовательного приближения.

II-1. Графо-аналитический способ.

Решение задачи графо-аналитическим способом основывается на задании произвольного ряда диаметров трубопровода (не менее 8 – 10 типоразмеров) и расчёта для каждого типоразмера суммы гидравлических потерь с учётом изменения режима течения жидкости (области гидравлического сопротивления и, соответственно, величины коэффициента гидравлического сопротивления на трение λ).

Расчёт ведётся в следующем порядке:

1. Определяются:

- средняя скорость движения жидкости v_i в трубопроводе с диаметром из заданного ряда диаметров и режим течения (число Re_i);
- потери напора на трение по длине трубопровода $\Sigma\Delta h_l$ (коэффициент гидравлического сопротивления на трение λ рассчитывается с учётом зоны сопротивления, табл. 1);
- гидравлические потери в местных сопротивлениях $\Sigma\Delta h_m$;
- сумма гидравлических потерь в трубопроводе $\Sigma\Delta h_n$.

2. Аналогичные расчёты проводятся для каждого из диаметров заданного ряда.

3. Расчётные данные сводятся в табл. 2.

| Диаметр трубопровода d , м | Скорость движения жидкости v , м/с | Режим течения Re | Коэффициент гидравлического сопротивления λ | Сумма коэффициентов местных сопротивлений $\Sigma\xi$ | Общие потери напора в трубопроводе Σh_n , м |
|------------------------------|--------------------------------------|--------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
|------------------------------|--------------------------------------|--------------------|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|

4. По расчётным данным строится график зависимости $\Sigma h_n = f(d)$.

5. На графике $\Sigma h_n = f(d)$ по оси ординат откладывается значение располагаемого напора H и проводится горизонтальная линия до пересечения с кривой $\Sigma h_n = f(d)$.

Прямая, опущенная из точки пересечения до оси абсцисс, даёт искомый диаметр d . За окончательный диаметр принимается ближайшее большее стандартное значение [8].

Порядок определения потребного диаметра графо-аналитическим способом представлен блок-схемой П-1.

П-2. Аналитический способ.

Расчётную формулу для определения потребного диаметра трубопровода аналитическим способом получают, используя уравнение Бернулли для установившегося движения жидкости (5) и уравнение расхода (6). С этой целью преобразуется уравнение простого напорного трубопровода [3] относительно диаметра, исходя из предположения, что последний постоянен по всей длине трубопровода, м:

$$d = \sqrt[4]{0,0827 \frac{Q^2}{H} \left(1 + \lambda \frac{l}{d} + \Sigma\xi \right)}, \quad (10)$$

где l , d , H – в м; Q – в м³/с.

Так как в формулу (10) для определения диаметра входит коэффициент гидравлического сопротивления на трение по длине λ , зависящий от диаметра, и диаметр, то задача в общем случае решается методом последовательного приближения.

Вычисления производят, задаваясь в соответствии с рекомендациями предполагаемой скоростью движения жидкости в трубопроводе (в пределах 1...3 м/с). Из уравнения расхода рассчитывают предварительное значение диаметра трубопровода, который используют для определения режима течения жидкости и величины коэффициента гидравлического сопротивления на трение по длине λ .

Правильность исходного предположения проверяется сравнением величины диаметра, полученного по уравнению (10) с предварительным значением.

Если расхождение между диаметром, полученным в первом приближении и предварительным значением, полученным из уравнения расхода, составляет менее 10 %, то первый принимается за искомый. Если расхождение между указанными диаметрами значительное (более 10 %), то делают второе приближение, задаваясь значением диаметра, полученное в первом приближении. Скорость движения жидкости вычисляется по уравнению расхода (6). Для полученных значений диаметра и скорости движения определяют режим течения жидкости, число Рейнольдса Re и коэффициент гидравлического сопротивления на трение по длине λ .

Диаметр трубопровода во втором приближении определяется путём подстановки полученных данных в уравнение (10). За окончательный диаметр принимается ближайшее большее стандартное значение [8].

Порядок определения диаметра трубопровода аналитическим способом представлен блок-схемой П-2.

III. Расчёт и построение напорной и пьезометрической линий

Изменение полного напора потока жидкости и его составляющих по длине трубопровода наглядно представляется с помощью графиков.

Линия полного напора строится путём последовательного вычитания потерь, нарастающих вдоль потока, из начального напора потока (заданного пьезометрическим уровнем в питающем резервуаре), пьезометрическая линия – путём вычитания скоростного напора в каждом сечении из полного напора.

Тогда графически величина пьезометрического напора $\frac{P}{\rho g}$ представляет собой расстояние от центра тяжести живого сечения до пьезометрической линии, а величина скоростного напора $\alpha_i \frac{v_i^2}{2g}$ – расстояние между пьезометрической линией и линией полного напора.

Расчёт и графическое построение напорной и пьезометрической линий производят в следующем порядке:

1. Вычерчивают расчётную схему трубопровода и обозначают на ней расчётные сечения, в которых происходит изменение давления за счёт гидравлических потерь в местных сопротивлениях и гидравлических потерь на трение по длине.

2. Последовательно для каждого местного сопротивления и между ними (для участков трубопровода определённой длины) рассчитывают гидравлические потери Δh_m и Δh_l по формулам (2) и (3).

3. Определяют скоростные напоры для участков с разными диаметрами трубопровода. Результаты сводят в табл. 3.

Таблица 3

| Расчётные сечения | Потери напора от питающего резервуара до рассматриваемого сечения, м | | | Скоростной напор в рассматриваемом сечении $\alpha_i \frac{v_i^2}{2g}$, м |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------|--------------|-------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| | Δh_l | Δh_m | $\sum \Delta h_n$ | |
| | | | | |

4. Выбирают масштаб и наносят линию начального напора потока (вертикальную для горизонтального трубопровода и горизонтальную для вертикального) [3,7].

5. Откладывают в каждом сечении параллельно линии начального напора значения величин общих потерь Δh_n (по вертикали вниз для горизонтального трубопровода и по горизонтали для вертикального трубопровода).

6. На полученных линиях откладывают значения величин скоростных напоров $\alpha_i \frac{v_i^2}{2g}$.

7. Полученные точки соединяют прямыми линиями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чугаев, Р.Р. Гидравлика / Р.Р. Чугаев. – М.-Л. : Госэнергоиздат, 1963. – С. 120 – 145, 149 – 160.
2. Угинчус, А.А. Гидравлика и гидравлические машины / А.А. Угинчус. – Харьков : Изд-во Харьковского ун-та, 1970. – С. 161 – 194, 381 – 386.
3. Бугаев, Д.А. Сборник задач по машиностроительной гидравлике / Д.А. Бугаев, З.А. Калмыкова, Л.Г. Подвидз и др. ; под. общ. ред. И.И. Куколевского и Л.Г. Подвидза. – М. : Машиностроение, 1981. – С. 146 – 187, 225 – 264.
4. Маторин, С.В. Задачник по гидравлике / С.В. Маторин. – М. : Изд-во МИХМ, 1958. – С. 44 – 58, 77 – 112.
5. Андреевская, А.В. Задачник по гидравлике / А.В. Андреевская, Н.Н. Кременецкий, М.В. Панова. – М. : Энергия, 1970. – С. 157 – 205, 506 – 566.
6. Киселёв, П.Г. Справочник по гидравлическим расчётам / П.Г. Киселёв. – М. : Госэнергоиздат, 1961. – С. 24 – 31, 50 – 75, 112 – 123.
7. Вильнер, Я.М. Справочное пособие по гидравлике, гидромашинам и гидроприводам / Я.М. Вильнер, Я.Т. Ковалев, Б.Б. Некрасов. – Минск : Вышшая школа, 1976. – С. 16, 67 – 102, 122 – 135.
8. Анурьев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя / В.И. Анурьев. – М. : Машиностроение, 1980, т. 3. – С. 225 – 319.
9. Бурдун, Г.Д. Международная система единиц / Г.Д. Бурдун, Н.В. Калашников, Л.Р. Стоцкий. – М. : Высшая школа, 1964. – 274 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ

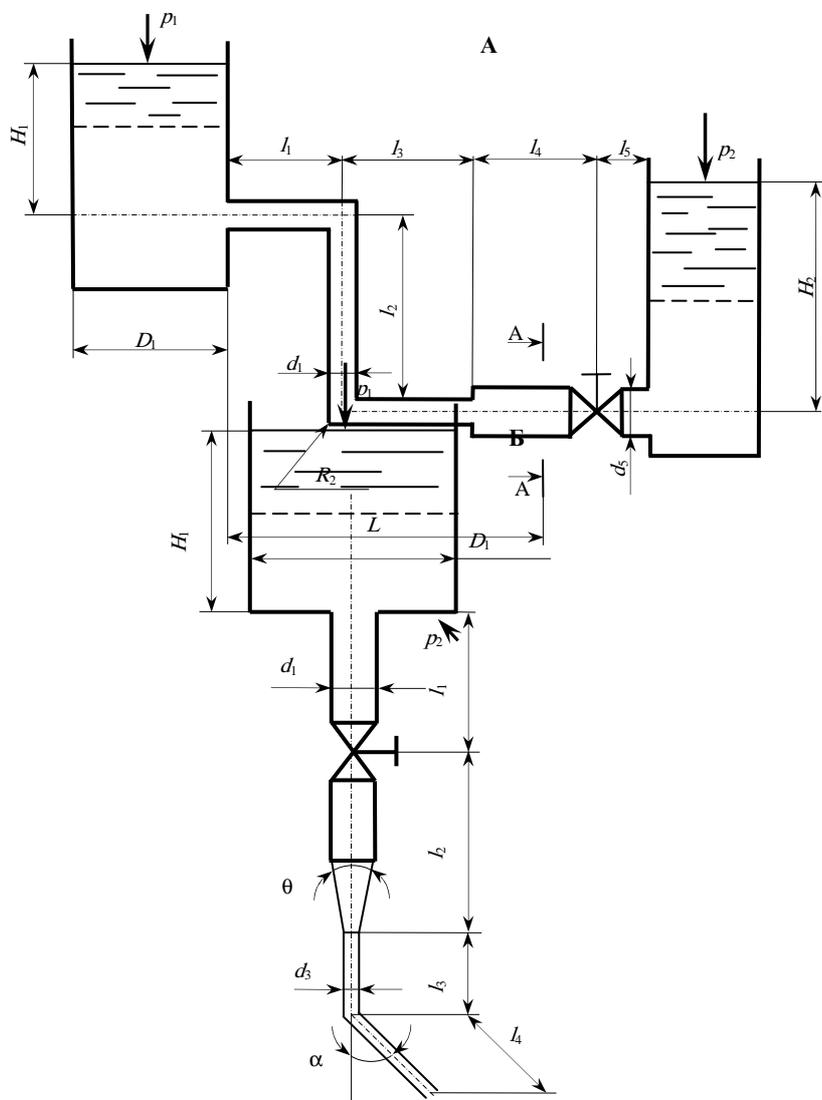
Таблица 1

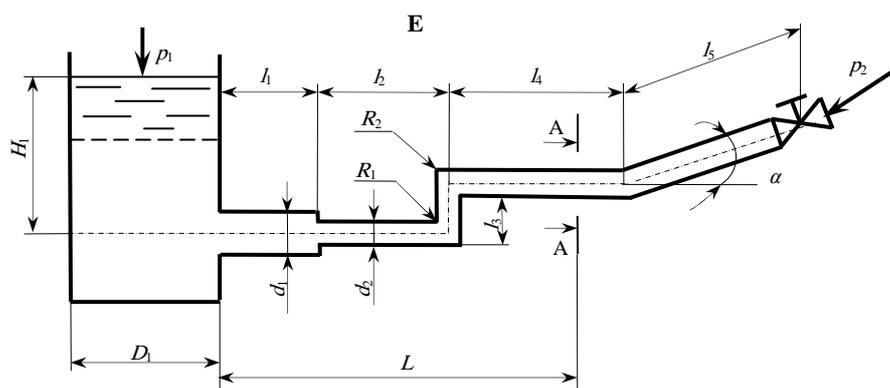
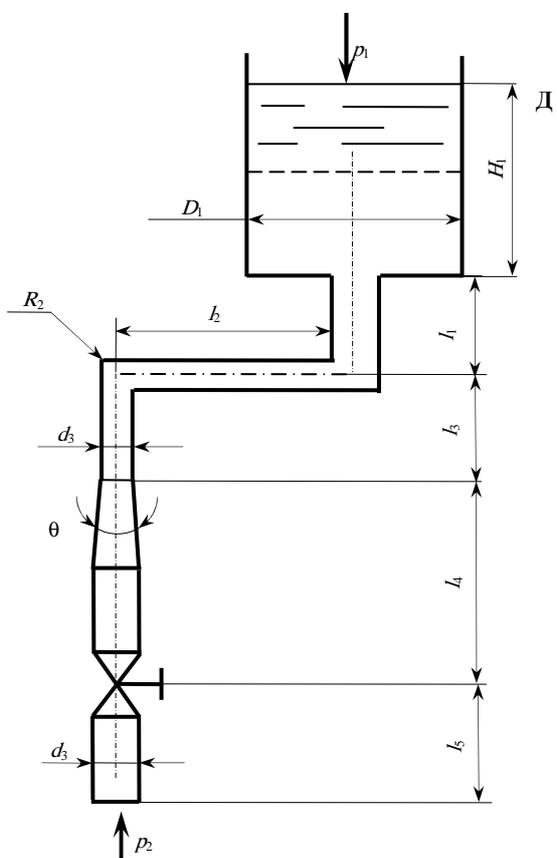
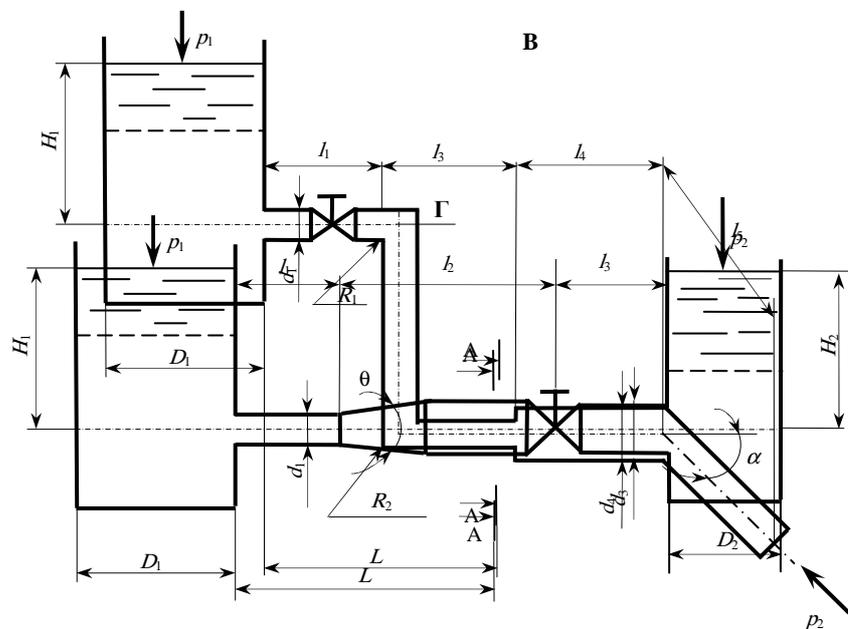
| № п/п | Шифр | № п/п | Шифр |
|-------|----------|-------|----------|
| 1 | А 121163 | 36 | Е 222116 |
| 2 | Б 121661 | 37 | А 121666 |
| 3 | В 222116 | 38 | Б 111134 |
| 4 | Г 113134 | 39 | В 212334 |
| 5 | Д 211134 | 40 | Г 111661 |
| 6 | Е 111661 | 41 | Д 121263 |
| 7 | А 212252 | 42 | Е 121661 |
| 8 | Б 212552 | 43 | А 212552 |
| 9 | В 111225 | 44 | Б 221223 |
| 10 | Г 221223 | 45 | В 121223 |
| 11 | Д 121223 | 46 | Г 121552 |
| 12 | Е 121552 | 47 | Д 212252 |
| 13 | А 123341 | 48 | Е 212552 |
| 14 | Б 121443 | 49 | А 123442 |
| 15 | В 122333 | 50 | Б 222316 |
| 16 | Г 222316 | 51 | В 122116 |
| 17 | Д 122316 | 52 | Г 212443 |
| 18 | Е 212443 | 53 | Д 121341 |
| 19 | А 211436 | 54 | Е 122443 |
| 20 | Б 211334 | 55 | А 211333 |
| 21 | В 222442 | 56 | Б 111465 |
| 22 | Г 111465 | 57 | В 221665 |
| 23 | Д 221465 | 58 | Г 222334 |
| 24 | Е 222334 | 59 | Д 211436 |
| 25 | А 122525 | 60 | Е 211334 |
| 26 | Б 122225 | 61 | А 122224 |
| 27 | В 211551 | 62 | Б 112551 |
| 28 | Г 112551 | 63 | В 222551 |
| 29 | Д 222551 | 64 | Г 213225 |
| 30 | Е 211225 | 65 | Д 122525 |
| 31 | А 213614 | 66 | Е 122225 |
| 32 | Б 211116 | 67 | А 213115 |
| 33 | В 212664 | 68 | Б 221662 |
| 34 | Г 223642 | 69 | В 112442 |
| 35 | Д 111642 | 70 | Г 223116 |

Продолжение табл. 1

| № п/п | Шифр | № п/п | Шифр |
|-------|----------|-------|----------|
| 71 | Д 211614 | 106 | Г 213614 |
| 72 | Е 212116 | 107 | Д 211116 |
| 73 | А 113134 | 108 | Е 222661 |
| 74 | Б 211134 | 109 | А 213134 |
| 75 | В 222116 | 110 | Б 111661 |
| 76 | Г 121163 | 111 | В 121163 |
| 77 | Д 121661 | 112 | Г 121661 |

| | | | |
|-----|----------|-----|----------|
| 78 | Е 222116 | 113 | Д 222115 |
| 79 | А 221223 | 114 | Е 112134 |
| 80 | Б 121223 | 115 | А 121223 |
| 81 | В 111661 | 116 | Б 121552 |
| 82 | Г 212252 | 117 | В 212252 |
| 83 | Д 212552 | 118 | Г 212552 |
| 84 | Е 111225 | 119 | Д 111226 |
| 85 | А 222316 | 120 | Е 221223 |
| 86 | Б 122316 | 121 | А 122316 |
| 87 | В 121552 | 122 | Б 212443 |
| 88 | Г 123341 | 123 | В 122341 |
| 89 | Д 121443 | 124 | Г 123443 |
| 90 | Е 122334 | 125 | Д 122333 |
| 91 | А 111465 | 126 | Е 222316 |
| 92 | Б 221465 | 127 | А 221465 |
| 93 | В 212443 | 128 | Б 222334 |
| 94 | Г 211436 | 129 | В 211436 |
| 95 | Д 211334 | 130 | Г 211334 |
| 96 | Е 222443 | 131 | Д 222442 |
| 97 | А 112551 | 132 | Е 111465 |
| 98 | Б 222551 | 133 | А 222551 |
| 99 | В 222334 | 134 | Б 211225 |
| 100 | Г 122525 | 135 | В 122525 |
| 101 | Д 122225 | 136 | Г 122225 |
| 102 | Е 212552 | 137 | Д 211551 |
| 103 | А 223642 | 138 | Е 112551 |
| 104 | Б 111642 | 139 | А 113621 |
| 105 | В 212225 | 140 | Б 221116 |





| № п/п | p_1 | p_2 | H_1 | H_2 | D_1 | D_2 | l_1 | l_2 | l_3 |
|----------------|-----------------------------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | $\times 10^{-3}, \text{Па}$ | | м | | | | | | |
| <i>Схема А</i> | | | | | | | | | |
| 1 | $p_{абс} = 1,8$ | $p_{вак} = 0,2$ | 5 | 12 | 7 | 7 | 70 | 3 | 40 |
| 2 | $p_{изб} = 1,0$ | $p_{абс} = 2,1$ | 4 | 5 | 4 | 4 | 50 | 6 | 50 |
| 3 | $p_{абс} = 0,2$ | $p_{изб} = 1,1$ | 10 | 3 | 8 | 6 | 15 | 5 | 70 |
| 4 | $p_{изб} = 1,2$ | $p_{ат} = 1,0$ | 2 | 16 | 10 | 5 | 50 | 1 | 50 |
| 5 | $p_{вак} = 0,3$ | $p_{абс} = 1,4$ | 20 | 5 | 2 | 8 | 75 | 2 | 90 |
| 6 | $p_{абс} = 1,5$ | $p_{вак} = 0,2$ | 12 | 12 | 7 | 4 | 80 | 3 | 60 |
| <i>Схема Б</i> | | | | | | | | | |
| 1 | $p_{ат} = 1,0$ | $p_{вак} = 0,3$ | 2 | – | 8 | – | 6 | 4 | 4 |
| 2 | $p_{абс} = 1,8$ | $p_{ат} = 1,0$ | 6 | – | 10 | – | 3 | 6 | 5 |
| 3 | $p_{изб} = 0,2$ | $p_{вак} = 0,1$ | 4 | – | 10 | – | 5 | 10 | 5 |
| 4 | $p_{абс} = 1,2$ | $p_{ат} = 1,0$ | 5 | – | 15 | – | 5 | 5 | 3 |
| 5 | $p_{изб} = 2,0$ | $p_{вак} = 0,4$ | 3 | – | 5 | – | 7 | 4 | 7 |
| 6 | $p_{абс} = 0,8$ | $p_{изб} = 0,2$ | 2 | – | 4 | – | 6 | 5 | 9 |
| <i>Схема В</i> | | | | | | | | | |
| 1 | $p_{абс} = 1,8$ | $p_{вак} = 0,2$ | 18 | – | 8 | – | 50 | 5 | 50 |
| 2 | $p_{изб} = 1,0$ | $p_{абс} = 2,1$ | 4 | – | 10 | – | 20 | 8 | 70 |
| 3 | $p_{абс} = 0,2$ | $p_{изб} = 1,1$ | 10 | – | 5 | – | 60 | 5 | 40 |
| 4 | $p_{изб} = 1,2$ | $p_{ат} = 1,0$ | 5 | – | 2 | – | 15 | 7 | 80 |
| 5 | $p_{вак} = 0,3$ | $p_{абс} = 1,4$ | 20 | – | 4 | – | 25 | 6 | 65 |
| 6 | $p_{абс} = 1,5$ | $p_{вак} = 0,2$ | 15 | – | 8 | – | 20 | 9 | 90 |
| <i>Схема Г</i> | | | | | | | | | |
| 1 | $p_{вак} = 0,3$ | $p_{ат} = 1,0$ | 30 | 6 | 8 | 7 | 100 | 40 | 60 |
| 2 | $p_{абс} = 0,8$ | $p_{изб} = 0,2$ | 28 | 4 | 8 | 5 | 75 | 100 | 30 |
| 3 | $p_{изб} = 2,0$ | $p_{вак} = 0,4$ | 5 | 6 | 10 | 8 | 100 | 50 | 80 |
| 4 | $p_{абс} = 1,2$ | $p_{ат} = 1,0$ | 5 | 20 | 2 | 4 | 10 | 50 | 90 |
| 5 | $p_{ат} = 1,0$ | $p_{абс} = 1,6$ | 22 | 7 | 5 | 5 | 100 | 50 | 50 |
| 6 | $p_{изб} = 1,5$ | $p_{абс} = 0,5$ | 12 | 3 | 4 | 7 | 50 | 100 | 75 |
| <i>Схема Д</i> | | | | | | | | | |
| 1 | $p_{абс} = 1,6$ | $p_{вак} = 0,2$ | 3 | – | 8 | – | 7 | 10 | 4 |
| 2 | $p_{изб} = 1,1$ | $p_{абс} = 2,1$ | 5 | – | 10 | – | 6 | 16 | 2 |
| 3 | $p_{изб} = 0,2$ | $p_{изб} = 1,1$ | 4 | – | 20 | – | 5 | 15 | 8 |
| 4 | $p_{абс} = 0,7$ | $p_{ат} = 1,0$ | 2 | – | 10 | – | 5 | 20 | 5 |
| 5 | $p_{ат} = 1,0$ | $p_{ат} = 1,0$ | 2 | – | 15 | – | 7 | 11 | 5 |
| 6 | $p_{вак} = 0,3$ | $p_{абс} = 1,4$ | 3 | – | 8 | – | 5 | 17 | 3 |
| <i>Схема Е</i> | | | | | | | | | |
| 1 | $p_{абс} = 2,8$ | $p_{изб} = 0,2$ | 14 | – | 10 | – | 30 | 70 | 1 |
| 2 | $p_{изб} = 2,1$ | $p_{ат} = 1,0$ | 7 | – | 5 | – | 20 | 50 | 2 |
| 3 | $p_{вак} = 0,2$ | $p_{ат} = 1,0$ | 21 | – | 15 | – | 20 | 50 | 3 |
| 4 | $p_{абс} = 0,7$ | $p_{вак} = 0,2$ | 24 | – | 8 | – | 50 | 20 | 1 |
| 5 | $p_{ат} = 1,0$ | $p_{ат} = 1,0$ | 17 | – | 15 | – | 60 | 70 | 2 |
| 6 | $p_{изб} = 2,1$ | $p_{вак} = 0,3$ | 20 | – | 14 | – | 40 | 60 | 4 |

Примечания: θ – угол диффузора (или конфузора); a/α – степень закрытия задв

Таблица 2

| l_4 | l_5 | L | d_1 | d_2 | d_3 | d_4 | d_5 | R_1 | R_2 | α | θ | a/α |
|-------|-------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|------------|
| М | | | мм | | | | | | | град | | |
| 30 | 60 | 125 | 70 | 70 | 70 | 100 | 100 | 350 | 70 | – | – | п/о |
| 40 | 70 | 120 | 60 | 60 | 60 | 80 | 80 | 100 | 60 | – | – | 2/8 |
| 50 | 80 | 100 | 70 | 70 | 70 | 100 | 100 | 350 | 175 | – | – | 3/8 |
| 50 | 30 | 125 | 70 | 70 | 70 | 60 | 60 | 70 | 50 | – | – | 4/8 |
| 20 | 40 | 170 | 80 | 80 | 80 | 50 | 50 | 100 | 80 | – | – | 5/8 |
| 20 | 60 | 150 | 50 | 50 | 50 | 70 | 70 | 50 | 125 | – | – | 6/8 |
| 10 | – | – | 100 | 100 | 50 | 50 | – | – | – | 30 | 20 | 1/8 |
| 7 | – | – | 150 | 150 | 125 | 125 | – | – | – | 35 | 30 | 5/8 |
| 6 | – | – | 50 | 50 | 100 | 100 | – | – | – | 40 | 15 | 4/8 |
| 9 | – | – | 120 | 120 | 40 | 40 | – | – | – | 35 | 40 | 7/8 |
| 5 | – | – | 70 | 70 | 140 | 140 | – | – | – | 30 | 30 | 2/8 |
| 6 | – | – | 100 | 100 | 50 | 50 | – | – | – | 40 | 10 | 3/8 |
| 70 | 30 | 75 | 70 | 70 | 70 | 100 | 100 | 175 | 70 | 50 | – | 7/8 |
| 65 | 40 | 90 | 100 | 100 | 100 | 80 | 80 | 125 | 100 | 50 | – | 3/8 |
| 30 | 70 | 95 | 60 | 60 | 60 | 80 | 80 | 100 | 150 | 20 | – | 5/8 |
| 20 | 80 | 35 | 80 | 80 | 80 | 60 | 60 | 80 | 100 | 40 | – | 2/8 |
| 80 | 30 | 85 | 80 | 80 | 80 | 70 | 70 | 400 | 50 | 30 | – | 7/8 |
| 30 | 60 | 65 | 100 | 100 | 100 | 70 | 70 | 50 | 500 | 30 | – | 4/8 |
| – | – | 120 | 70 | 100 | 100 | – | – | – | – | – | 10 | 4/8 |
| – | – | 105 | 75 | 100 | 100 | – | – | – | – | – | 15 | 2/8 |
| – | – | 125 | 90 | 75 | 75 | – | – | – | – | – | 30 | 5/8 |
| – | – | 120 | 100 | 50 | 50 | – | – | – | – | – | 20 | 7/8 |
| – | – | 130 | 80 | 40 | 40 | – | – | – | – | – | 10 | 3/8 |
| – | – | 110 | 50 | 100 | 100 | – | – | – | – | – | 15 | 6/8 |
| 6 | 5 | – | 50 | 50 | 50 | 100 | 100 | 50 | 250 | – | 30 | 7/8 |
| 8 | 6 | – | 65 | 65 | 65 | 75 | 75 | 325 | 65 | – | 15 | 4/8 |
| 5 | 6 | – | 90 | 90 | 90 | 75 | 75 | 50 | 90 | – | 30 | 5/8 |
| 4 | 10 | – | 80 | 80 | 80 | 100 | 100 | 100 | 50 | – | 20 | 3/8 |
| 6 | 4 | – | 60 | 60 | 60 | 50 | 50 | 100 | 150 | – | 40 | 2/8 |
| 10 | 5 | – | 75 | 75 | 75 | 100 | 100 | 125 | 375 | – | 15 | 6/8 |
| 30 | 40 | 115 | 150 | 100 | 100 | 100 | 100 | 250 | 125 | 30 | – | 7/8 |
| 50 | 30 | 95 | 70 | 50 | 50 | 50 | 50 | 50 | 250 | 50 | – | 2/8 |
| 60 | 20 | 100 | 100 | 150 | 150 | 150 | 150 | 250 | 125 | 30 | – | 3/8 |
| 50 | 40 | 100 | 80 | 60 | 60 | 60 | 60 | 100 | 75 | 70 | – | 6/8 |
| 20 | 50 | 135 | 60 | 50 | 50 | 50 | 50 | 125 | 250 | 30 | – | 4/8 |
| 30 | 10 | 115 | 50 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 125 | 40 | – | 7/8 |

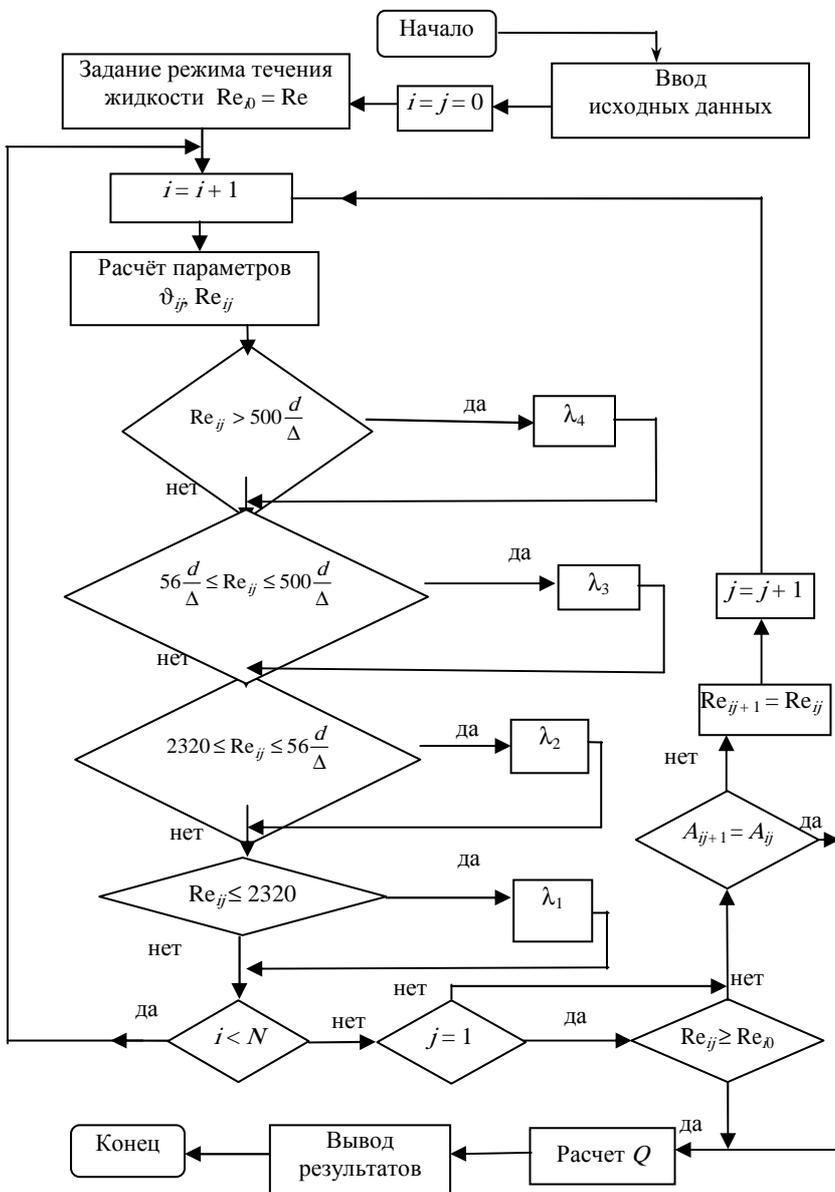
ижки; α – угол плавного поворота трубопровода круглого сечения.

Значения шероховатости внутренней поверхности труб

| № п/п | Материал трубопровода | Степень использования труб | Шероховатость внутренней поверхности трубы Δ , мм |
|-------|-----------------------|----------------------------|----------------------------------------------------------|
| 1 | Сталь | Новые | 0,02...0,10 |
| 2 | Сталь | Бывшие в эксплуатации | 1,20...1,50 |
| 3 | Оцинкованные | Новые | 0,15 |
| 4 | Оцинкованные | Бывшие в эксплуатации | 0,18 |
| 5 | Чугун | Новые | 0,25...1,00 |
| 6 | Чугун | Бывшие в эксплуатации | 1,00...1,50 |

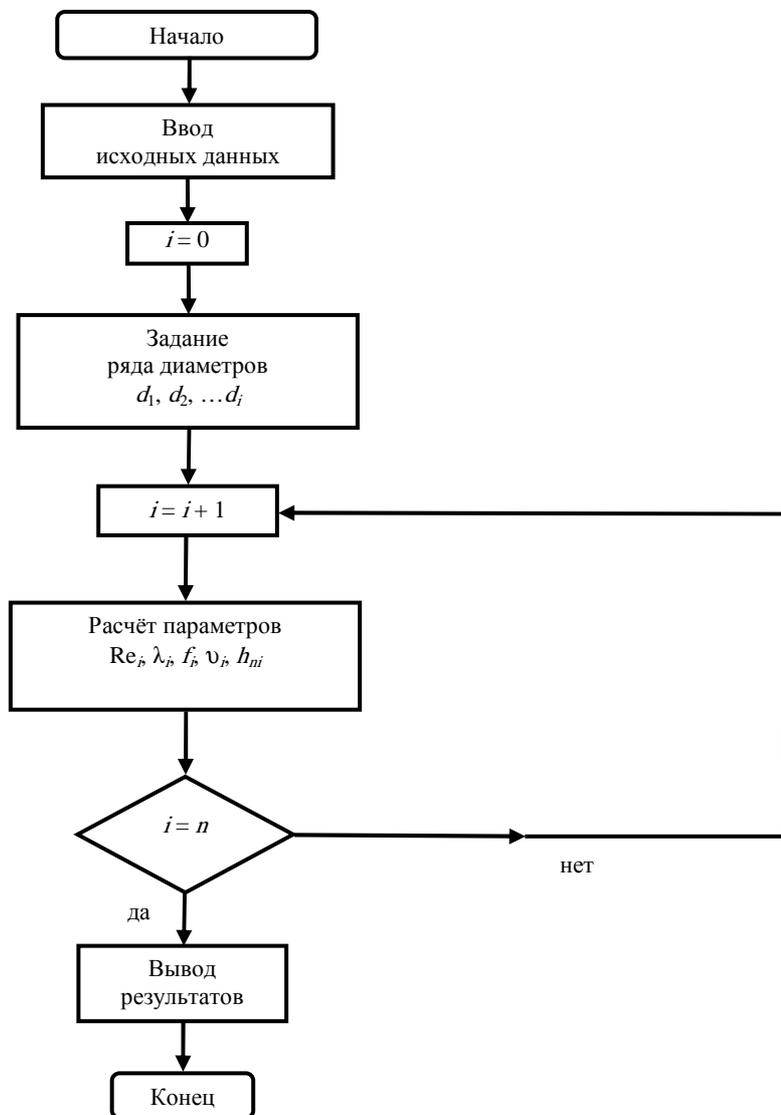
Основные физические свойства жидкостей

| № п/п | Наименование жидкости | Плотность ρ , кг/м ³ | Коэффициент динамической вязкости μ , Па·с | Коэффициент кинематической вязкости $\nu \cdot 10^4$, м ² /с |
|-------|--------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Эфир | 725,9 | 0,00246 | 0,00327 |
| 2 | Вода | 979,0 | 0,00101 | 0,01006 |
| 3 | Спирт этиловый | 758,0 | 0,00119 | 0,01540 |
| 4 | Молоко цельное | 1032,0 | 0,00183 | 0,01740 |
| 5 | Масло (трансформаторное) | 870,2 | 0,02750 | 0,31000 |
| 6 | Масло (веретенное марки АУ) | 872,7 | 0,04270 | 0,48000 |
| 7 | Масло турбинное | 937,6 | 0,08600 | 0,96000 |
| 8 | Масло вазелиновое | 862,3 | 0,13800 | 1,57000 |
| 9 | Глицерин | 989,2 | 0,00603 | 0,05980 |
| 10 | (50 % водный раствор) | 1201,4 | 0,01297 | 1,0590 |
| 11 | Глицерин (86 % водный раствор) | 1236,8 | 1,49900 | 11,8900 |
| | Глицерин безводный | | | |

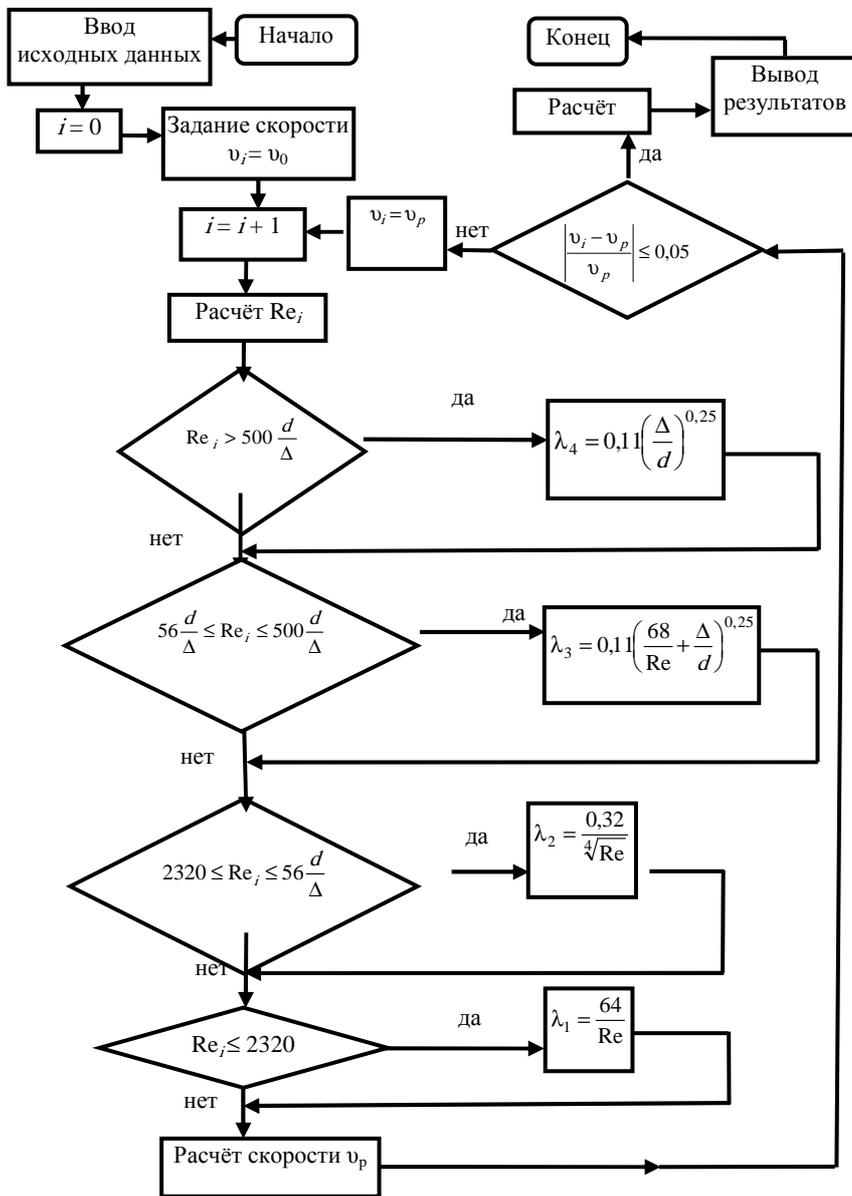


I-1. Блок-схема определения расхода жидкости на основе заданного режима её течения (зоны сопротивления):

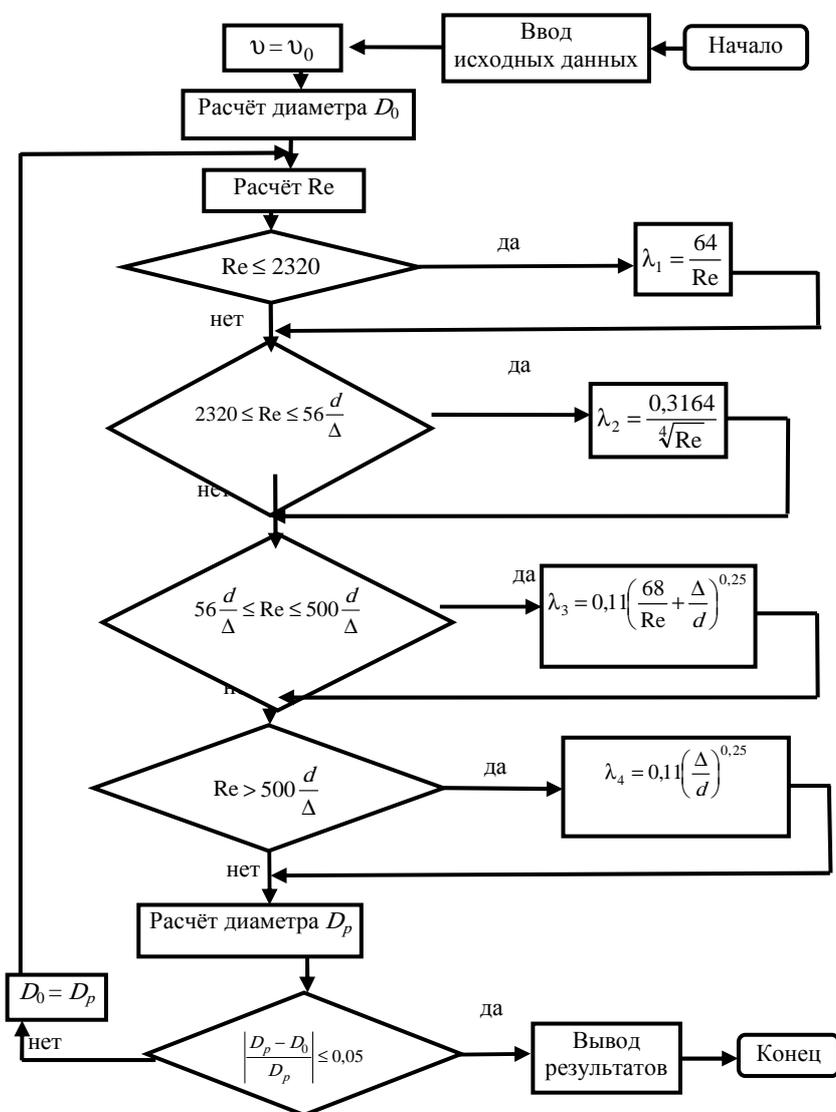
i – число участков трубопровода; j – число приближений;
 A – зона гидравлического сопротивления



II-1. Блок-схема определения диаметра трубопровода на основе заданного ряда его типоразмеров



I-2. Блок-схема определения расхода жидкости на основе заданной скорости её движения



II-2. Блок-схема определения диаметра трубопровода на основе задания скорости движения жидкости

Таблица 2

| № п/п | p_1 | p_2 | H_1 | H_2 | D_1 | D_2 | l_1 | l_2 | l_3 | l_4 | l_5 | L | d_1 | d_2 | d_3 | d_4 | d_5 | R_1 | R_2 | α | θ | a/a |
|----------------|-----------------------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|----------|-----|
| | $\times 10^{-3}$, Па | | м | | | | | | | | | | м | мм | | | | | град | | | |
| Схема А | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | $p_{абс} =$ | $p_{вак} =$ | 5 | 12 | 7 | 7 | 70 | 3 | 40 | 30 | 60 | 125 | 70 | 70 | 70 | 100 | 100 | 350 | 70 | - | - | п/о |
| 2 | $=$ | $=$ | 4 | 5 | 4 | 4 | 50 | 6 | 50 | 40 | 70 | 120 | 60 | 60 | 60 | 80 | 80 | 100 | 60 | - | - | 2/8 |
| 3 | 1,8 | 0,2 | 10 | 3 | 8 | 6 | 15 | 5 | 70 | 50 | 80 | 100 | 70 | 70 | 70 | 100 | 100 | 350 | 175 | - | - | 3/8 |
| 4 | $p_{изб} =$ | $p_{абс} =$ | 2 | 16 | 10 | 5 | 50 | 1 | 50 | 50 | 30 | 125 | 70 | 70 | 70 | 60 | 60 | 70 | 50 | - | - | 4/8 |
| 5 | $=$ | $=$ | 20 | 5 | 2 | 8 | 75 | 2 | 90 | 20 | 40 | 170 | 80 | 80 | 80 | 50 | 50 | 100 | 80 | - | - | 5/8 |
| 6 | 1,0 | 2,1 | 12 | 12 | 7 | 4 | 80 | 3 | 60 | 20 | 60 | 150 | 50 | 50 | 50 | 70 | 70 | 50 | 125 | - | - | 6/8 |
| | $p_{абс} =$ | $p_{изб} =$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | $=$ | $=$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 0,2 | 1,1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | $p_{изб} =$ | $p_{ат} =$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | $=$ | $=$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1,2 | $p_{абс} =$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | $p_{вак} =$ | $=$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | $=$ | $=$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 0,3 | $p_{вак} =$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | $p_{абс} =$ | $=$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | $=$ | $=$ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1,5 | 0,2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Схема Б | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | $p_{ат} =$ | $p_{вак} =$ | 2 | - | 8 | - | 6 | 4 | 4 | 10 | - | - | 100 | 100 | 50 | 50 | - | - | - | 30 | 20 | 1/8 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| $p_{изб} =$ 2,1 | $p_{вак} =$ 0,3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Примечание: θ – угол диффузора (или конфузора); a/α – степень закрытия задвижки; α – угол плавного поворота трубопровода круглого сечения. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |