

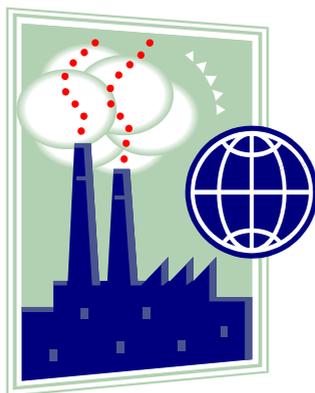
ФГБОУВПО «Воронежский государственный технический университет»

Кафедра промышленной и теоретической теплоэнергетики

**00-00**

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к выполнению курсовой работы по дисциплине  
«Гидрогазодинамика» для студентов специальности  
140104 «Промышленная теплоэнергетика» и направления  
подготовки бакалавров 140100 «Теплоэнергетика и  
теплотехника» профиля, «Промышленная теплоэнергетика»  
заочной формы обучения



Воронеж 2011

Составители: д-р техн. наук И.Г. Дроздов, канд. техн. наук А.В. Муравьев.

УДК 621.35

Методические указания к выполнению курсовой работы по курсу «Гидрогазодинамика» «Гидрогазодинамика» для студентов специальности 140104 «Промышленная теплоэнергетика» и направления подготовки бакалавров 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника» профиля, «Промышленная теплоэнергетика» заочной формы обучения / ФГБОУВПО «Воронежский государственный технический университет»; сост. И.Г. Дроздов, А.В. Муравьев. Воронеж, 2012. 49 с.

В методических указаниях содержится методика расчета гидравлических, гидрогазодинамических, газодинамических потерь, а так же порядок расчета основных параметров трубопровода, подбор насосов. Приведены необходимые справочные данные.

Предназначены для студентов второго и третьего курса заочной формы обучения.

Курсовая работа оформляется согласно требованиям **СТП ВГТУ 62-2007**.

Методические указания подготовлены в электронном виде в текстовом редакторе MS WORD, содержатся в файле proekt\_robot\_praktika.doc.

Табл. 6. Ил.10. Библиогр.: 5 назв.

Рецензент канд. техн. наук, доц. С.В. Дахин

Ответственный за выпуск зав. кафедрой д-р техн. наук, проф. А.В. Бараков

Печатается по решению редакционно-издательского совета Воронежского государственного технического университета

© ФГБОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2011

## **Введение**

Согласно учебному плану специальности 140104 - промышленная теплоэнергетика, студенты выполняют в четвертом семестре курсовую работу по дисциплине "Гидрогазодинамика". Эта работа, проводимая студентами самостоятельно, является способом практического применения знаний, полученных при изучении лекционного материала. Курсовая работа подготавливает студентов к решению более сложных задач инженерного характера, возникающих при выполнении курсовых проектов по специальным дисциплинам и дипломного проекта.

В процессе выполнения курсовой работы студенты должны пользоваться не только учебниками и пособиями, но и различными справочными материалами. Предлагаемая работа» не подменяя собой специальную литературу, имеет целью дать студентам необходимые методические указания, рекомендации для выполнения курсовой работы. Кроме того, приводятся общие методические положения по курсовому проектированию, позволяющие студентам более четко определить цели и задачи проектирования, помочь в организации и распределении работы при выполнении курсовой работы.

### **1 Общие методические положения по курсовой работе**

#### **1.1 Цели и задачи курсовой работы**

Курсовая работа составляет важный этап учебного процесса, будучи одним из активных методов развития творческих способностей студентов, целью которых является выполнение следующих задач;

а) закрепить и углубить полученные теоретические знания путем использования их для решения конкретных инженерных задач;

б) расширить круг знаний студентов, предлагая им для изучения специальную литературу и другие технические материалы;

в) приучить студентов правильно пользоваться нормами проектирования, ГОСТами к другой технической литературой;

г) развить творческую инициативу у студентов при самостоятельном решении поставленных задач и стремление к поискам оригинальных решений;

д) ознакомить первоначально студентов с практическими задачами в области промышленной теплоэнергетики;

е) развить у студентов навыки систематического, технически и литературно грамотного изложения материала, убедительного обоснования принятых решений;

ж) развить у студентов чувство ответственности за выполненную ими работу и принятые решения и уметь обоснованно защищать их.

## **1. 2 Тематика и содержание курсовой работы**

Темы курсовой работы реальны в том смысле, что они соответствуют реальным задачам, с которыми приходится иметь дело инженеру-теплоэнергетику. Темы и задания на курсовую работу составлены с учетом того, чтобы студент мог самостоятельно выполнить его, пользуясь рекомендуемыми техническими материалами. В заданиях и тематике курсовой работы предусматривается элемент новизны, объем и сложность которого выбирается индивидуально с учетом уровня подготовленности студентов. Для наиболее способных и подготовленных студентов могут выдаваться темы, связанные с научно-исследовательскими и учебными исследовательскими работами, или темы поискового характера, служащие основой для выбора оригинальных решений и разработок проектного характера.

Содержание курсовой работы рассчитано на объем самостоятельной работы студентов (включая ознакомление со справочными материалами, технической литературой) в пределах 30-40 часов. Определение объема работы в этих пределах устанавливается в зависимости от загрузки студента в семестре другими видами самостоятельной работы и сложности задания.

Курсовая работа содержит гидравлические расчеты трубопровода (питательного, циркуляционного, основного конденсата, тепловой сети) и элементов вспомогательного оборудования.

### **1. 3 Оформление курсовой работы**

Курсовая работа оформляется в виде расчетно-пояснительной записки объемом 20 -30 страниц рукописного текста II формата (ГХТ 2.301-68). Расчетно-пояснительная записка оформляется в обложку и предваряется титульным листом. После титульного листа следуют бланк-задание на курсовую работу и оглавление разделов записки. В записку включается краткое введение, в котором обосновывается задача поставленная в курсовой работе. После изложения основного материала следует заключение, в котором формулируются основные выводы и результаты, полученные в курсовой работе. В конце записки обязателен лист с перечнем использованной литературы.

В записке должны быть приведены проведенные расчеты с исходными формулами и пояснениями, обоснования принятых решений, краткое описание схем. Изложение материала записки сопровождается схемами, графиками и таблицами, иллюстрирующими решение задачи. Формулы, графики, таблицы и т.п., заимствованные из литературных источников, должны сопровождаться соответствующими ссылками.

## **1. 4 Организация работы над курсовой работой и ее защита**

После получения задания студент должен составить календарный план своей работы над курсовой работой. Примерный план и распределение объема во времени представлена в бланке-задании, Проверка выполнения работы ведется еженедельно руководителем курсовой работы. В виду того, что число консультаций ограничено, студентам рекомендуется тщательно готовиться к консультациям. Необходимо регулярное посещение студентами консультаций - это обеспечивает систематическую работу и своевременное устранение ошибок и недостатков,

Законченная и оформленная курсовая работа подписывается студентом и руководителем и представляется к защите, Защита курсовой работы проводится по графику в специальной комиссий из двух преподавателей, Регламент защиты следующий; доклад студента (5-7 мин) об основных особенностях курсовой работы и ответы на вопросы членов комиссии (10-12 мин).

## **2 Гидравлический расчет разветвленного трубопровода**

По способам гидравлического расчета трубопроводы делят на две основные группы: простые и сложные. Простым называют трубопровод постоянного диаметра без ответвлений с одним и тем же расходом по пути; всякие другие трубопроводы называют сложными. К сложным трубопроводам относятся циркуляционный, питательный трубопровод, трубопровод основного конденсата, тепловые сети. Эти трубопроводы, в основном, разветвленные или кольцевые с небольшим количеством колец.

Проектный гидравлический расчет трубопровода заключается в определении диаметров участков, типа и

количества насосов для обеспечения подачи заданных расходов жидкости и для получения заданных свободных напоров в самых удаленных точках трубопровода. При этом известны длины участков, геометрические высоты характерных точек трубопровода, температура и род жидкости.

Гидравлический расчет разветвленного трубопровода (рис. 2.1) позволяет определить потери по участкам трубопровода, подобрать насос и построить пьезометрический график. Как правило, в качестве исходных параметров для расчета выступают следующие данные:

$q_i$  – расход воды у конечного потребителя [ $\text{м}^3/\text{с}$ ,  $\text{м}^3/\text{ч}$ , л/с];

$l_{i-j}$  - длины участков трубопроводов [м].

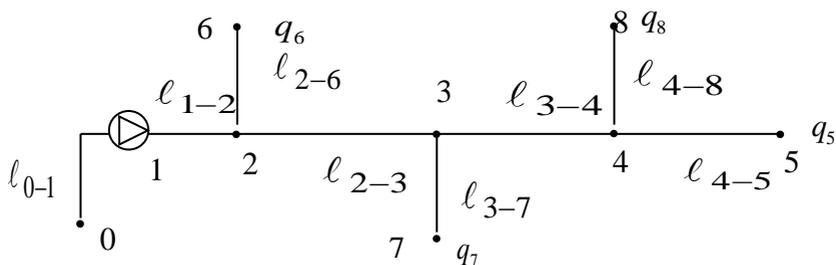


Рисунок 2.1 - Схема разветвленного трубопровода

## 2.1 Выбор основной магистрали

Под основной магистралью понимается самая нагруженная и длинная ветвь трубопровода.

Определим расходы воды по участкам трубопровода  $Q_{i-j}$ , л/с. Для этого воспользуемся следующим правилом: расход  $Q_{i-j}$  на участке  $l_{i-j}$ , м. складывается из расхода на участках, расположенных ниже по течению.

Так, например:

$$Q_{4-5} = q_5;$$

$$Q_{4-8} = q_8;$$

$$Q_{3-4} = Q_{4-5} + Q_{4-8} \text{ и т.д.}$$

Далее, по известным  $Q_{i-j}$  и  $\ell_{i-j}$  определяем основную магистраль.

Предположим, что это 1 – 2 – 3 – 4 – 5. Остальные участки трубопровода назовем ответвлениями от основной магистрали.

## 2.2 Определение диаметров труб основной магистрали

Оптимальная скорость течения воды  $W_{opt}$ , м/с. лежит в пределах  $1 \div 2$  м/с.

Задавшись оптимальной скоростью, рассчитываем диаметры участков основной магистрали  $d_{i-j}^{opt}$ , мм. через уравнение неразрывности:

$$d_{i-j}^{opt} = \sqrt{\frac{4Q_{i-j}}{W_{opt} \cdot \pi}}, \quad (2.1)$$

Далее по  $d_{i-j}^{opt}$  выбираем ближайший больший стандартный внутренний диаметр  $d_{i-j}^{cmo}$  и соответствующий ему условный диаметр  $d_{i-j}$  (см. Приложение А).

## 2.3 Расчет потерь на трение в основной магистрали

Потери на трение  $h_{i-j}$ , м. участков основной магистрали определяем через формулу приведенного расхода

$$h_{i-j} = \frac{Q_{i-j}^2}{K_{i-j}^2} \ell_{i-j}, \quad (2.2)$$

где  $K_{i-j}$  - модуль расхода воды на участке, диаметром  $d_{i-j}$  (см. Приложение А).

Суммарный напор  $H_{\Sigma}$ , м. в основной магистрали

$$H_{\Sigma} = \frac{W_{1-2}^2}{2g} + \sum_{i-j}^n h_{i-j} + z_{\max} + h_k, \quad (2.3)$$

где  $W_{1-2}$  - скорость воды на первом участке;

$z_{\max}$  - геометрический напор на участке, имеющем

максимальную высоту от плоскости сравнения;

$h_k$  - напор у конечного потребителя, задается заказчиком,

но не менее 5 м.

Суммарный расход в основной магистрали  $Q_{\Sigma}$  равен расходу на первом участке  $Q_{\Sigma} = Q_{1-2}$

## 2.4 Расчет ответвлений

Особенность расчета ответвления заключается в том, что при расчете диаметров трубопроводов на первое место ставится равенство напоров в узле со стороны основной магистрали и ответвления. В противном случае нарушается гидравлический режим работы сети.

Рассмотрим узел 4 (рис. 2.2). Приравняем теоретический напор  $h_{4-8}^{теор}$  в ответвлении 4 – 8 к напору в основной магистрали  $h_{4-5}$ ,

$$h_{4-8}^{теор} = h_{4-5}$$

Рассчитаем по формуле приведенного расхода,

теоретический модуль расхода:  $K_{0-n}^{теор^2}$ ,

$$K_{4-6}^{теор^2} = \frac{Q_{4-6}^2}{h_{4-6}^{теор}} \cdot \ell_{4-6} \quad (2.4)$$

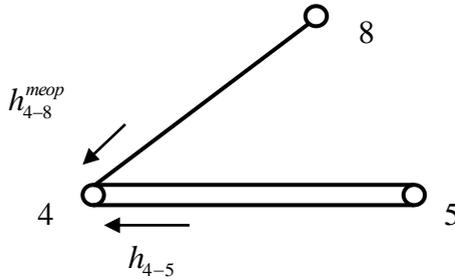


Рисунок 2.2 - Схема узла №4 длинного разветвленного трубопровода

Округляем полученное значение  $K_{4-6}^{теор^2}$  до ближайшего большего стандартного  $K_{4-6}^{теор^2}$  (см. табл. 1.2) и по нему определяем диаметр ответвления  $d_{4-6}$ ,

По стандартному значению модуля расхода  $K_{4-6}^2$  определяем действительные потери напора на ответвлении:

$$\nabla_{4-6} = \frac{h_{4-6} - h_{4-6}^{теор}}{h_{4-6}^{теор}} \cdot 100\%$$

При переходе к ближайшему большему модулю расхода невязка получается отрицательной, а к меньшему – положительной. Если невязка в узле  $\nabla_{i-j} \leq |\pm 5\%|$ , то расчет ответвления закончен. При  $\nabla_{i-j} > |\pm 5\%|$ , необходимо компенсировать невязку запорной арматурой, например, задвижкой.

## 2.5 Компенсация невязки

Суть компенсаций невязки заключается в следующем: по разности теоретического  $h_{i-j}^{теор}$  и действительного  $h_{i-j}$  напоров в ответвлении подбирают коэффициент местного

сопротивления запорной арматуры, при котором напоры выравниваются.

Для этого определяют скорость  $W_{i-j}$ , м/с. в ответвлении в месте установки запорной арматуры (начало ответвления) по уравнению неразрывности:

$$W_{i-j} = \frac{4 \cdot Q_{i-j}}{\pi \cdot d_{i-j}^2} \quad (2.5)$$

Из формулы Вейсбаха для местных сопротивлений находим коэффициент местного сопротивления запорной арматуры  $\zeta_{з.а.}$ :

$$\zeta_{i-j}^{з.а.} = \frac{\Delta h_{i-j} \cdot 2g}{W_{i-j}^2}, \quad (2.6)$$

где  $\Delta h_{i-j}^{з.а.} = h_{i-j}^{теор} - h_{i-j}$  - потери на запорной арматуре определяются по разности теоретического и действительного напоров.

По величине КМС запорной арматуры  $\zeta_{i-j}^{з.а.}$  и диаметру ответвления  $d_{i-j}$  подбираем тип запорной арматуры и степень ее открытия  $n_{i-j}$  (см. Приложение Д).

## 2.6 Расчет всасывающей магистрали

Диаметр трубопровода всасывающей магистрали  $d_{всас}$ , м. равен диаметру первого участка сети  $d_{1-2}$ , м. или диаметру всасывающей магистрали насоса  $d_{насос}^{ex}$ , м.

Потери напора во всасывающей магистрали  $h_{вс}$ , м. определяются формулой:

$$h_{вс} = h_{тр} + h_{кол} + h_{ф} + \frac{\alpha W^2}{2g} \quad (2.7)$$

где  $h_{тр}$  - потери на трение, м;

$h_{кол}$  - потери в колене, м;

$h_{ф}$  - потери на фильтре, м;

$\alpha$  - коэффициент Дарси ( $\alpha = 1,05$ );

$W$  – скорость воды во всасывающей магистрали.

Потери на трение  $h_{тр}$ , м определим по формуле:

$$h_{тр} = \frac{Q_{вс}^2}{K_{вс}^2} \cdot \ell_{вс} \quad (2.8)$$

где  $Q_{вс}$  - расход воды во всасывающей магистрали ( $Q_{вс} = Q_{1-2}$ );

$K_{вс}^2$  - квадрат модуля расхода для трубы всасывающей магистрали.

$\ell_{вс}$  - длина всасывающей магистрали, м.

Потери в колене  $\zeta_{к}$ , определим по формуле Вейсбаха:

$$h_{к} = \zeta_{к} \frac{W_{к}^2}{2g}, \quad (2.9)$$

где  $\zeta_{к}$  - коэффициент местного сопротивления колена;

$W_{к}$  - скорость воды в колене, м/с.

Определяем потери напора в фильтре

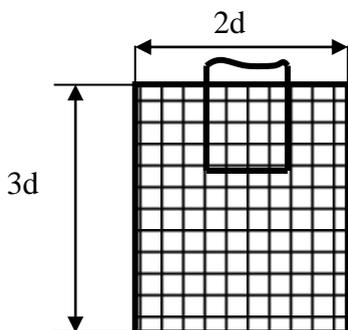


Рисунок 2.3 - Фильтр

Коэффициент местного сопротивления фильтра  $\zeta_\phi$  :

$$\zeta_\phi = 1,575 \frac{F_\phi}{F}, \quad (2.10)$$

где  $F_\phi$  - площадь фильтра, м<sup>2</sup>;

F – суммарная площадь отверстий фильтра, м<sup>2</sup>.

Определим площадь фильтра  $F_\phi$  м<sup>2</sup>,

$$F_\phi = \frac{\pi \cdot d^2}{4};$$

Определим площадь отверстий фильтра F м<sup>2</sup>,

$$F = m \cdot F_\phi, \quad (2.11)$$

где  $m = \frac{a^2}{t^2}$ ,

где a – размер ячейки сетки фильтра в "свету"

t – размер ячейки сетки фильтра по осям (шаг сетки).

(см. Приложение Д);

Определим скорость воды в фильтре  $W_\phi$ , м/с по уравнению:

$$W_\phi = \frac{Q_\Sigma}{F}, \quad (2.12)$$

где  $Q_\Sigma$  - суммарный расход воды, м<sup>3</sup>;

F – суммарная площадь отверстий фильтра, м<sup>2</sup>.

Потери на фильтре  $\zeta_\phi$ , определяем по формуле Вейсбаха.

## 2.7 Подбор насосов

Для обеспечения подачи жидкости по трубопроводу с заданным распределением расходов по участкам необходимо создать в начале трубопровода соответствующее давление. Это осуществляется путем установки в начале трубопровода водонапорной башни, либо насоса. Выбор марки насоса и его характеристики (см. Приложение Б).

Насос - устройство (гидравлическая машина, аппарат или прибор) для напорного перемещения (всасывания и нагнетания) жидкости в результате сообщения ей внешней энергии (потенциальной и кинетической). Основным параметром насоса - количество жидкости, перемещаемое в единицу времени, т.е. осуществляемая объемная подача  $Q$ . Для большинства насосов важнейшим техническим параметром является напор  $H$  - приращение удельной механической энергии жидкости, создаваемое насосом. Напор имеет линейную размерность и чаще всего измеряется в метрах водяного столба. Необходимая подача, т.е. расход жидкости, подаваемой насосом, определяется как расход жидкости на первом участке. Необходимый напор насоса определяется как высота столба жидкости, соответствующая разности между необходимым и имеющимся давлениями в начале трубопровода. Основная трудность при подборе насосов заключается в определении необходимого давления в начале трубопровода. Методика определения этого давления заключается в следующем:

Весь трубопровод делится на две части: на всасывающую линию (до насоса) и на нагнетающую, или напорную линию (от насоса). Напорных линий может быть несколько. Беря за плоскость сравнения произвольную горизонтальную плоскость и выбрав начальное и конечное сечения, записываются уравнения Бернулли для всасывающей и для напорной линий.

Откуда потребный напор насоса  $H_n$ :

$$H_n = \left( z_k + \frac{P_k}{\gamma} + \frac{V_k^2}{2g} \right) - \left( z_n + \frac{P_n}{\gamma} + \frac{V_n^2}{2g} \right) + h \quad (2.13)$$

где индекс "К" соответствует концу напорной линии, а индекс "Н" - началу всасывающей линии;  $P$  - потеря напора в трубопроводе.

Величина  $H_n$  определяется для каждого ответвления трубопровода и из всех значений  $H_{ni}$  выбирается

наибольшее. Далее выбор насосов производится по каталогу (Приложение 5). Прежде всего следует по сводному графику в каталог подобрать марку насоса, обеспечивающего  $H_n$  и  $Q$ . Структура сводного графика приведена на рисунке.

На этом графике криволинейные «четырёхугольник» изображают оптимальные участки главных характеристик насосов. Главной характеристикой насоса является зависимость  $H-Q$  между его напором и подачей. Положение этой кривой зависит для данного насоса от скорости вращения и от диаметра колеса. Если заводом-изготовителем насоса разрешается его эксплуатация в определенном диапазоне изменения скорости вращения и диаметра насоса, оптимальная область работы насоса ограничена соответствующими  $H-Q$  кривыми; соответствующими постоянному значению минимально допустимого КПД. Именно эти отрезки кривых  $H-Q$  и зоны работы насосов изображены на сводных графиках в каталогах. Для подбора насоса или насосов, обеспечивающих заданные условия работы трубопровода, поступают следующим образом. На сводном графике находят положение рабочей точки, координаты которой являются найденными значениями подачи и напора насоса.

В первом случае ( $Q_1, H_1$  на рис. 2.4) соответствует насос I. Во втором случае ( $Q_2, H_2$ ) из-за отсутствия насоса с требуемой подачей следует проверить существование насоса, обеспечивающего заданный напор  $H$  при подаче  $1/2 Q_2$ . В рассматриваемом случае этому условию соответствует насос II. Два таких насоса, включенных параллельно, обеспечат получение необходимых значений подачи  $Q_2$  и напора  $H_2$ .

Если не удастся отыскать насос II, продолжается поиск для значений подачи, равных  $1/3 Q_2, 1/4 Q_2 \dots$  до получения удовлетворительных результатов. В третьем случае ( $Q_3, H_3$ ) из-за отсутствия насоса с требуемым напором, следует проверить существование насоса, обеспечивающего заданную подачу  $Q_3$  при напоре  $1/2 H_3$  или  $1/3 H_3, 1/4 H_3 \dots$

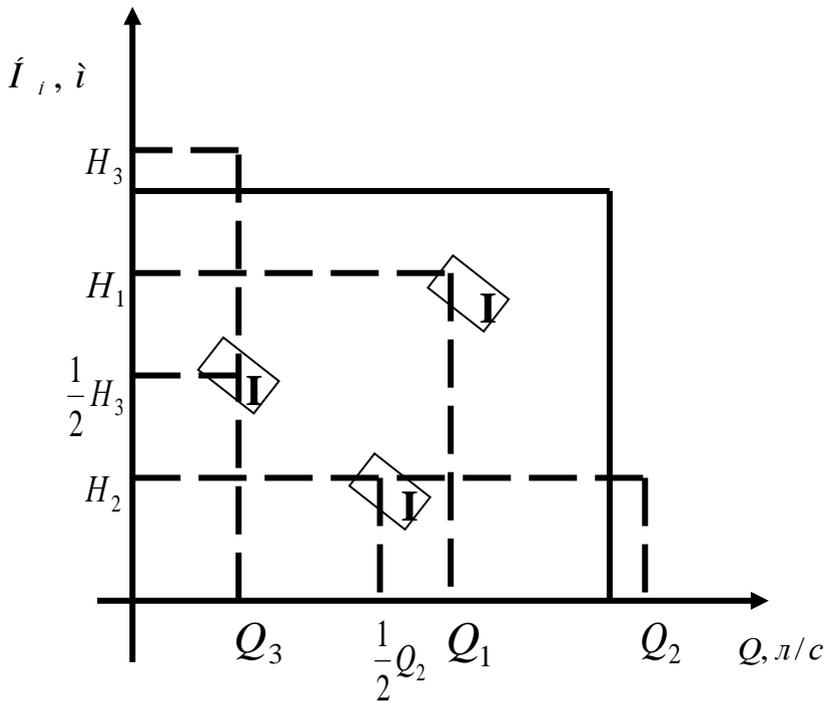


Рисунок 2.4

Если не удастся отыскать насос П, продолжается поиск для значений подачи, равных  $1/3 Q_2$ ,  $1/4 Q_2$  ... до получения удовлетворительных результатов. В третьем случае ( $Q_3, H_3$ ) из-за отсутствия насоса с требуемым напором, следует проверить существование насоса, обеспечивающего заданную подачу  $Q_3$  при напоре  $1/2 H_3$  или  $1/3 H_3$ ,  $1/4 H_3$  ...

Соответствующее количество насосов» включенных последовательно, обеспечит получение необходимых значений подачи  $Q_3$  и напора  $H_3$ . Для случая, показанного на рис. 2.4, два насоса, работающих последовательно, обеспечат получение заданных параметров. Насос считается подходящим

для обеспечения заданных условий работы проектируемого трубопровода, если одна из его главных характеристик проходит через требуемую рабочую точку или выше нее. Превышение напора не должно быть больше 5 %.

## 2.8 Определение высоты установки насоса над горизонтом воды

Вакуумметрическая высота всасывания  $V_0$ , м вод. Ст. выражается в метрах столба подаваемой жидкости, считая по показанию вакуумметра, отнесенному к оси насоса, и подсчитывается по следующему выражению:

$$V_0 = h_g + h_{m.g.} + \frac{V_g^2}{2g} + h_2, \quad (2.14)$$

где  $h_g$  - расстояние в метрах по вертикали от нижнего уровня до места присоединения к насосу трубки вакуумметра;

$h_{m.g.}$  - сумма потерь напора в подводящем (всасывающем) трубопроводе на трение и местные сопротивления, выраженная в м;

$V_B$  - скорость в м/сек в месте присоединения трубки вакуумметра;

$h_2$  - расстояние по вертикали от точки присоединения трубки вакуумметра до оси насоса.

В настоящем каталоге даны допустимые вакуумметрические высоты всасывания  $H_{\text{вак}}^{\text{дон}}$  для воды с температурой до 20<sup>0</sup> и при атмосферном давлении, равном 10 м вод. Ст.

При подаче насосом жидкости из закрытых резервуаров, где она находится под давлением собственных паров, насосы должны работать с подпором  $H_n$  (например, конденсатные и питательные насосы).

Величины подпоров на входном патрубке, отнесенные к оси насоса, указаны в каталоге в метрах столба подаваемой жидкости, сверх упругости ее паров.

Высота всасывания  $H_{\text{вак}}^{\text{доп}}$  соответствует определенной подаче  $Q$  насоса и определенному числу оборотов  $n$  в минуту и должна быть меньше или равна  $V_0$  по выражению для  $V_0$ .

Если насос предназначен для подачи жидкости при определенном давлении ее паров или будет установлен в местности, где атмосферное давление отличается от нормального, необходимо вводить поправки к указанным в каталоге величинам  $H_{\text{вак}}^{\text{доп}}$  для выбранного насоса.

Искомая  $H_{\text{вак.иск}}^{\text{доп}}$ , м вод. Ст. определится по зависимости

$$H_{\text{вак.иск}}^{\text{доп}} = H_{\text{вак}}^{\text{доп}} - 10 + H_{\text{б}} - h_{\text{н.ж.}} \quad (2.15)$$

где  $H_{\text{вак}}^{\text{доп}}$  - допустимая вакуумметрическая высота всасывания в м вод. Ст. по каталогу или полученная по зависимости;

$H_{\text{б}}$  - барометрическое давление в местности, где устанавливается насос, выраженное в метрах столба подаваемой жидкости при ее температуре;

$h_{\text{н.ж.}}$  - давление насыщенных паров подаваемой жидкости, выраженное в метрах столба этой жидкости при ее температуре.

Зависимость давления атмосферы от высоты над уровнем моря показана на рисунке 2.5 в метрах столба холодной воды.

Для жидкости с другим удельным весом барометрическое давление  $H_{\text{б.м.ст.жидк.}}$ , м вод. Ст. выраженной в метрах столба этой жидкости, определяется по зависимости:

$$H_{\text{б.м.ст.жидк.}} = H_{\text{б.м.вод.ст.}} \cdot \frac{1000}{\gamma_{\text{жидк}}} \quad (2.16)$$

где  $\gamma_{\text{жидк}}$  - вес единицы объема перекачиваемой жидкости в кг при ее температуре.

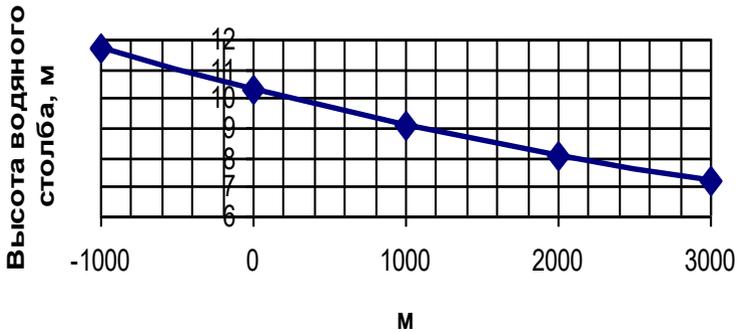


Рисунок 2.5 - Зависимость атмосферного давления, выраженного в м. Вод. Ст., от высоты над уровнем моря

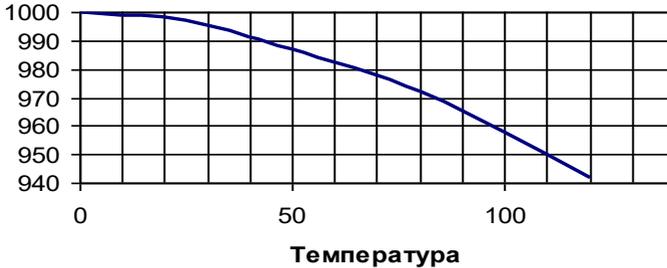


Рисунок 2.6 - Зависимость удельного веса воды от ее температуры

Технические данные насоса зависят от физических и химических свойств подаваемой им жидкости. Так, на допустимую высоту всасывания насоса влияют удельный вес  $\gamma$  жидкости и ее температура, а также упругость паров жидкости.

Зависимость удельного веса воды от температуры показана на рисунке 2.6.

Зависимость давления насыщенного водяного пара от температуры показана на рисунке 2.7 в м. вод. ст. соответствующей температуры.

Удельный вес жидкости не влияет на  $Q$  и  $H$ . Характеристика  $H$ - $Q$  насоса, в которой  $H$  выражено в м. ст. жидкости, а  $Q$  в м<sup>3</sup>/сек, действительна для любой жидкости. Мощность на валу насоса прямо пропорциональна удельному весу жидкости.

Вязкость жидкости и содержание в ней абразивных примесей влияют на развиваемый насосом напор, подачу, к.п.д. и высоту всасывания. Поэтому применение указанных в настоящем каталоге насосов для подачи жидкостей вязких и содержащих абразивные примеси, возможно, лишь по согласованию с заводом-изготовителем.

Поле  $Q$ - $H$ , перекрываемое одним насосом. Расширение области применения насоса при постоянном числе оборотов достигается:

а) для центробежных насосов всех типов – смещением рабочего режима по кривой  $H - Q$  и обточкой рабочего колеса по выходному диаметру и дополнительно для секционных центробежных насосов – изменением числа ступеней и формы каналов лопаточного отвода (направляющего аппарата);

б) для осевых (пропеллерных) насосов – смещением рабочего режима по кривой  $H - Q$  и изменением угла установки лопастей рабочего колеса.

Границы области применения, т.е. поля  $H - Q$  насоса, устанавливает завод-изготовитель.

На помещенных в настоящем каталоге рабочих характеристиках границы рекомендуемой (по подаче и напору) области применения насосов отмечены волнистыми линиями. Сплошные кривые  $H - Q$  относятся к рабочему колесу с нормальным выходным диаметром, пунктирные – к колесу,

обточенному по выходному диаметру. Диаметры тех и других колес указаны на характеристике.

Величины высот всасывания, указанные на характеристиках насосов и в таблицах технических данных, действительны при подаче насосами воды с температурой до  $20^0$  и при нормальном атмосферном давлении – 10 м вод. Ст. (735,5 мм рт. ст.). При подаче насосом воды или иной жидкости с более высокой температурой и при ином атмосферном давлении высоту всасывания или величину подпора следует определять, руководствуясь вышеприведенными указаниями и формулами.

Принимая во внимание возможные при работе колебания подачи насоса, рекомендуется уменьшать указанные в соответствующих таблицах и на характеристиках значения высот всасывания на 0,5 – 1,5 м.

В случае работы насоса при переменном геометрическом напоре  $H_g$ , когда подача насоса может уменьшаться и увеличиваться, насос необходимо устанавливать так, чтобы или высота всасывания была не больше или подпор не меньше их величин, соответствующих наибольшей подаче насоса, возможной в данной установке. На помещенных в настоящем каталоге рабочих характеристиках границы рекомендуемой (по подаче и напору) области применения насосов отмечены волнистыми линиями. Сплошные кривые  $H - Q$  относятся к рабочему колесу с нормальным выходным диаметром, пунктирные – к колесу, обточенному по выходному диаметру. Диаметры тех и других колес указаны на характеристике. Величины высот всасывания, указанные на характеристиках насосов и в таблицах технических данных, действительны при подаче насосами воды с температурой до  $20^0$  и при нормальном атмосферном давлении – 10 м вод. Ст. (735,5 мм рт. ст.). При подаче насосом воды или иной жидкости с более высокой температурой и при ином атмосферном давлении высоту

всасывания или величину подпора следует определять, руководствуясь вышеприведенными указаниями и формулами.

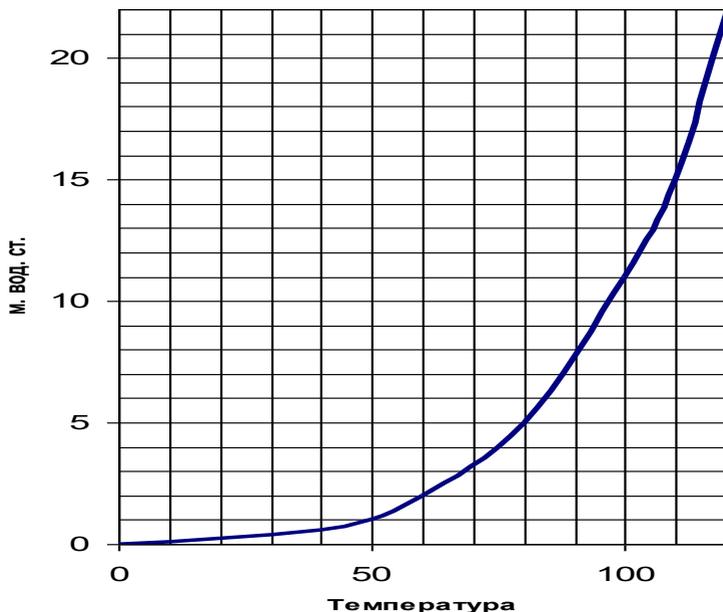


Рисунок 2.7 – Зависимость давления насыщенного водяного пара от температуры, выраженная в м. Вод. Ст. соответствующие температуры.

Принимая во внимание возможные при работе колебания подачи насоса, рекомендуется уменьшать указанные в соответствующих таблицах и на характеристиках значения высот всасывания на 0,5 – 1,5 м.

В случае работы насоса при переменном геометрическом напоре  $H_r$ , когда подача насоса может уменьшаться и увеличиваться, насос необходимо устанавливать так, чтобы или высота всасывания была не больше или подпор не меньше их величин, соответствующих наибольшей подаче насоса, возможной в данной установке.

### 3 Гидравлический расчет короткого трубопровода

Гидравлический расчет короткого трубопровода (рис. 3.1) состоит из определения суммарных потерь напора на трение и местных сопротивлених, длин начальных участков трубопроводов.

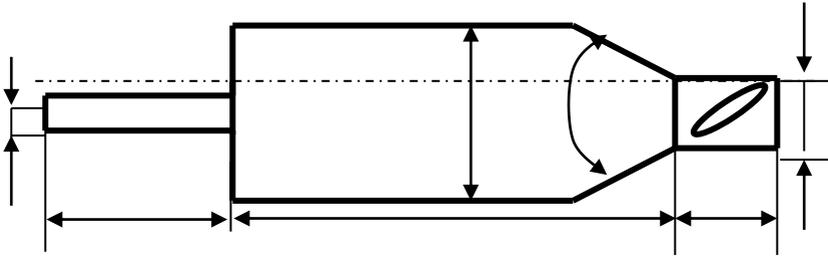


Рисунок 3.1 - Схема короткого трубопровода

#### 3.1 Расчет потерь напора на трение

Потери на трение на участках  $h_i$ , м. определяются по формуле Дарси-Вейсбаха:

$$h_{mpi} = \lambda_i \cdot \frac{\ell_i}{d_i} \cdot \frac{W_i^2}{2g}, \quad (3.1)$$

где  $W_i$  - скорость жидкости на участке, м/с;

$d_i$  - диаметр участка, м;

$\ell_i$  - длина участка, м.

$\lambda_i$  - коэффициент гидравлического трения, который зависит от числа Re и от безразмерной величины, характеризующей пограничную геометрию трубы.

Под пограничной геометрией следует понимать не только форму живого сечения, но и геометрические характеристики:

поверхности трубы – относительную шероховатость  $\bar{\Delta} = \frac{\Delta}{d}$

или относительную гладкость  $\frac{d}{\Delta}$ ,

где  $\Delta$  - средняя высота выступа шероховатости. Абсолютная шероховатость различных трубопроводов (см. Приложение Г).

Зависимость  $\lambda = f(\text{Re}, \Delta/d)$  впервые была установлена в опытах Никурадзе и Зегджи, выполненных для плотной, однородной, равномерной шероховатости из песка, сформированной на поверхности круглых труб. При этом были выведены четыре характерные области зависимости  $\lambda$  от  $\text{Re}$  и  $\Delta$ :

1. Область ламинарного течения ( $\text{Re} < 2300$ ). В этом случае справедлива формула Пуазейля

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}}; \quad (3.2)$$

2. Область гладкостенного режима течения и область гидравлически гладких труб ( $4000 \leq \text{Re} < 10 \frac{d}{\Delta}$ ). В этой области

вязкий подслой, в котором течение практически можно считать ламинарным, полностью закрывает выступы шероховатости стенки и движение турбулентного ядра потока происходит как бы в гладкой трубе. Для коэффициента гидравлического трения справедлива формула Блазиуса:

$$\lambda = \frac{0,3164}{\text{Re}^{0,25}}; \quad (3.3)$$

Здесь коэффициент  $\lambda$  зависит только от  $\text{Re}$ , однако граница области для каждой данной трубы зависит от  $\left(\frac{d}{\Delta}\right)$ ;

### 3. Область доквадратичного сопротивления

$\left(10 \frac{d}{\Delta} < Re < 500 \frac{d}{\Delta}\right)$ . Коэффициент  $\lambda$  рассчитывается по

формуле Альтшуля:

$$\lambda = 0,1 \cdot \left(1,46 \frac{\Delta}{d} + \frac{100}{Re}\right)^{0,25}; \quad (3.4)$$

### 4. Область квадратичного сопротивления $Re > 500 \frac{d}{\Delta}$ .

Коэффициент  $\lambda$  рассчитывается по зависимости Прандтля-Никурадзе:

$$\lambda = \frac{1}{\left(2 \cdot \ell g \frac{d}{\Delta} + 1,74\right)^2}. \quad (3.5)$$

Скорость жидкости  $W_i$ , м/с. на участке определим из уравнения неразрывности:

$$W_i = \frac{m}{\rho \cdot F_i}, \quad (3.6)$$

где  $\rho$  - плотность жидкости (см. Приложение В);

$F_i$  - площадь сечения трубы на участке, м<sup>2</sup>;

$m$  - массовый расход жидкости, кг/с.

Площадь сечения трубы  $F_i$ , м<sup>2</sup> на участке определит по формуле:

$$F_i = \frac{\pi d_i^2}{4} \quad (3.7)$$

Чтобы определить коэффициент Дарси необходимо выяснить, какой реализуется режим течения на данном участке. Найдем число Рейнольдса  $Re$ , по формуле:

$$Re_i = \frac{W_i \cdot d_i}{\nu}, \quad (3.8)$$

где  $\nu$  - кинетический коэффициент вязкости,  $\text{м}^2/\text{с}$ . (см. Приложение 3).

Суммарные потери напора  $H_{\Sigma}$ , м. на трение составят:

$$H_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n h_{\text{мп}i} \quad (3.9)$$

### 3.2 Определение потерь напора на местных сопротивлениях

Потери напора  $h_{mi}$ , м. на местном сопротивлении находим по формуле Вейсбаха:

$$h_{mi} = \zeta_{mi} \cdot \frac{w_i^2}{2g} \quad (3.10)$$

где  $\zeta_{mi}$  - коэффициент потерь на местном сопротивлении.

Рассчитывается для данного местного сопротивления (см. Приложение Д).

$w_i$  - скорость потока на местном сопротивлении, м/с.

Рассчитывается из уравнения неразрывности по входному или выходному сечению местного сопротивления в зависимости от типа местного сопротивления:

$$w_i = \frac{m}{\rho \cdot F_i} \quad (3.11)$$

где  $F_i$  - площадь входного или выходного сечения местного сопротивления.

Более подробную информацию о Коэффициентах местного сопротивления можно найти в учебном пособии: Фалеев В.В., Дроздов И.Г., Фалеев С.В. Гидравлические расчеты в теплоэнергетических системах: Учебное пособие. Воронеж: Издательство ВГТУ, 2000.

Суммарные потери напора  $H_{\text{м}\Sigma}$ , м. на местных

сопротивлениях 
$$H_{\text{м}\Sigma} = \sum_{i=1}^n h_{mi} \quad (3.12)$$

### 3.3 Начальные участки труб

На входе в трубу или канал образуется динамический пограничный слой, толщина которого на входном сечении равна нулю, а затем по мере удаления от входного сечения постепенно нарастает. На некотором расстоянии от входного сечения  $l_H$  динамический пограничный слой увеличивается настолько, что он заполняет все сечение трубы (канала). Если процесс течения рабочей среды является изотермическим, то профиль скорости в сечении трубы или канала, после того как динамические пограничные слои сомкнулись, практически не изменяется и остается постоянным (рис.3.2). Расстояние  $l_H$ , на котором происходит смыкание динамических пограничных слоев, называется длиной начального участка (длиной динамической стабилизации потока).

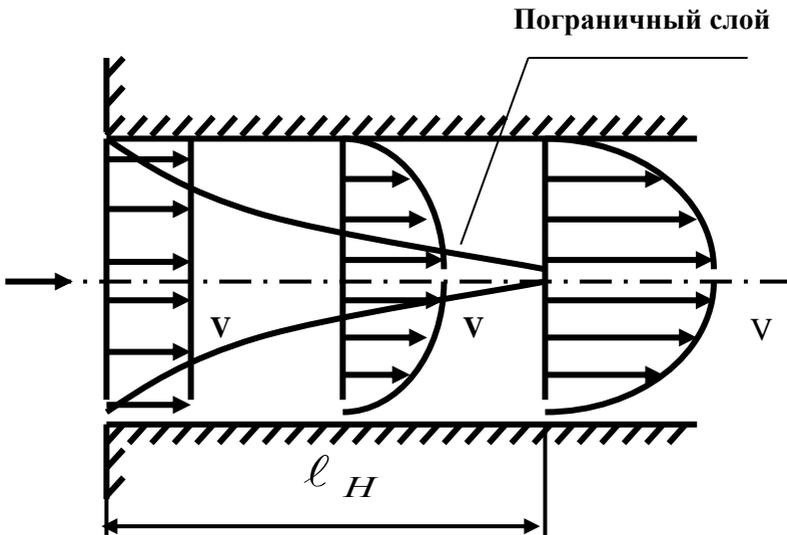


Рисунок 3.2

Стабилизация течения при возникновении турбулентности на входной кромке трубы наступает на расстоянии

$$l_n \geq 0,6dR_e^{0,25} \quad (5 \cdot 10^4 < R_e < 1,2 \cdot 10^5) \quad (3.13)$$

Если же организован плавный вход, то развивается ламинарный пограничный слой и в диапазоне чисел Рейнольдса  $10^4 < R_e < 5 \cdot 10^4$  можно использовать соотношение

$$l_n = 4,5 \cdot 10^5 d R_e^{-1}. \quad (3.14)$$

Формулы (3.13) и (3.14) справедливы при использовании течений жидкости и газа на начальном участке.

Для вполне шероховатых круглых труб справедлива формула Г.В.Филиппова

$$l_n = 2,45d\lambda^{-0,5}, \quad (3.15)$$

где  $\lambda$  - коэффициент гидравлического трения для стабилизированного течения в трубе.

Эта формула справедлива для гидравлических гладких труб и в переходной области турбулентного режима.

Коэффициент гидравлического трения начального участка трубы (канала) больше, чем той части трубы (канала), где течение стабилизировалось.

Для ламинарного изотермического течения

$$\lambda = 64R_e^{-1} + 1,41(d/l_n). \quad (3.16)$$

При турбулентном течении на начальном участке прямой трубы  $15d \leq l \leq 70d$

$$\lambda = 0,5R_e^{-0,25}(l/d)^{-0,09}. \quad (3.17)$$

На начальном участке ( $l < l_n$ )

$$\lambda = \lambda_0(l_n/l)^{0,2}, \quad (3.18)$$

где  $l_n$  определяется по формуле (3.13).

### 3.4 Суммарные потери напора в трубопроводе

Суммарные потери напора  $H_{\Sigma}$ , м. в трубопроводе складываются из потерь на трение и местных сопротивлений

$$H_{\Sigma} = H_{тр\Sigma} + H_{м\Sigma} \quad (3.19)$$

Если  $H_{м\Sigma} \leq 0,05H_{\Sigma}$ , то трубопровод считается гидравлически длинным, в противном случае – гидравлически коротким.

## 4 Газодинамический расчет сопла Лавалья

### 4.1 Постановка задачи

Необходимо провести газодинамический расчет сопла Лавалья, обеспечивающего на расчетном режиме требуемый расход газа с заданными параметрами торможения. При этом скорость газа на выходе из сопла  $W_{вых}$  определяется давлением на срезе сопла  $P_{среза}$  со стороны атмосферы, а скорость газа на входе в сопло  $W_{вх}$  определяет параметры дозвуковой части (см. рис. 4.1).

Расчетным режимом работы считается тот, при котором в критической части сопла Лавалья достигнуты критические параметры газа.

В любом сечении сопла Лавалья газовый поток обладает следующими параметрами:  $P_i$  - давление;  $T_i$  - температура;  $\rho_i$  - плотность;  $a_i$  - скорость звука;  $W_i$  - скорость потока;  $\lambda_i$  - коэффициент скорости;  $M_i$  - число Маха.

В исходных условиях задана только часть параметров в отдельных сечениях. Требуется, используя соотношения газовой динамики, рассчитать недостающие параметры во входном, критическом, выходном и дополнительных А, В, С, D сечениях.

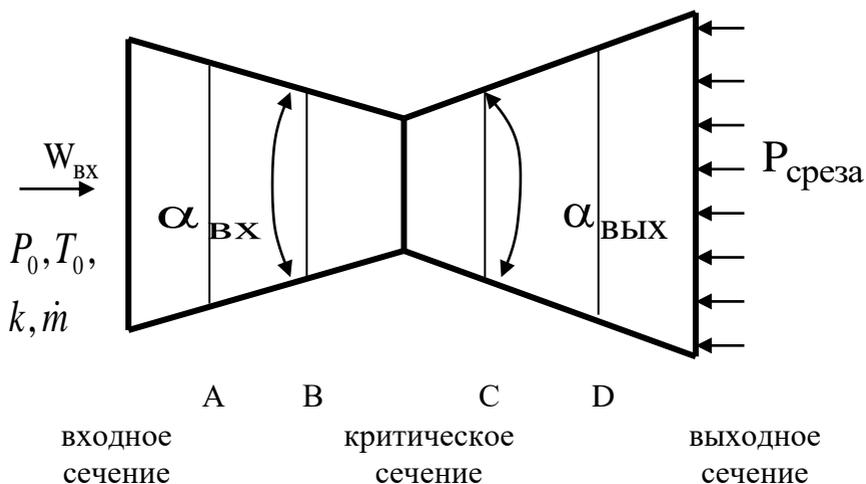


Рисунок 4.1 - Сопло Лавалья

Общая методика заключается в следующем:

1. Восстанавливают недостающие параметры торможения;
2. Рассчитывают критические параметры;
3. Определяют входные параметры по входной скорости  $W_{вх}$ ;
4. По давлению на срезе сопла  $P_{среза}$  определяют выходные параметры;
5. Определяют параметры в дополнительных сечениях А, В, С, D задаваясь скоростью в сечениях.
6. Проводят геометрический расчет сопла по углам раствора входной и выходной части.
7. Результаты расчетов сводят в таблицу и строят графики распределения параметров по длине сопла Лавалья.

При расчете сопла Лавалья пользуются следующие соотношения газовой динамики. Скорость звука  $a$ , м/с. текущая

$$a_i = \sqrt{kRT_i} \quad (4.1)$$

где  $k$  - показатель адиабаты;

$R$  - газовая постоянная (Приложение Е);

$T_i$  - температура в  $i$  сечении, К.

Уравнение Клапейрона

$$\frac{P_i}{\rho_i} = RT_i \quad (4.2)$$

Уравнение неразрывности для массового расхода  $m$ :

$$\dot{m} = \rho_i W_i F_i, \quad (4.3)$$

где  $F_i$  - площадь сечения, м<sup>2</sup>.

Число Маха  $M$ :

$$M_i = \frac{W_i}{a_i} \quad (4.4)$$

Коэффициент скорости  $\lambda_i$  :

$$\lambda_i = \frac{W_i}{a_{кр}} \quad (4.5)$$

где  $a_{кр}$  - скорость звука в критическом сечении, м/с

Газодинамические функции давления:

$$\pi(\lambda) = \frac{P_i}{P_0} = \left(1 - \frac{k-1}{k+1} \lambda_i^2\right)^{\frac{k}{k-1}} \quad (4.6)$$

Температуры

$$\tau(\lambda) = \frac{T_i}{T_0} = \left(1 - \frac{k-1}{k+1} \lambda_i^2\right)^1 \quad (4.7)$$

плотности

$$\varepsilon(\lambda) = \frac{\rho}{\rho_0} = \left(1 - \frac{k-1}{k+1} \lambda_i^2\right)^{\frac{1}{k-1}}, \quad (4.8)$$

где  $P_0$  Па,  $T_0$  К,  $\rho_0$  кг/м<sup>3</sup> - давление, температура и плотность заторможенного потока соответственно.

## 4.2 Расчет параметров торможения

По известным параметрам торможения давлению  $P_0$  и температуре  $T_0$  определяем плотность  $\rho_0$  из уравнения Клапейрона (4.2) и скорость звука  $a_0$  по зависимости (4.1).

## 4.3 Расчет параметров газа в критическом сечении

Критическое сечение рассчитывается из условий достижения критической скорости потока, равной скорости звука  $W_{кр} = a_{кр}$ , откуда следует, что коэффициент скорости  $\lambda_{кр} = 1$ , число Маха  $M_{кр} = 1$ . Используя газодинамические функции (4.6 – 4.8) находим критическое давление  $P_{кр}$ , температуру  $T_{кр}$  и плотность  $\rho_{кр}$ . Из (4.1) определяем критическую скорость звука  $a_{кр}$  и скорость потока  $W_{кр}$ . С помощью уравнения неразрывности (4.3) находим площадь критического сечения  $F_{кр}$  и диаметр  $d_{кр}$ .

## 4.4 Расчет параметров газа во входном сечении

По заданной скорости газа на входе в сопло  $W_{вх}$  находят значения коэффициентов скорости  $\lambda_{вх}$  и числа Маха  $M_{вх}$  по (4.4 – 4.5). Далее из газодинамических функций (4.6 – 4.8) определяют входные давление  $P_{вх}$ , температуру  $T_{вх}$  и плотность  $\rho_{вх}$ .

## 4.5 Расчет параметров газа в выходном сечении

В выходном сечении необходимо соблюсти условия равенства давлений на выходе  $P_{вых}$  и срезе сопла  $P_{среза}$  (внешнего давления окружающей среды). Для этого из (4.6) выражаем коэффициент скорости на выходе  $\lambda_{вых}$  через давление  $P_{вых}$ . Далее из (4.5) находим скорость на выходе  $W_{вых}$ , а из (4.4) число Маха  $M_{вых}$ . Используя газодинамические функции (4.7, 4.8), определяем температуру  $T_{вых}$  и плотность  $\rho_{вых}$  на выходе. С помощью уравнения неразрывности (4.3) находим площадь выходного сечения  $F_{вых}$  и диаметр  $d_{вых}$ .

## 4.6 Расчет параметров газа в дополнительных сечениях

Зададимся значением скорости газа в дополнительных сечениях А, В. Для этого разобьем промежуток скоростей между входным и критическим сечениями на три равных интервала и присвоим полученные значения скоростям в сечении А и В -  $W_A$  и  $W_B$  соответственно. Аналогично поступим для сечений С и D, только разбивать будем промежуток скоростей между критическим и выходным сечениями.

Далее по известной скорости в сечении А  $W_A$  находим значения коэффициента скорости  $\lambda_A$  и числа Маха  $M_A$  по (4.4 – 4.5). Затем из газодинамических функций (4.6 – 4.8) определяем давление  $P_A$ , температуру  $T_A$  и плотность  $\rho_A$  в сечении А, с помощью уравнения неразрывности (4.3) находим площадь сечения  $F_A$  и диаметр  $d_A$ .

Для сечений В, С и D расчет проводим аналогично.

## 4.7 Геометрический расчет сопла

Геометрический расчет сопла заключается в определении длин входной части  $l_{\text{вх}}$  и выходной части  $l_{\text{вых}}$ . Расчет ведем по известным диаметрам на входе  $d_{\text{вх}}$ , в критике  $d_{\text{кр}}$  и выходе  $d_{\text{вых}}$ , а так же углы раствора входной  $\alpha_{\text{вх}}$  и выходной  $d_{\text{вых}}$  частей сопла Лавала. Результаты газодинамического и геометрического расчетов сводятся в таблицу по форме и представляются в виде графиков.

Таблица 4.1 - Результаты расчета

	P, МПа	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	T, К	W, м/с	$\alpha$ , м/с	$\lambda$	M	F, м <sup>2</sup>	d, м
Вход									
Сеч. А									
Сеч. В									
Критика									
Сеч. В									
Сеч. Г									
Выход									
Парам. тормож.									

## 5 Примечание

По окончании всех расчетов, необходимо предоставить результаты работы на одном плакате формата А1. При расчете разветвленного трубопровода - начертить пьезометрический график, при расчете короткого трубопровода – его схему, при расчете сопла Лавала – основные характеристики всех полученных значений, взятых из таблицы конечных результатов, в виде графика в зависимости от характеристики сопла.

Спецвопрос - оформить в надлежащем виде, в количестве не менее 6 печатных листов, используя формулы и графики.

## Список литературы

1. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. / Л.Г. Лойцянский. М.: Дрофа, 2003. 840 с.
2. Фалеев В.В. Гидравлические расчеты в теплоэнергетических системах: учеб. пособие / В.В. Фалеев, И.Г. Дроздов, С.В. Фалеев. - Воронеж: ВГТУ, 2000. 109 с.
3. Альтшуль А.Д. Гидравлические сопротивления. / А.Д. Альтшуль. 2-е изд. - М.: Недра, 1982. - 223 с.
4. Самойлович Г.С. Сборник задач по гидроаэромеханике: учеб. пособие / Г.С. Самойлович. В.В, Нитусов. - М.: Машиностроение, 1986. - 162 с.
5. Теплофизические свойства веществ: справочник. - М.: Энергоиздат, 1982. - 406 с.
6. СТП ВГТУ 62-2007. Текстовые документы (курсовые работы (проекты), рефераты, отчеты по лабораторным работам, курсовые работы). Правила оформления. - Воронеж: ВГТУ, 2007. – 53 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Значения модулей расхода круглых труб для квадратичной области и диаметры труб

d, мм	Новые стальные			Нормальные		
	$K$ , л/с	$K^2$ /1000	$1000/K^2$	$K$ , л/с	$K^2$ /1000	$1000/K^2$
<b>50</b>	8,313	0,0691	14,482	9,948	0,0989	10,111
<b>75</b>	24,77	0,6136	1,6297	29,27	0,8567	1,1682
<b>100</b>	53,61	2,874	0,34795	62,85	3,950	0,25316
<b>125</b>	97,39	9,485	0,10543	113,5	12,885	0,07763
<b>150</b>	158,4	25,091	0,03985	183,9	33,819	0,02958
<b>200</b>	340,8	116,15	0,00861	393,0	154,45	0,00647
<b>250</b>	616,4	379,0	0,00263	707,6	500,70	0,00200
<b>300</b>	999,03	998,6	0,00100	1143	1306	$0,766 \times 10^{-3}$
<b>350</b>	1503	2259	$0,443 \times 10^{-3}$	1715	2941	$0,340 \times 10^{-3}$
<b>400</b>	2140	4580	$0,218 \times 10^{-3}$	2435	5929	$0,169 \times 10^{-3}$
<b>450</b>	2920	8526	$0,117 \times 10^{-3}$	3316	10996	$0,909 \times 10^{-4}$
<b>500</b>	3857	14876	$0,672 \times 10^{-4}$	4374	19132	$0,523 \times 10^{-4}$
<b>600</b>	6239	98925	$0,57 \times 10^{-4}$	7053	49745	$0,201 \times 10^{-4}$
<b>700</b>	9362	87647	$0,114 \times 10^{-4}$	10560	111514	$0,897 \times 10^{-4}$
<b>800</b>	13301	176918	$0,565 \times 10^{-5}$	14983	224191	$0,446 \times 10^{-5}$
<b>900</b>	18129	328661	$0,304 \times 10^{-5}$	20373	415059	$0,241 \times 10^{-5}$
<b>1000</b>	23911	571736	$0,175 \times 10^{-5}$	26832	719956	$0,139 \times 10^{-5}$
<b>1100</b>	30709	943043	$0,106 \times 10^{-5}$	34416	1184461	$0,844 \times 10^{-6}$
<b>1200</b>	38601	1490037	$0,671 \times 10^{-6}$	43211	1867191	$0,536 \times 10^{-6}$
<b>1300</b>	47604	2266140	$0,441 \times 10^{-6}$	53232	2833646	$0,353 \times 10^{-6}$
<b>1400</b>	57807	3341649	$0,299 \times 10^{-6}$	64581	4170705	$0,24 \times 10^{-6}$

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

### Таблица насосов

№ п/п	Марка насоса	Подача, Q		Полный напор, Н, м	Допустимая вакуумметрическая высота всасывания
		в м <sup>3</sup> /час	в л/сек		
1	1 ½К –6 и Е1 ½КМ-6	6	1,6	20,3	6,6
		11	3,0	17,4	6,7
		14	3,9	14	6,0
2	1 ½К – 6а	5	1,4	16	6,5
		9,5	2,6	14,2	6,9
		13,5	3,8	11,2	6,1
3	1 ½К – 6б	4,5	1,3	12,8	6,4
		9	2,5	11,4	7,0
		13	3,6	8,8	6,3
4	2К-6а и 2КМ-6а	10	2,8	28,5	8,7
		20	5,5	25,2	7,2
		30	8,3	20	5,7
5	2К-6б и 2КМ-6б	10	2,8	22,0	8,7
		20	5,5	18,8	7,2
		25	6,9	16,4	6,6
6	2К-9 и У2КМ-9	11	3	21	8
		20	5,5	18,5	6,8
		22	6,1	17,5	6,4
7	2К-9а	10	2,8	16,8	8,1
		17	4,7	15	7,3
		21	5,8	13,2	6,6
8	2К-9б	10	2,8	13	8,1
		15	4,2	12	7,6
		20	5,5	10,3	6,8
9	3К-6 и 3КМ-6	30	8,3	62	7,7
		45	12,5	57	6,7
		60	16,7	50	5,6
		70	19,5	44,5	4,7
10	3К-6а и 3КМ-6а	30	8,3	45	7,5
		40	11,1	41,5	7,1
		50	13,9	37,5	6,4
		65	18	30,0	5,3
11	3К-9	30	8,3	34,8	7
		45	12,5	31	6
		54	15	27	2,9
12	3К-9а	25	7	24,2	7
		35	9,7	22,5	6,9
		45	12,5	19,5	6,0
13	4К-6 и 4КМ-6	90	25	91	6,2
		115	32	81	5,1
		135	37,5	72,5	4
14	4К-6а и 4КМ-6а	65	18,0	82,0	7,1
		85	23,6	76,0	6,4
		105	29,2	69,5	5,5
		125	34,7	61,6	4,6

Продолжение приложения Б

№ п/п	Марка насоса	Подача, Q		Полный напор, Н, м	Допустимая вакуумметрическая высота всасывания
15	4К-8 и 4КМ-8	70	19,4	59	5,3
		90	25	54,9	5
		109	30,4	47,8	4
		120	33,4	43	3,8
16	4К-8а и 4КМ-8а	90	25	43	5
		109	30,4	36,8	4
17	4К-12 и 4КМ-12	65	18	37,7	6,7
		90	25	34,6	5,8
		120	33,3	28	3,3
18	4К-12а и 4КМ-12а	60	16,7	31,6	6,9
		85	23,6	28,6	6
		110	23,3	23,3	4,5
19	4К-18	60	16,7	25,7	5,4
		80	22,2	22,8	5,3
		100	27,8	18,9	4,2
20	4К-18а	50	13,9	20,7	5,4
		70	19,5	18,2	5,3
		90	25,0	14,3	5,2
21	6К-8 и 6КМ-8	110	30,6	36,5	6,6
		140	38,8	35,9	6,3
		170	47,2	32,5	5,9
		190	52,8	31	5,4
22	6К-8а и 6Ль-8а	110	30,6	30,5	6,6
		140	38,8	28,6	6,3
		170	47,2	25,8	5,9
23	6Л-86 и 6КМ-86	110	30,6	24,4	6,6
		140	38,8	22	6,3
		180	50	18	5,9
24	6К-12 и 6КМ-12	110	30,6	22,7	8,5
		160	44,5	20,1	7,9
		200	55,6	17,1	7
25	6К-12а и 6КМ-12а	95	26,4	17,8	8,6
		150	41,7	15	8
		180	50	12,6	7,6
26	8К-12 и 8Км-12	220	61,1	32	6,5
		280	77,8	29,4	5,6
		340	94,5	25,4	4,7
27	8К-12а и 8КМ-12а	200	55,6	26	6,7
		250	69,5	24	6,1
		290	80,5	21,8	5,5
28	8К-18 и 8КМ-18	220	61	20,7	6,2
		285	79,1	18,9	5,5
		360	100	15	5
29	8К-18а и 8КМ-18а	200	55,5	17,5	6,5
		260	72,2	15,7	5,7
		320	89	12,7	5,2

## ПРИЛОЖЕНИЕ В

### Физические свойства жидкостей

Наименование жидкости	$t, ^\circ\text{C}$	$\rho,$ $\text{кг/м}^3$	$\mu,$ $\text{Па}\cdot\text{с}\cdot 10^3$	$\nu, \text{м}^2\cdot\text{с}\cdot 10^6$
Вода	0	999,87	1,792	1,792
	10	999,73	1,306	1,306
	20	998,23	1,004	1,006
	30	995,67	0,802	0,805
	40	992,24	0,654	0,659
	50	998,07	0,549	0,556
Бензин	15	680-740	0,650	0,930
Спирт этиловый		790	1,190	1,540
Ртуть		13546,5	1,540	0,110
Керосин		790-820	2,170	2,700
Масло трансформаторное	90	887	27,50	31
Масло турбинное	90	898	86	48

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

### Абсолютная шероховатость $\Delta_9$ труб и каналов

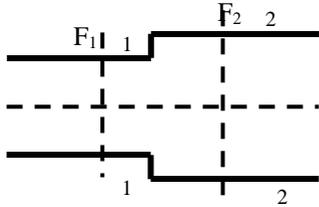
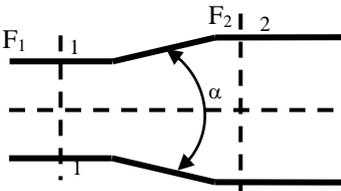
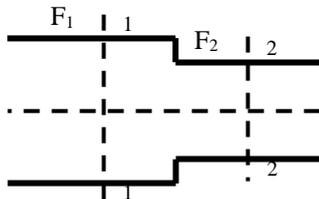
Характеристика поверхности труб и каналов	$\Delta_9$ , мм
<b>1. Цельнотянутые трубы</b>	
Технические гладкие из латуни, меди, свинца	0,0015-0,0100
Новые стальные	0,020 – 0,10
Стальные, очищенные после многих лет эксплуатации	До 0,040
Стальные водяные системы отопления	0,020
Стальные нефтепроводы для средних условий эксплуатации	0,020
Стальные водопроводные, находящиеся в эксплуатации	1,20
<b>2. Цельносварные стальные трубы</b>	
Новые или старые в лучшем состоянии, сварные или клепанные соединения	0,04 – 0,10
Новые битумизированные	0,05
Бывшие в эксплуатации	0,10 – 0,15
Изнутри покрытие лаком, но не свободные от окисления, загрязненные в процессе эксплуатации на воде, но не корродированные	0,95 – 1,00
С двойной поперечной клепкой, некорродированные; загрязненные в процессе эксплуатации на воде	1,20 – 1,50
С двойной поперечной клепкой, сильно корродированные	2,0
Со значительными отложениями	2,0 – 4,0
<b>3. Клепанные стальные трубы</b>	
Клепанные вдоль и поперек по одному ряду заклепок; изнутри покрытые лаком; хорошее состояние поверхности	0,30 – 0,40
С двойной продольной клепкой и простой поперечной клепкой; изнутри покрытые лаком или без лака, но некорродированные	0,60 – 0,70
С простой поперечной и двойной продольной клепкой; изнутри просмоленные	1,20 – 1,30

Продолжение приложения Г

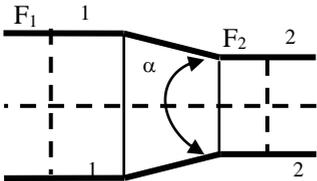
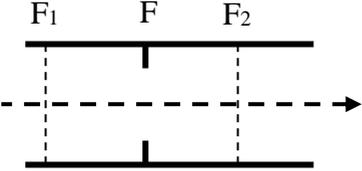
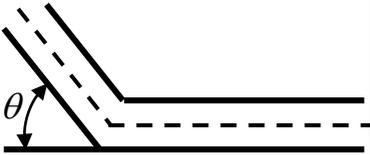
Характеристика поверхности труб и каналов	$\Delta_{\rho}$ , мм
С четырьмя- шестью продольными рядами клепки; длительное время в эксплуатации	2,0
С четырьмя поперечными и шестью продольными рядами клепки; соединения изнутри перекрыты	4,0
<b>4. Оцинкованные стальные трубы</b>	
Чистая оцинковка, новые трубы	0,07 – 0,10
Обычная оцинковка, новые трубы	0,10 – 0,15
<b>5. Трубы, оцинкованные из листовой стали</b>	
Новые	0,15
Бывшие в эксплуатации на воде	0,18
<b>6. Чугунные трубы</b>	
Новые	0,25 – 1,00
Новые битумизированные	0,10 – 0,15
Асфальтированные	0,12 – 0,30
Водопроводные, бывшие в эксплуатации	1,4
Бывшие в эксплуатации, корродированные	1,0 – 1,5
С отложениями	1,0 – 1,5
Со значительными отложениями	2,0 – 4,0
Очищенные после многолетней эксплуатации	0,3 – 1,5
Сильно корродированные	До 3,0
<b>7. Бетонные, цементные и другие трубы</b>	
Бетонные трубы при хорошей поверхности с затиркой	0,3 – 0,8
Бетонные трубы при среднем качестве работ	2,5
Бетонные трубы с грубой (шероховатой) поверхностью	3,0 – 9,0
Железобетонные трубы	2,5
Асбоцементные трубы, новые	0,05 – 0,10
Асбоцементные трубы, бывшие в эксплуатации	0,60
Цементные трубы при сглаженной поверхности	0,3 – 0,8
Цементные Трубы при необработанной поверхности	1,0 – 2,0
Цементные труб с несглаженным цементным раствором в местах соединений	1,9 – 6,4

## ПРИЛОЖЕНИЕ Д

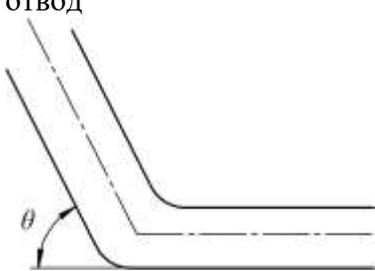
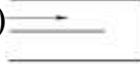
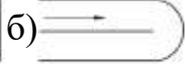
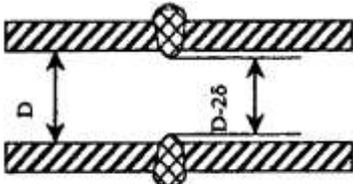
### Таблица КМС

Наименование местного сопротивления	Коэффициент местного сопротивления (КМС)																
<p>Внезапное расширение потока</p> 	$\xi_1 = \left(1 - \frac{F_1}{F_2}\right)^2 \cdot (\text{Re}_1 > 10^4)$ <p><math>\xi_1</math> - отнесено к средней скорости перед сопротивлением;  <math>\xi_2</math> - отнесено к средней скорости за сопротивлением</p>																
<p>Плавное расширение (диффузор)</p>  <p><math>n = \frac{F_1}{F_2}</math></p>	$\xi = \frac{\lambda}{8 \sin \frac{\alpha}{2}} \left(1 - \frac{1}{n^2}\right) + k \left(1 - \frac{1}{n}\right)^2$ <table border="1" style="margin-top: 10px; width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td><math>\alpha^0</math></td> <td>8</td> <td>10</td> <td>12</td> <td>15</td> <td>20</td> <td>25</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>k</td> <td>0.1</td> <td>0.2</td> <td>0.2</td> <td>0.3</td> <td>0.4</td> <td>0.6</td> <td>0.9</td> </tr> </table>	$\alpha^0$	8	10	12	15	20	25	60	k	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.6	0.9
$\alpha^0$	8	10	12	15	20	25	60										
k	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.6	0.9										
<p>Внезапное сужение потока</p> 	$\xi_2 = 0,5 \left(1 - \frac{F_2}{F_1}\right)$																

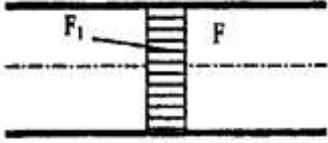
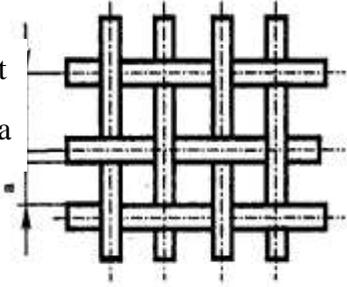
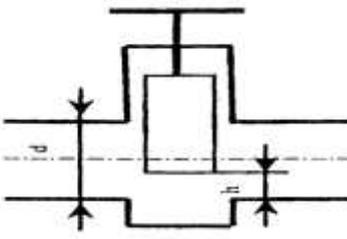
Продолжение приложения Д

Наименование местного сопротивления	Коэффициент местного сопротивления (КМС)												
<p>Плавное сужение (конфузор)</p>  <p><math>n = \frac{F_1}{F_2}</math></p>	$\xi = \frac{\lambda}{8 \sin \frac{\alpha}{2}} \left( 1 - \frac{1}{n^2} \right) + k \left( 0.5 \left( 1 - \frac{1}{n} \right) \right)$ <table border="1" data-bbox="549 451 999 517"> <tr> <td><math>\alpha^\circ</math></td> <td>0</td> <td>12</td> <td>20</td> <td>40</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>k</td> <td>0,80</td> <td>0,40</td> <td>0,24</td> <td>0,18</td> <td>0,20</td> </tr> </table>	$\alpha^\circ$	0	12	20	40	60	k	0,80	0,40	0,24	0,18	0,20
$\alpha^\circ$	0	12	20	40	60								
k	0,80	0,40	0,24	0,18	0,20								
<p>Диафрагма в трубе постоянного сечения</p> 	$\xi = \left( 1 + \frac{0,707}{\sqrt{1 - \frac{F}{F_1}}} \right)^2 \cdot \left( \frac{F}{F_1} - 1 \right)^2$												
<p>Колено без закруглений</p> 	$\xi_2 = 0,95 \sin^2 \frac{\theta}{2} + 2,05 \sin^4 \frac{\theta}{2}$ <p>(<math>Re &gt; 2 \cdot 10^5</math>)</p>												
<p>Крестовины: а) на проходе; б) на повороте.</p>	<p>а) <math>\xi = 2,0</math> б) <math>\xi = 3,0</math></p>												

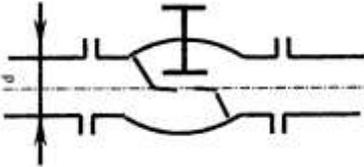
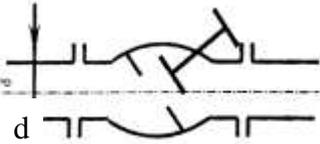
Продолжение приложения Д

Наименование местного сопротивления	Коэффициент местного сопротивления (КМС)										
<p>Закругленное колено, отвод</p> 	$\xi_2 = a \left( 0,05 + 0,19 \frac{d}{R} \right)$ <p>а) <math>\theta &lt; 90^\circ</math> <math>a = \sin \theta</math>  б) <math>\theta &gt; 90^\circ</math></p> $a = 0,7 + 0,35 \frac{\theta}{90^\circ}$										
<p>Сегментное колено (5-6 звеньев)</p> 	$\xi_2 = 0,008 \cdot \theta^{0,75} \left( \frac{d}{R} \right)^{0,6}$										
<p>Колена</p> <p>а)  б) </p> <p>в)  г) </p>	<table border="1" data-bbox="549 954 1016 1054"> <thead> <tr> <th>Вид</th> <th>а</th> <th>б</th> <th>в</th> <th>г</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td><math>\xi_2</math></td> <td>4,01</td> <td>4,51</td> <td>2,705</td> <td>0,996</td> </tr> </tbody> </table>	Вид	а	б	в	г	$\xi_2$	4,01	4,51	2,705	0,996
Вид	а	б	в	г							
$\xi_2$	4,01	4,51	2,705	0,996							
<p>Сварные стыки в трубах</p> 	$\xi_2 = 13,8 \left( \frac{\delta}{D} \right)^{1,5}$										

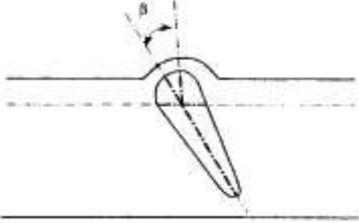
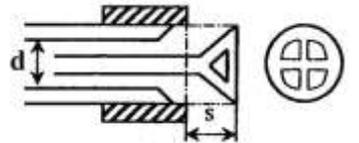
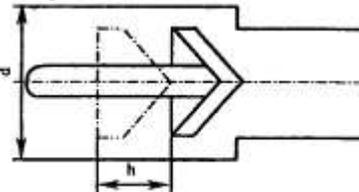
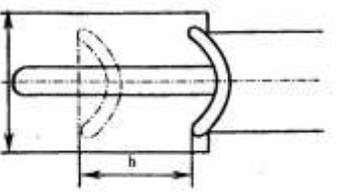
Продолжение приложения Д

Наименование местного сопротивления	Коэффициент местного сопротивления (КМС)																																																	
<p>Решетка внутри канала (отверстия с острыми краями)</p> 	$\xi_2 = \left( \frac{F}{F_1} - 1 + 0,707 \frac{F}{F_1} \sqrt{1 - \frac{F_1}{F}} \right)^2$																																																	
<p>Сетчатые фильтры: а) на входных отверстиях труб; б) сетка с квадратными ячейками</p> 	<p>а) <math>\xi_2 = (0,675 + 1,575) \cdot \frac{F_1}{F}</math>  F - суммарная площадь отверстий сетки;</p> <p>б)</p> $\xi_2 = \frac{92 - 78m}{Re} + 0,7(1,05 - m),$ $Re = \frac{v_1 a}{\nu};$ $v_1 = \frac{v}{m}$																																																	
<p>Задвижка</p> 	<p>Значения <math>\xi(d, n) \quad n = \frac{h}{d}</math></p> <table border="1" data-bbox="548 1157 991 1412"> <thead> <tr> <th>d, n</th> <th>1</th> <th>3/4</th> <th>1/2</th> <th>3/8</th> <th>1/4</th> <th>1/8</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>25</td> <td>0.23</td> <td>0.90</td> <td>4.1</td> <td>9.0</td> <td>32</td> <td>230</td> </tr> <tr> <td>50</td> <td>0.16</td> <td>0.68</td> <td>3.0</td> <td>6.5</td> <td>20</td> <td>140</td> </tr> <tr> <td>100</td> <td>0.14</td> <td>0.55</td> <td>2.8</td> <td>5.5</td> <td>16</td> <td>92</td> </tr> <tr> <td>150</td> <td>0.12</td> <td>0.49</td> <td>2.4</td> <td>5.3</td> <td>14</td> <td>73</td> </tr> <tr> <td>200</td> <td>0.10</td> <td>0.46</td> <td>2.3</td> <td>5.2</td> <td>13</td> <td>66</td> </tr> <tr> <td>300</td> <td>0.07</td> <td>0.42</td> <td>2.2</td> <td>5.1</td> <td>12</td> <td>56</td> </tr> </tbody> </table>	d, n	1	3/4	1/2	3/8	1/4	1/8	25	0.23	0.90	4.1	9.0	32	230	50	0.16	0.68	3.0	6.5	20	140	100	0.14	0.55	2.8	5.5	16	92	150	0.12	0.49	2.4	5.3	14	73	200	0.10	0.46	2.3	5.2	13	66	300	0.07	0.42	2.2	5.1	12	56
d, n	1	3/4	1/2	3/8	1/4	1/8																																												
25	0.23	0.90	4.1	9.0	32	230																																												
50	0.16	0.68	3.0	6.5	20	140																																												
100	0.14	0.55	2.8	5.5	16	92																																												
150	0.12	0.49	2.4	5.3	14	73																																												
200	0.10	0.46	2.3	5.2	13	66																																												
300	0.07	0.42	2.2	5.1	12	56																																												

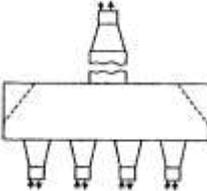
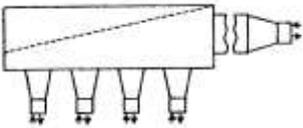
Продолжение приложения Д

Наименование местного сопротивления	Коэффициент местного сопротивления (КМС)																								
<p>Вентиль обыкновенный</p> 	<p>При полном открытии</p> <table border="1" data-bbox="549 316 987 459"> <tr> <td><math>d</math></td> <td>13</td> <td>19</td> <td>25</td> <td>32</td> <td>38</td> <td>50</td> <td>75</td> </tr> <tr> <td><math>\xi</math></td> <td>11</td> <td>6,9</td> <td>6,1</td> <td>6,0</td> <td>5,8</td> <td>4,6</td> <td>3,6</td> </tr> </table>	$d$	13	19	25	32	38	50	75	$\xi$	11	6,9	6,1	6,0	5,8	4,6	3,6								
$d$	13	19	25	32	38	50	75																		
$\xi$	11	6,9	6,1	6,0	5,8	4,6	3,6																		
<p>Вентиль прямоточный</p> 	<p>При полном открытии</p> <table border="1" data-bbox="561 579 987 707"> <tr> <td><math>d</math></td> <td>25</td> <td>50</td> <td>75</td> <td>100</td> <td>150</td> <td>175</td> </tr> <tr> <td><math>\xi</math></td> <td>1,03</td> <td>0,75</td> <td>0,6</td> <td>0,5</td> <td>0,4</td> <td>0,37</td> </tr> </table>	$d$	25	50	75	100	150	175	$\xi$	1,03	0,75	0,6	0,5	0,4	0,37										
$d$	25	50	75	100	150	175																			
$\xi$	1,03	0,75	0,6	0,5	0,4	0,37																			
<p>Вентиль Косва (полное открытие)</p>	<p><math>\xi = 1,4 \div 2,5</math></p>																								
<p>Вентиль Рей (полное открытие)</p>	<p><math>\xi = 2,0 \div 2,7</math></p>																								
<p>Пробковый кран</p> 	<table border="1" data-bbox="549 898 969 1070"> <tr> <td><math>\beta^0</math></td> <td>5</td> <td>10</td> <td>15</td> <td>20</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td><math>\xi</math></td> <td>0,05</td> <td>0,29</td> <td>0,75</td> <td>1,56</td> <td>5,47</td> </tr> <tr> <td><math>\beta^0</math></td> <td>40</td> <td>45</td> <td>50</td> <td>60</td> <td>67</td> </tr> <tr> <td><math>\xi</math></td> <td>17,3</td> <td>31,2</td> <td>52,6</td> <td>216</td> <td><math>+\infty</math></td> </tr> </table>	$\beta^0$	5	10	15	20	30	$\xi$	0,05	0,29	0,75	1,56	5,47	$\beta^0$	40	45	50	60	67	$\xi$	17,3	31,2	52,6	216	$+\infty$
$\beta^0$	5	10	15	20	30																				
$\xi$	0,05	0,29	0,75	1,56	5,47																				
$\beta^0$	40	45	50	60	67																				
$\xi$	17,3	31,2	52,6	216	$+\infty$																				
<p>Кран двойной регулировки (полное открытие)</p>	<p><math>\xi = 2.0 \div 4.0</math></p>																								
<p>Приемные клапаны насосов</p>	<p><math>\xi = 5 \div 6</math></p>																								
<p>Обратный клапан (<math>d</math> – диаметр трубы, мм)</p>	<table border="1" data-bbox="549 1281 987 1407"> <tr> <td><math>d</math></td> <td>40</td> <td>70</td> <td>100</td> <td>200</td> <td>300</td> <td>500</td> <td>750</td> </tr> <tr> <td><math>\xi</math></td> <td>1,3</td> <td>1,4</td> <td>1,5</td> <td>1,9</td> <td>2,1</td> <td>2,5</td> <td>2,9</td> </tr> </table>	$d$	40	70	100	200	300	500	750	$\xi$	1,3	1,4	1,5	1,9	2,1	2,5	2,9								
$d$	40	70	100	200	300	500	750																		
$\xi$	1,3	1,4	1,5	1,9	2,1	2,5	2,9																		

Продолжение приложения Д

Наименование местного сопротивления	Коэффициент местного сопротивления (КМС)						
<p>Шарнирный клапан</p> 	$\beta^0$	70	65	60	55	50	45
	$\xi$	1,7	2,3	3,2	4,6	6,6	9,5
	$\beta^0$	40	35	30	25	20	15
	$\xi$	14	20	30	42	62	90
<p>Кольцевой затвор</p> 	n	10	20	30	40	50	
	$\xi$	33	9,4	4,1	2,3	1,45	
	n	60	70	80	90		
	$\xi$	0,92	0,70	0,67	0,69		
	$\nu = \frac{2S}{d} \cdot 100\%$						
<p>Конусный клапан</p> 	$\xi = 0,6 + \frac{0,15}{\left(\frac{h}{d}\right)^2}$						
<p>Шаровый клапан</p> 	$\xi = 2,7 - \frac{0,8}{\frac{h}{d}} + \frac{0,14}{\left(\frac{h}{d}\right)^2}$						
<p>Водоотделитель</p>	$\xi = 8 \div 12$						
<p>Грязевик</p>	$\xi = 4 \div 6$						

Продолжение приложения Д

Наименование местного сопротивления	Коэффициент местного сопротивления (КМС)														
<p>Компенсаторы:</p> <p>а) сальниковый разгруженный;</p> <p>б) П-образный гладкий (d—диаметр трубы, мм);</p> <p>в) лирообразный гладкий;</p> <p>г) лирообразный с фланцами</p>	<p>а) <math>\xi = 0,2</math></p> <p>б)</p> <table border="1" data-bbox="549 312 991 448"> <tr> <td>d</td> <td>50</td> <td>100</td> <td>200</td> <td>300</td> <td>400</td> <td>500</td> </tr> <tr> <td><math>\xi</math></td> <td>2,0</td> <td>2,1</td> <td>2,3</td> <td>2,5</td> <td>2,7</td> <td>2,9</td> </tr> </table> <p>в) <math>\xi = 1,7 \div 2,6</math></p> <p>г) <math>\xi = 2,0 \div 3,5</math></p>	d	50	100	200	300	400	500	$\xi$	2,0	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9
d	50	100	200	300	400	500									
$\xi$	2,0	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9									
<p>Тройники:</p> <p>а) </p> <p>б) </p> <p>в) </p> <p>г) </p> <p>д) </p> <p>е) </p>	<table border="1" data-bbox="549 576 969 727"> <tr> <td>а) <math>\xi = 0,5</math></td> <td>б) <math>\xi = 1,0</math></td> </tr> <tr> <td>в) <math>\xi = 0,05</math></td> <td>г) <math>\xi = 0,15</math></td> </tr> <tr> <td>д) <math>\xi = 1,5</math></td> <td>е) <math>\xi = 3,0</math></td> </tr> </table>	а) $\xi = 0,5$	б) $\xi = 1,0$	в) $\xi = 0,05$	г) $\xi = 0,15$	д) $\xi = 1,5$	е) $\xi = 3,0$								
а) $\xi = 0,5$	б) $\xi = 1,0$														
в) $\xi = 0,05$	г) $\xi = 0,15$														
д) $\xi = 1,5$	е) $\xi = 3,0$														
<p>Коробы с центральным подводом (отводом)</p> 	<p>а) раздающие коробы</p> $\xi = 1,1 + 0,7(F_n/F_0)^2$ <p>б) собирающие</p> $\xi = 1,1 + 0,7(F_n/F_0)^2$ <p><math>F_n/F_0</math> суммарные площади сечения подводящих и отводящих каналов</p>														
<p>Коробы с торцевым подводом (отводом)</p> 	<p>а) раздающие коробы</p> $\xi = 0,7 + (0,5 - 0,7(F_n/F_0))^2 + 0,7(F_n/F_0)^2$ <p>б) собирающие коробы</p> $\xi = 1,1 + 0,9(F_n/F_0)^2 + 0,5(1 - F_0/F_k)(F_n/F_0)^2$ <p>где <math>F_k</math> - площадь поперечного сечения короба</p>														

## Окончание приложения Д

Наименование местного сопротивления	Коэффициент местного сопротивления (КМС)
Элементы теплообменных аппаратов: а) входная и выходная камеры (удар и поворот); б) поворот на $180^0$ из одной секции в другую через промежуточную камеру; в) то же, через колено в секционных подогревателях; г) вход в межтрубное пространство под углом $90^0$ к рабочему потоку; д) поворот на $180^0$ в U-образной трубке;	$\xi = 1,5$  $\xi = 2,5$  $\xi = 2,0$  $\xi = 1,5$  $\xi = 0,5$
е) переход из одной секции в другую (межтрубный поток);	$\xi = 2,5$
ж) поворот на $180^0$ через перегородку в межтрубном пространстве; з) огибание перегородок, поддерживающих трубы; и) выход из межтрубного пространства под углом $90^0$	$\xi = 1,5$  $\xi = 0,5$  $\xi = 1,0$

## ПРИЛОЖЕНИЕ Е

### Свойства некоторых газов при давлении 0,101 МПа и при температуре 0°С

Наименование газа	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Удельный вес $\gamma$ , Н/м <sup>3</sup>	Динамическая вязкость $\mu \cdot 10^6$ , Н·с/м <sup>2</sup>	Кинематическая вязкость $\nu \cdot 10^6$ , м <sup>2</sup> /с	Газовая постоянная R, Дж/(кг·К)	Истинная удельная теплоемкость		Отношение удельных теплоемкостей, к
						$c_p$ , кДж/(кг·°С)	$c_v$ , кДж/(кг·°С)	
<b>Воздух</b>	1,293	12,68	17,1	13,2	287,0	0,717	1,004	1,40
<b>Аммиак</b>	0,771	7,57	9,35	12,1	488,2	1,627	2,160 (при 25°С )	1,29
<b>Аргон</b>	1,784	17,50	21,2	11,9	208,1	0,312	0,520	1,67
<b>Двуокись углерода</b>	1,977	19,39	14,3	7,23	188,9	0,638	0,827	1,30
<b>Гелий</b>	0,1785	1,750	18,8	105	2077,2	3,116	5,193	1,67
<b>Водород</b>	0,0899	0,882	8,52	94,8	4124,3	10,07	14,19	1,41
<b>Метан</b>	0,7168	7,029	10,6	14,8	518,3	1,66	2,18	1,31
<b>Кислород</b>	1,429	13,95	19,8	13,9	259,8	0,655	0,915	1,40
<b>Азот</b>	1,250	12,26	17,0	13,6	296,8	0,742	1,039	1,40
<b>Двуокись серы</b>	2,926	28,69	12,3	4,20	129,8	-	-	-
<b>Водяной пар насыщенный (при t = 100°С )</b>	0,597	5,85	12,1	20,3	461,51	1,577	2,038	1,29

## Содержание

Введение	
1 Общие методическое положение по курсовой работе	1
1.1 Цели и задачи курсовой работы	1
1.2 Тематика и содержание курсовой работы	2
1.3 Оформление курсовой работы	3
1.4 Организация работы над курсовой работой. и ее защита	4
2 Гидравлический расчет разветвленного трубопровода	4
2.1 Выбор основной магистрали	5
2.2 Определение диаметров труб основной магистрали	6
2.3 Расчет потерь на трение в основной магистрали	6
2.4 Расчет ответвлений	7
2.5 Компенсация невязки	8
2.6 Расчет всасывающей магистрали	9
2.7 Подбор насосов	11
2.8 Определение высоты установки насоса над горизонтом воды	15
3 Гидравлический расчет короткого трубопровода	21
3.1 Расчет потерь напора на трение	21
3.2 Определение потерь напора на местных сопротивлениях	21
3.3 Начальные участки труб	25
3.4 Суммарные потери напора в трубопроводе	27
4 Газодинамический расчет сопла Лаваля	27
4.1 Постановка задачи	27
4.2 Расчет параметров торможения	30
4.3 Расчет параметров газа в критическом сечении	30
4.4 Расчет параметров газа во входном сечении	30
4.5 Расчет параметров газа в выходном сечении	31
4.6 Расчет параметров газа в дополнительных сечениях	31
4.7. Геометрический расчет сопла	32
5 Примечание	32
Список литературы	33

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

к выполнению курсовой работы по дисциплине  
«Гидрогазодинамика» для студентов специальности  
140104 «Промышленная теплоэнергетика» и направления  
подготовки бакалавров 140100 «Теплоэнергетика и  
теплотехника» профиля, «Промышленная теплоэнергетика»  
заочной формы обучения

Составители:

Дроздов Игорь Геннадьевич  
Муравьев Анатолий Викторович

В авторской редакции

Подписано к изданию 26.11.2011.  
Уч.-изд. л. 3,0.

ФГБОУВПО «Воронежский государственный технический  
университет»  
394026 Воронеж, Московский просп.,14