

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический
университет»

Кафедра «Ракетные двигатели»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению курсовой работы по дисциплинам
«Гидравлика» и «Прикладная гидрогазодинамика» для
студентов специальности 160700.65, 24.05.02
«Проектирование авиационных и ракетных двигателей»
очной формы обучения

Воронеж 2015

Составители: канд. техн. наук, доцент И.Г. Дроздов
канд. техн. наук, доцент Д.П. Шматов
асп. И.В. Винокуров

УДК 621.396

Методические указания по выполнению курсовой работы по дисциплинам «Гидравлика» и «Прикладная гидрогазодинамика» для студентов специальности 160700.65, 24.05.02 «Проектирование авиационных и ракетных двигателей» очной форм обучения / ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный технический университет"; сост. И.Г. Дроздов, Д.П. Шматов, И.В. Винокуров. Воронеж, 2015. 66 с.

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

Таб. 3. Ил. 10. Библиогр.: 5 назв.

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

Издается по решению редакционно-издательского совета Воронежского государственного технического университета.

© ФГБОУ ВПО "Воронежский
государственный технический
университет", 2015

ВВЕДЕНИЕ

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.

I. 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 умение 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 комиссии 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). Оценка курсовой работы производится по четырех балльной системе с учетом качества выполнения и оформления работы, степени самостоятельности при ее выполнении и уровня защиты курсов

II 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].

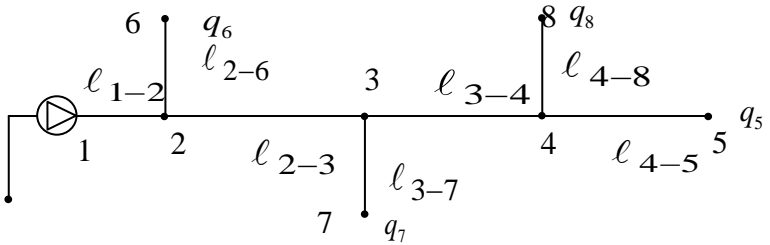


Рисунок 2.1 Схема разветвленного трубопровода

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 l_{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}^{cmd} и соответствующий ему условный диаметр d_{i-j} (см. Приложение 1).

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. табл. 1.2).

Суммарный напор H_{Σ} , 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_{Σ} 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.

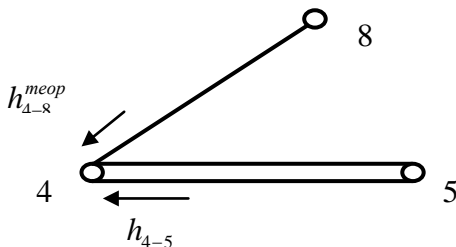


Рисунок 2.2 Схема узла №4 длинного разветвленного трубопровода

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: $K_{0-n}^{теор^2}$,

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

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:

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

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}^{meop} 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 $\Delta h_{i-j}^{3.a.} = h_{i-j}^{теор} - h_{i-j}$ - потери на запорной арматуре определяются по разности теоретического и действительного напоров.

По величине КМС запорной арматуры $\zeta_{i-j}^{3.a.}$ и диаметру ответвления d_{i-j} подбираем тип запорной арматуры и степень ее открытия n_{i-j} (см. Приложение 4).

2.6 Расчет всасывающей магистрали

Диаметр трубопровода всасывающей магистрали $d_{всac}$, 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;

α - 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.

$l_{вс}$ - длина всасывающей магистрали, м.

Потери в колене ζ_{κ} , определим по формуле Вейсбаха:

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

где ζ_{κ} - коэффициент местного сопротивления колена;

W_{κ} - скорость воды в колене, м/с.

Определяем потери напора в фильтре

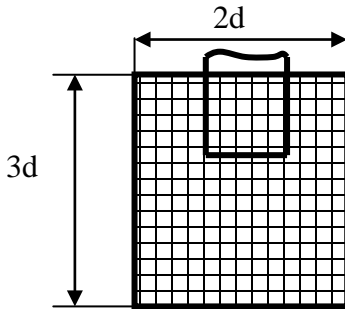


Рисунок 2.3 Фильтр

Коэффициент местного сопротивления фильтра ζ_{ϕ} :

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

где F_{ϕ} - площадь фильтра, м²;

F - суммарная площадь отверстий фильтра, м².

Определим площадь фильтра F м²,

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

где $m = \frac{a^2}{t^2}$,

где a – размер ячейки сетки фильтра в "свету"
(см. Приложение 4);

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

Определим скорость воды в фильтре W_ϕ , м/с по уравнению:

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

где Q_Σ - суммарный расход воды, м³;

F – суммарная площадь отверстий фильтра, м².

Потери на фильтре ζ_ϕ , 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.

Насос - устройство (гидравлическая машина, аппарат или прибор) для напорного перемещения (всасывания и нагнетания) жидкости в результате сообщения ей внешней энергии (потенциальной и кинетической). Основным параметр 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; П - 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 «четырёхугольники» 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 $1/2Q_2$. В рассматриваемом случае этому условию соответствует насос II. Два таких насоса, включенных параллельно, обеспечат получение необходимых значений подачи Q_2 и напора H_2 .

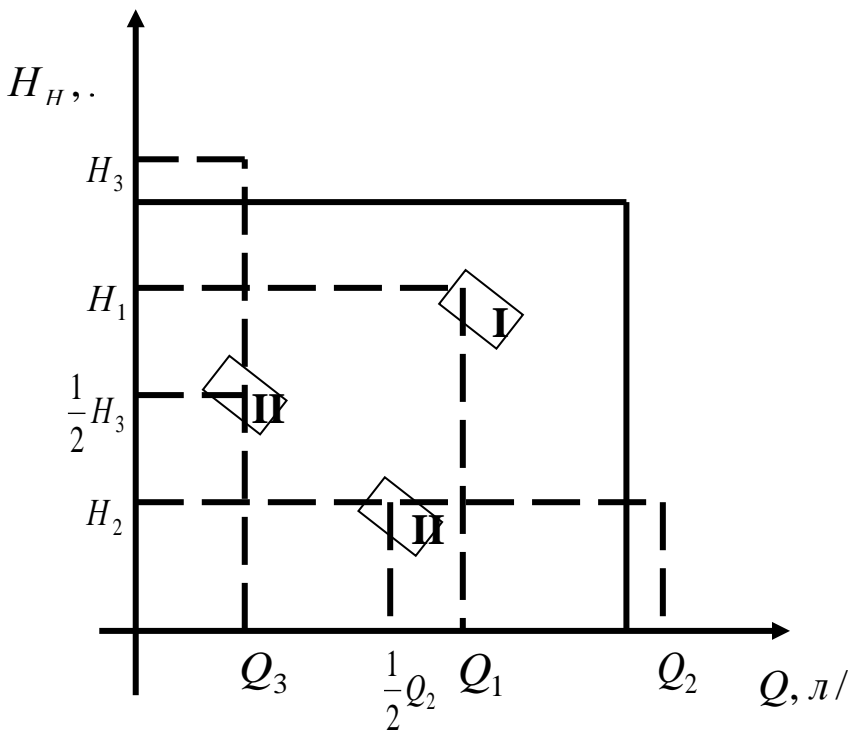


Рисунок 2.4

Если не удастся отыскать насос II, 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 III, 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 над заданным 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_g - 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 $H_{вак}^{доп}$ для воды с температурой до 20^0 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. определяется по зависимости

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

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;

$h_{\text{п.ж.}}$ - 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.

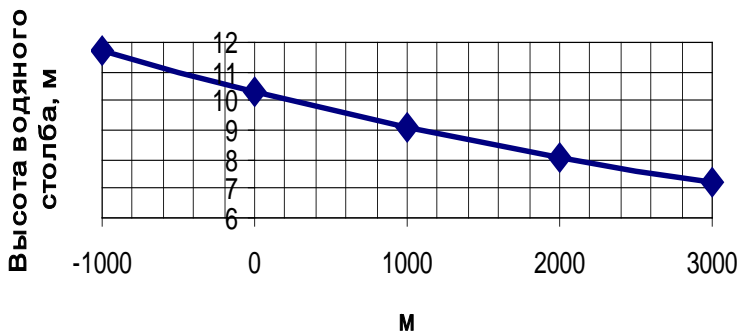


Рисунок 2.5 Зависимость атмосферного давления, выраженного в м. Вод. Ст., от высоты над уровнем моря

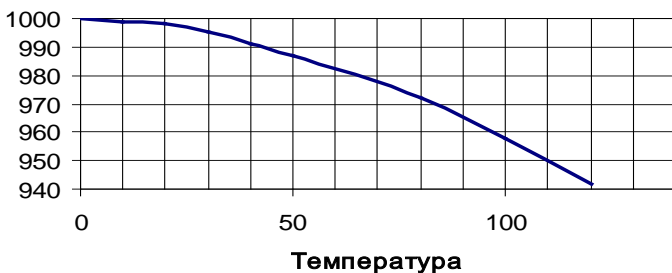


Рисунок 2.6 Зависимость удельного веса воды от ее температуры

Технические данные насоса зависят от физических и химических свойств подаваемой им жидкости. Так, на допустимую высоту всасывания насоса влияют удельный вес γ 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 м³/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.

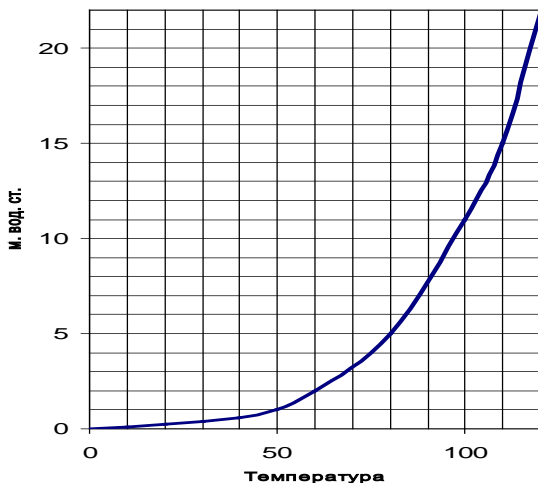


Рисунок 2.7 – Зависимость давления насыщенного водяного пара от температуры, выраженная в м. Вод. Ст. соответствующие температуры.

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.

III ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ КОРОТКОГО ТРУБОПРОВОДА

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

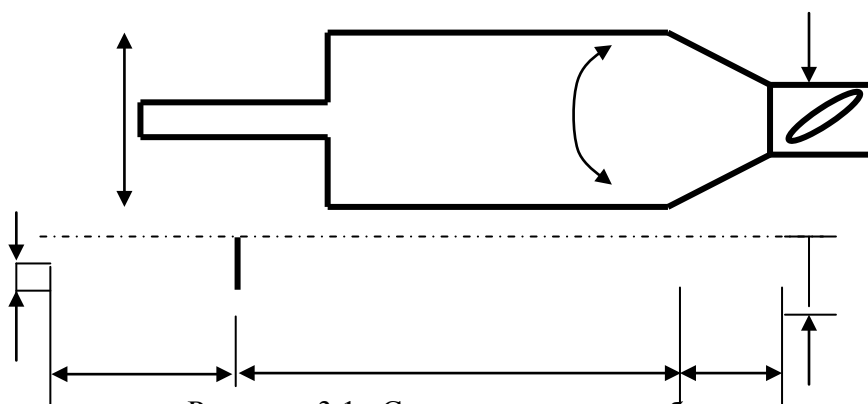


Рисунок 3.1. Схема короткого трубопровода

3.1 Расчет потерь напора на трение

Потери на трение на участках h_f , 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;

ℓ_i - длина участка, м.

λ_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 Δ - средняя высота выступа шероховатости. Абсолютная шероховатость различных трубопроводов приведена в Приложении.

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 λ от Re и Δ :

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

3. Область доквадратичного сопротивления

$\left(10 \frac{d}{\Delta} < \text{Re} < 500 \frac{d}{\Delta}\right)$. Коэффициент λ рассчитывается по формуле Альтшуля:

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

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

Коэффициент λ рассчитывается по зависимости Прандтля-Никурадзе:

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

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

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

где ρ - плотность жидкости;

F_i - площадь сечения трубы на участке, м²;

m - массовый расход жидкости, кг/с.

Площадь сечения трубы F_i , m^2 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 ν кинетический коэффициент вязкости, m^2/c .

Суммарные потери напора H_Σ , м. на трение составят:

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

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 ζ_{mi} - коэффициент потерь на местном сопротивлении. Рассчитывается для данного местного сопротивления (см. Приложение 4).

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 (Приложение 4).

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

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.,

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

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

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).

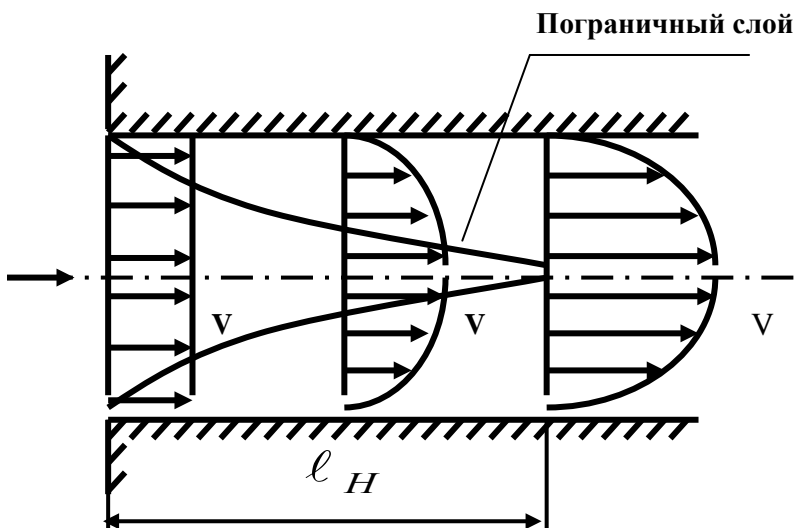


Рисунок 3.2

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

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

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 λ - 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_Σ , м. в трубопроводе складываются из потерь на трение и местных сопротивлений

$$H_\Sigma = H_{mp\Sigma} + H_{m\Sigma} \quad (3.19)$$

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

IV ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СОПЛА ЛАВАЛЯ

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 $W_{\text{вых}}$ определяется давлением на срезе сопла $P_{\text{среза}}$ со стороны атмосферы, а скорость газа на входе в сопло $W_{\text{вх}}$ определяет параметры дозвуковой части (см. рис. 4.1).

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

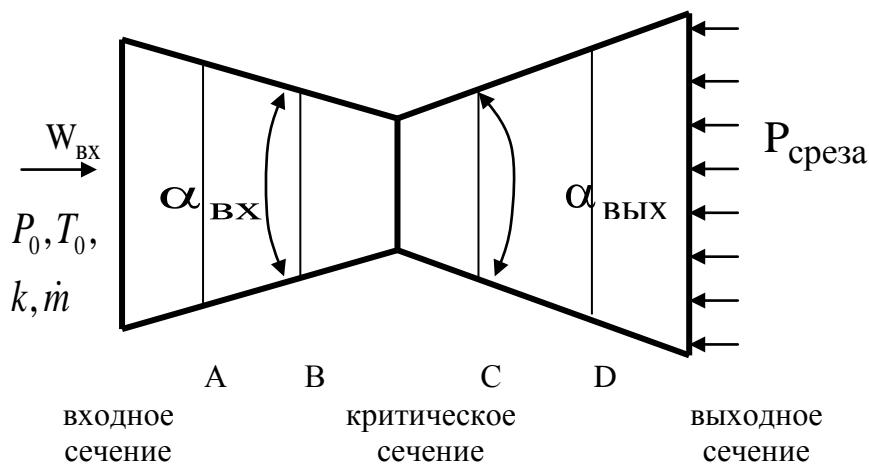


Рисунок 4.1 Сопло Лавалья

В любом сечении сопла Лавалиа газовый поток обладает следующими параметрами: P_i - давление; T_i - температура; ρ_i - плотность; a_i - скорость звука; W_i - скорость потока; λ_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.

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 Лавалиа.

При расчете сопла Лавалиа 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;

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, м².

Число Маха M :

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

Коэффициент скорости λ_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 $P_0 \text{ Па}$, $T_0 \text{ К}$, $\rho_0 \text{ кг/м}^3$ - 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 ρ_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 $P_{\text{вых}}$ и срезе сопла $P_{\text{среза}}$ (внешнего давления окружающей среды). Для этого из (4.6) выражаем коэффициент скорости на выходе $\lambda_{\text{вых}}$ через давление $P_{\text{вых}}$. Далее из (4.5) находим скорость на выходе $W_{\text{вых}}$, а из (4.4) число Маха $M_{\text{вых}}$. Используя газодинамические функции (4.7, 4.8), определяем температуру $T_{\text{вых}}$ и плотность $\rho_{\text{вых}}$ на выходе. С помощью уравнения неразрывности (4.3) находим площадь выходного сечения $F_{\text{вых}}$ и диаметр $d_{\text{вых}}$.

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 λ_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 ρ_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 Лавая.

Результаты газодинамического и геометрического расчетов сводятся в таблицу по форме и представляются в виде графиков.

Таблица 4.1

Результаты расчета

	P , МПа	ρ , кг/м ³	T , К	W , м/с	α , м/с	λ	M	F , м ²	d , м
Вход									
Сеч. А									
Сеч. В									
Критика									
Сеч. В									
Сеч. Г									
Выход									
Парам. тормож.									

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Внутренние диаметры, принятые при составлении таблиц для гидравлического расчета стальных и чугунных водопроводных труб (размеры в мм)

Трубы стальные водопроводные (ГОСТ 3262-75)				Условный проход, d	Трубы стальные электросварные (ГОСТ 10704-76 и ГОСТ 8696-74)			Трубы чугунные напорные (ГОСТ 9583-75)				
Условный проход, d	Наружный диаметр	Расчетный внутренний диаметр труб, d _p			Наружный диаметр	Толщина стенки	Расчетный внутренний диаметр труб, d _p		класс ЛА		класс А	
		Новых	неновых				Новых	неновых	Расчетный внутренний диаметр труб, d _p			

6	10,2	6,2	5,2	50	70	2,5	65	64	-	-	-	-
8	13,5	9,1	8,1	60	76	2,5	71	70	-	-	-	-
10	17,0	12,6	11,6	75/65	89	2,5	84	83	67,6	66,6	-	-
15	21,3	15,7	14,7	80	102	3,0	96	95	83,6	82,6	-	-
20	26,8	21,2	20,2	100	121	3,0	115	114	103,0	102,0	-	-
25	33,5	27,1	26,1	125	140	3,0	134	133	128,2	127,2	-	-
32	42,3	35,9	34,9	150	168	4,5	159	158	153,4	152,4	-	-
40	48,0	41,0	40,0	175	180	4,5	171	170	-	-	-	-
50	60,0	53,0	52,0	200	219	4,5	210	209	203,6	202,6	-	-
65	75,5	67,5	66,5	250	273	6,0	261	260	254,0	253,0	-	-
80	88,5	80,5	79,5	300	325	7,0	311	311	304,4	304,4	-	-
90	101,3	93,3	92,3	350	377	7,0	363	363	-	-	352,4	352,4
100	114,0	105,0	104,0	400	426	7,0	412	412	-	-	401,4	401,4
125	140,0	131,0	130,0	450	480	7,0	466	466	-	-	450,6	450,6
150	165,0	156,0	155,0	500	530	7,0	516	516	-	-	500,8	500,8
-	-	-	-	600	630	7,0	616	616	-	-	600,2	600,2
-	-	-	-	700	720	7,0	706	706	-	-	699,4	699,4
-	-	-	-	800	820	8,0	804	804	-	-	799,8	799,8
-	-	-	-	900	920	8,0	904	904	-	-	899,2	899,2
-	-	-	-	1000	1020	8,0	1004	1004	-	-	998,4	998,4
-	-	-	-	1200	1220	9,0	1202	1202	-	-	-	-
-	-	-	-	1400	1420	10,0	1400	1400	-	-	-	-
-	-	-	-	1500	1500	10,0	1500	1500	-	-	-	-
-	-	-	-	1600	1620	10,0	1600	1600	-	-	-	-

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Абсолютная шероховатость Δ , труб и каналов

Характеристика поверхности труб и каналов	Δ , мм
1. Цельнотянутые трубы	
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
2. Цельносварные стальные трубы	
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
3. Клепанные стальные трубы	
Клепанные вдоль и поперек по одному ряду заклепок; изнутри покрытые лаком; хорошее состояние поверхности	0,30 – 0,40
С двойной продольной клепкой и простой	0,60 – 0,70

Характеристика поверхности труб и каналов	Δ_9 , мм
поперечной клепкой; изнутри покрытые лаком или без лака, но некорродированные	
С простой поперечной и двойной продольной клепкой; изнутри просмоленные	1,20 – 1,30
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
4. Оцинкованные стальные трубы	
Чистая оцинковка, новые трубы	0,07 – 0,10
Обычная оцинковка, новые трубы	0,10 – 0,15
5. Трубы, оцинкованные из листовой стали	
Новые	0,15
Бывшие в эксплуатации на воде	0,18
6. Чугунные трубы	
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
7. Бетонные, цементные и другие трубы	
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

Характеристика поверхности труб и каналов	$\Delta_{э}$, мм
Асбоцементные трубы, бывшие в эксплуатации	0,60
Цементные трубы при сглаженной поверхности	0,3 – 0,8
Цементные Турбы при необработанной поверхности	1,0 – 2,0
Цементные труб с несглаженным цементным раствором в местах соединений	1,9 – 6,4

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

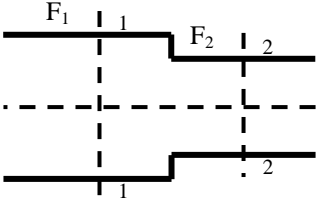
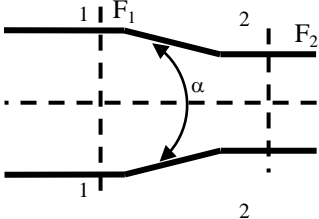
Значения модулей расхода круглых труб для квадратичной области

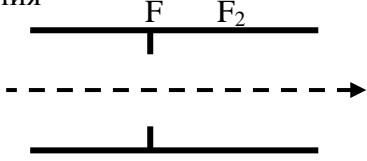
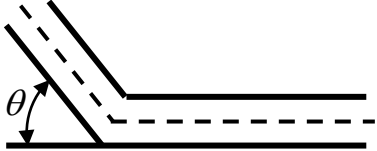
d, мм	Новые стальные			Нормальные			Новые чугуны		
	K , л/с	$K^2/1000$	$1000/K^2$	K , л/с	$K^2/1000$	$1000/K^2$	K , л/с	$K^2/1000$	$1000/K^2$
50	8,313	0,0691	14,482	9,948	0,0989	10,111	10,10	0,1020	9,804
75	24,77	0,6136	1,6297	29,27	0,8567	1,1682	29,80	0,8821	1,1337
100	53,61	2,874	0,34795	62,85	3,950	0,25316	63,83	4,061	0,24624
125	97,39	9,485	0,10543	113,5	12,885	0,07763	115,1	13,248	0,07548
150	158,4	25,091	0,03985	183,9	33,819	0,02958	186,3	34,708	0,028811
200	340,8	116,15	0,00861	393,0	154,45	0,00647	398,0	158,40	0,00631
250	616,4	379,0	0,00263	707,6	500,70	0,00200	716,3	512,09	0,00195
300	999,03	998,6	0,00100	1143	1306	$0,766 \times 10^{-3}$	1157	1339	$0,747 \times 10^{-3}$
350	1503	2259	$0,443 \times 10^{-3}$	1715	2941	$0,340 \times 10^{-3}$	1835	3007	$0,333 \times 10^{-3}$
400	2140	4580	$0,218 \times 10^{-3}$	2435	5929	$0,169 \times 10^{-3}$	2463	6066	$0,165 \times 10^{-3}$
450	2920	8526	$0,117 \times 10^{-3}$	3316	10996	$0,909 \times 10^{-4}$	3354	11249	$0,889 \times 10^{-4}$
500	3857	14876	$0,672 \times 10^{-3}$	4374	19132	$0,523 \times 10^{-3}$	4423	19563	$0,511 \times 10^{-3}$

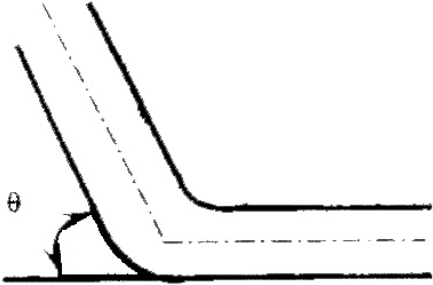
			4			4			4
600	6239	98925	$0,57 \times 10^{-4}$	7053	49745	$0,201 \times 10^{-4}$	7131	50851	$0,197 \times 10^{-4}$
700	9362	87647	$0,114 \times 10^{-4}$	10560	111514	$0,897 \times 10^{-4}$	10644	113934	$0,878 \times 10^{-5}$
800	13301	176918	$0,565 \times 10^{-5}$	14983	224191	$0,446 \times 10^{-5}$	15132	228977	$0,437 \times 10^{-5}$
900	18129	328661	$0,304 \times 10^{-5}$	20373	415059	$0,241 \times 10^{-5}$	20587	423825	$0,126 \times 10^{-5}$
1000	23911	571736	$0,175 \times 10^{-5}$	26832	719956	$0,139 \times 10^{-5}$	27110	725006	$0,136 \times 10^{-5}$
1100	30709	943043	$0,106 \times 10^{-5}$	34416	1184461	$0,844 \times 10^{-6}$	34769	1208883	$0,827 \times 10^{-6}$
1200	38601	1490037	$0,671 \times 10^{-6}$	43211	1867191	$0,536 \times 10^{-6}$	43650	1905323	$0,525 \times 10^{-6}$
1300	47604	2266140	$0,441 \times 10^{-6}$	53232	2833646	$0,353 \times 10^{-6}$	53769	2891105	$0,346 \times 10^{-6}$
1400	57807	3341649	$0,299 \times 10^{-6}$	64581	4170705	$0,24 \times 10^{-6}$	65260	4254431	$0,235 \times 10^{-6}$

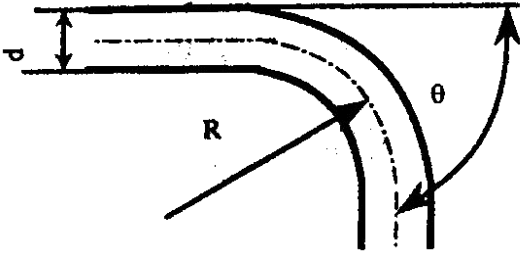
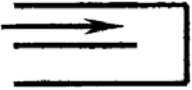
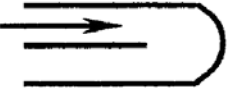


Таблица КМС

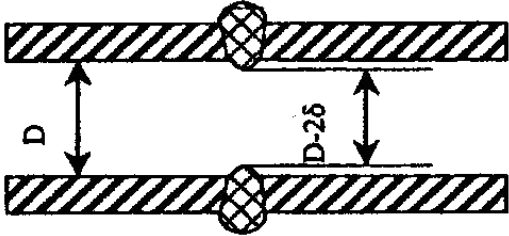
Наименование местного сопротивления	Коэффициент местного сопротивления (КМС)																
<p>Внезапное расширение потока</p> 	$\xi_1 = \left(1 - \frac{F_1}{F_2}\right)^2 \quad \square \quad (\text{Re}_1 > 10^4)$ <p>ξ_1 - отнесено к средней скорости перед сопротивлением; ξ_2 - отнесено к средней скорости за сопротивлением</p>																
<p>Плавное расширение (диффузор)</p> 	$\xi = \frac{\lambda}{8 \sin \frac{\alpha}{2}} \left(1 - \ell \frac{1}{n^2}\right) + k \left(1 - \frac{1}{n}\right)^2$ <table border="1" data-bbox="721 792 1332 957"> <tbody> <tr> <td>α^0</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 4</td> <td>0.1 6</td> <td>0.2 2</td> <td>0.3 0</td> <td>0.4 2</td> <td>0.6 2</td> <td>0.9 0</td> </tr> </tbody> </table>	α^0	8	10	12	15	20	25	60	k	0.1 4	0.1 6	0.2 2	0.3 0	0.4 2	0.6 2	0.9 0
α^0	8	10	12	15	20	25	60										
k	0.1 4	0.1 6	0.2 2	0.3 0	0.4 2	0.6 2	0.9 0										


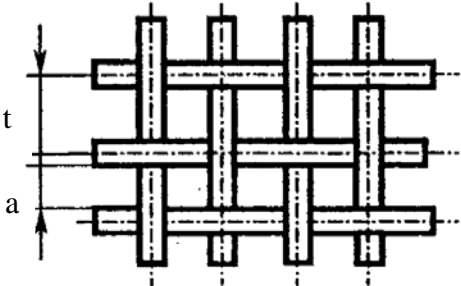
Наименование местного сопротивления	Коэффициент местного сопротивления (КМС)												
<p data-bbox="135 344 405 372">Внезапное сужение</p> 	$\xi_2 = 0,5 \left(1 - \frac{F_2}{F_1} \right)$												
<p data-bbox="135 639 536 667">Плавное сужение (конфузор)</p> 	$\xi = \frac{\lambda}{8 \sin \frac{\alpha}{2}} \left(1 - \ell \frac{1}{n^2} \right) + k \left(0,5 \left(1 - \frac{1}{n} \right) \right)^2$ <table border="1" data-bbox="721 792 1382 882"> <tbody> <tr> <td>α^0</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> </tbody> </table>	α^0	0	12	20	40	60	k	0,80	0,40	0,24	0,18	0,20
α^0	0	12	20	40	60								
k	0,80	0,40	0,24	0,18	0,20								

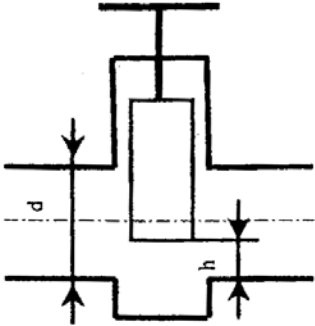
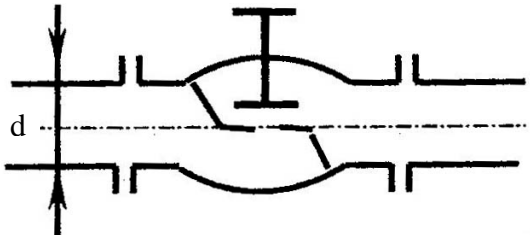
Наименование местного сопротивления	Коэффициент местного сопротивления (КМС)
<p>Диафрагма в трубе постоянного сечения</p> 	$\xi = \left(1 - \frac{0,707}{\sqrt{1 - \frac{F}{F_1}}} \right)^2 \left(\frac{F_1}{F} - 1 \right)^2$
<p>Колено без закруглений</p> 	$\xi_2 = 0,95 \sin^2 \frac{\theta}{2} + 2 < 0,5 \sin^4 \frac{\theta}{2}$ $(\text{Re} > 2 \cdot 10^5)$

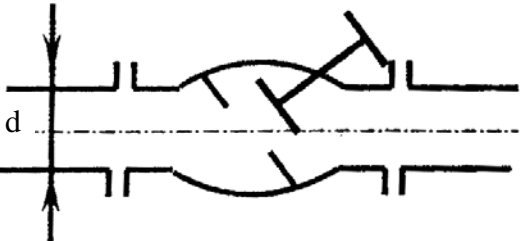
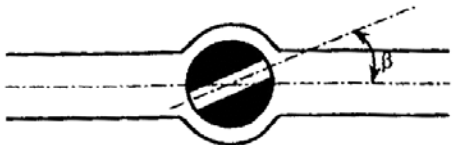
Наименование местного сопротивления	Коэффициент местного сопротивления (КМС)
<p data-bbox="134 232 520 264">Закругленное колено, отвод</p> 	$\xi_2 = a \left(0,05 + 1,19 \frac{d}{R} \right)$ <p data-bbox="943 510 1235 546">а) $\theta < 90^\circ$ $a = \sin \theta$</p> <p data-bbox="943 557 1401 647">б) $\theta > 90^\circ$ $a = 0,7 + 0,35 \frac{\theta}{90^\circ}$</p>
<p data-bbox="134 820 584 852">Сегментное колено (5-6 звеньев)</p>	$\xi = 0,008 \theta^{0,75} \left(\frac{d}{R} \right)^{0,6}$

Наименование местного сопротивления	Коэффициент местного сопротивления (КМС)										
											
<p data-bbox="135 554 236 582">Колена</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p data-bbox="271 761 303 789">а)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p data-bbox="510 761 542 789">б)</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;">  <p data-bbox="271 991 303 1019">в)</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p data-bbox="510 991 542 1019">г)</p> </div> </div>	<table border="1" data-bbox="721 696 1401 786"> <thead> <tr> <th data-bbox="721 696 858 733">Вид</th> <th data-bbox="858 696 992 733">а</th> <th data-bbox="992 696 1129 733">б</th> <th data-bbox="1129 696 1264 733">в</th> <th data-bbox="1264 696 1401 733">г</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="721 733 858 786">ξ_2</td> <td data-bbox="858 733 992 786">4,01</td> <td data-bbox="992 733 1129 786">4,51</td> <td data-bbox="1129 733 1264 786">2,705</td> <td data-bbox="1264 733 1401 786">0,996</td> </tr> </tbody> </table>	Вид	а	б	в	г	ξ_2	4,01	4,51	2,705	0,996
Вид	а	б	в	г							
ξ_2	4,01	4,51	2,705	0,996							

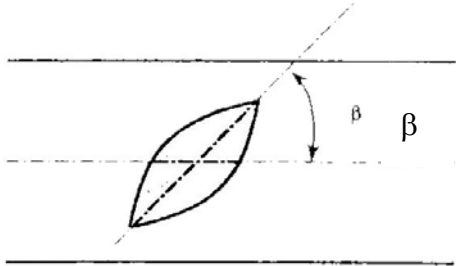
Наименование местного сопротивления	Коэффициент местного сопротивления (КМС)
<p data-bbox="135 308 470 336">Сварные стыки в трубах</p> 	$\xi_2 = 13,8 \left(\frac{\delta}{D} \right)^{1,5}$
<p data-bbox="135 728 630 795">Решетка внутри канала (отверстия с острыми краями)</p>	$\xi_2 = \left(\frac{F}{F_1} - 1 + 0,707 \frac{F}{F_1} \sqrt{1 - \frac{F_1}{F}} \right)^2$

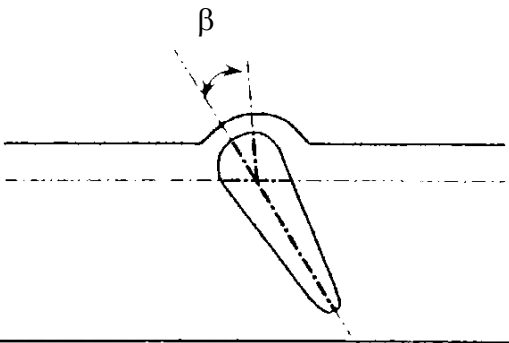
Наименование местного сопротивления	Коэффициент местного сопротивления (КМС)
	
<p>Сетчатые фильтры:</p> <p>а) на входных отверстиях труб;</p> <p>б) сетка с квадратными ячейками</p> 	<p>а) $\xi_2 = (0,675 \div 1,575) \frac{F_1}{F}$</p> <p>$F_1$ - суммарная площадь отверстий сетки;</p> <p>б) $\xi_2 = \frac{92 - 78m}{Re} + 0,7(1,05 - m),$</p> $Re = \frac{v_1 a}{\nu}$ $v_1 = \frac{v}{m}$

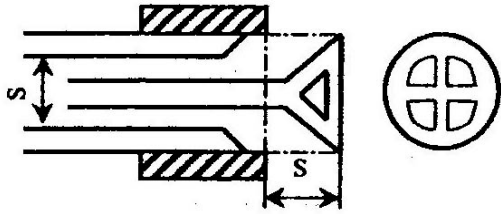
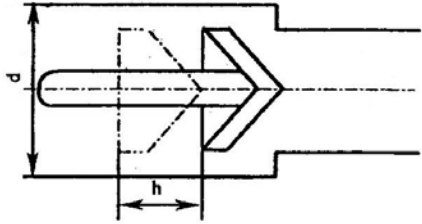
Наименование местного сопротивления	Коэффициент местного сопротивления (КМС)																																																							
<p data-bbox="134 232 268 260">Задвижка</p> 	<p data-bbox="970 244 1216 288">Значения $\xi(d, n)$</p> <table border="1" data-bbox="721 291 1401 596"> <thead> <tr> <th rowspan="2">d</th> <th colspan="6">n</th> </tr> <tr> <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>0.15</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>2.6</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	0.15	0.68	3.0	6.5	20	140	100	0.14	0.55	2.6	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	0.15	0.68	3.0	6.5	20	140																																																		
100	0.14	0.55	2.6	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																																																		
<p data-bbox="134 619 466 647">Вентиль обыкновенный</p> 	<p data-bbox="938 708 1248 742">При полном открытии</p> <table border="1" data-bbox="721 739 1401 890"> <thead> <tr> <th>d</th> <td>13</td> <td>19</td> <td>25</td> <td>32</td> <td>38</td> <td>50</td> <td>75</td> <td>100</td> <td>200</td> </tr> </thead> <tbody> <tr> <th>ξ</th> <td>10,8</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> <td>4,1</td> <td>4,7</td> </tr> </tbody> </table>	d	13	19	25	32	38	50	75	100	200	ξ	10,8	6,9	6,1	6,0	5,8	4,6	3,6	4,1	4,7																																			
d	13	19	25	32	38	50	75	100	200																																															
ξ	10,8	6,9	6,1	6,0	5,8	4,6	3,6	4,1	4,7																																															

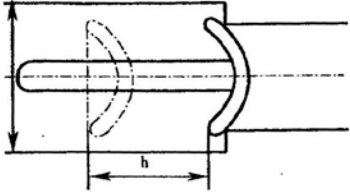
Наименование местного сопротивления	Коэффициент местного сопротивления (КМС)																																				
Вентиль прямоточный 	При полном открытии <table border="1" data-bbox="721 358 1461 445"> <tr> <td>d</td> <td>25</td> <td>50</td> <td>75</td> <td>100</td> <td>150</td> <td>175</td> <td>200</td> <td>250</td> </tr> <tr> <td>ξ</td> <td>1,03</td> <td>0,75</td> <td>0,60</td> <td>0,51</td> <td>0,40</td> <td>0,37</td> <td>0,34</td> <td>0,31</td> </tr> </table>									d	25	50	75	100	150	175	200	250	ξ	1,03	0,75	0,60	0,51	0,40	0,37	0,34	0,31										
d	25	50	75	100	150	175	200	250																													
ξ	1,03	0,75	0,60	0,51	0,40	0,37	0,34	0,31																													
Вентиль Косва (полное открытие)	$\xi = 1,4 \div 2,5$																																				
Вентиль Рей (полное открытие)	$\xi = 2,0 \div 2,7$																																				
Пробковый кран 	<table border="1" data-bbox="721 739 1461 940"> <tr> <td>β^0</td> <td>5</td> <td>10</td> <td>15</td> <td>20</td> <td>25</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>ξ</td> <td>0,05</td> <td>0,29</td> <td>0,75</td> <td>1,56</td> <td>3,10</td> <td>5,47</td> </tr> <tr> <td>β^0</td> <td>40</td> <td>45</td> <td>50</td> <td>55</td> <td>60</td> <td>67</td> </tr> <tr> <td>ξ</td> <td>17,3</td> <td>31,2</td> <td>52,6</td> <td>103</td> <td>216</td> <td>∞</td> </tr> </table>									β^0	5	10	15	20	25	30	ξ	0,05	0,29	0,75	1,56	3,10	5,47	β^0	40	45	50	55	60	67	ξ	17,3	31,2	52,6	103	216	∞
β^0	5	10	15	20	25	30																															
ξ	0,05	0,29	0,75	1,56	3,10	5,47																															
β^0	40	45	50	55	60	67																															
ξ	17,3	31,2	52,6	103	216	∞																															

Наименование местного сопротивления	Коэффициент местного сопротивления (КМС)									
Кран двойной регулировки при полном открытии	$\xi = 2 \div 4$									
Дисковый (дроссельный, поворотный) клапан	$m = 0,10$ <table border="1" data-bbox="719 899 1465 957"> <tr> <td>β^0</td> <td>0</td> <td>5</td> <td>10</td> <td>20</td> <td>30</td> <td>40</td> <td>50</td> <td>60</td> </tr> </table>	β^0	0	5	10	20	30	40	50	60
β^0	0	5	10	20	30	40	50	60		

Наименование местного сопротивления	Коэффициент местного сопротивления (КМС)									
	ξ	0,0 5	0,2 3	0,4 8	1,6 3	4,0	10, 8	32	131	
	$m = 0,15$									
	β^0	0	5	10	20	30	40	50	60	
	ξ	0,1 5	0,3 0	0,5 2	1,6 3	4,0	10, 8	32	131	
	$m = 0,20$									
	β^0	0	5	10	20	30	40	50	60	
	ξ	0,2 7	0,3 1	0,5 8	1,6 3	4,0	10, 8	32	131	
	$m = 0,25$									
	β^0	0	5	10	20	30	40	50	60	
	ξ	0,3 5	0,4 5	0,6 3	1,6 3	4,0	10, 8	32	131	

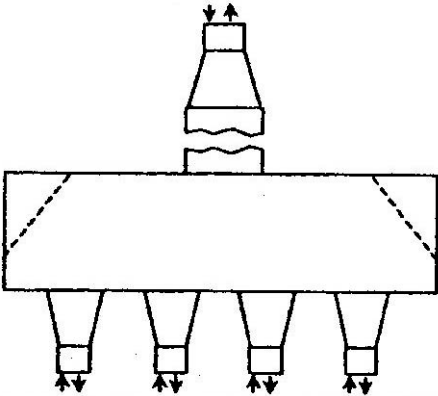
Наименование местного сопротивления	Коэффициент местного сопротивления (КМС)									
Шарнирный клапан 	β^0		70	65	60	55	50	45		
	ξ		1,7	2,3	3,2	4,6	6,6	9,5		
	β^0		40	35	30	25	20	15		
	ξ		14	20	30	42	62	90		
Кольцевой затвор	β^0		10	20	30	40	50	60	70	90
	ξ		33	9,4	4,1	2,3	1,45	0,92	0,70	0,67
	$\nu = \frac{2S}{d} \cdot 100\%$									

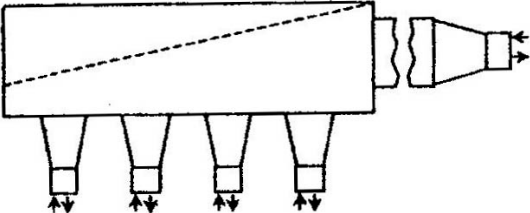
Наименование местного сопротивления	Коэффициент местного сопротивления (КМС)
 <p>The diagram shows a conical valve in a pipe. The valve is partially open, with a conical plug. The distance from the valve to the pipe section is labeled 's'. A circular cross-section view to the right shows a four-lobed shape.</p>	
<p>Конусный клапан</p>  <p>The diagram shows a conical valve in a pipe. The valve is partially open, with a conical plug. The diameter of the pipe is labeled 'd' and the height of the valve is labeled 'h'.</p>	$\xi = 0,6 + \frac{0,15}{\left(\frac{h}{d}\right)^2}$

Наименование местного сопротивления	Коэффициент местного сопротивления (КМС)																
Шаровый клапан 	$\xi = 2,7 - \frac{0,8}{\frac{h}{d}} + \frac{0,14}{\left(\frac{h}{d}\right)^2}$																
Приемные клапаны насосов	$\xi = 5 \div 6$																
Обратный клапан (d – диаметр трубы, мм)	<table border="1" data-bbox="719 611 1461 701"> <tbody> <tr> <td><i>d</i></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>ξ</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> </tbody> </table>	<i>d</i>	40	70	100	200	300	500	750	ξ	1,3	1,4	1,5	1,9	2,1	2,5	2,9
<i>d</i>	40	70	100	200	300	500	750										
ξ	1,3	1,4	1,5	1,9	2,1	2,5	2,9										

Наименование местного сопротивления	Коэффициент местного сопротивления (КМС)														
Компенсаторы: а) сальниковый разгруженный; б) П-образный гладкий (d – диаметр трубы, мм); в) лирообразный гладкий; г) лирообразный с фальцами	а) $\xi = 0,2$ б) <table border="1" data-bbox="721 344 1463 434" style="margin: 10px auto;"> <tr> <td><i>d</i></td> <td>50</td> <td>100</td> <td>200</td> <td>300</td> <td>400</td> <td>500</td> </tr> <tr> <td>ξ</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> в) $\xi = 1,7 \div 2,6$ г) $\xi = 2,0 \div 3,5$	<i>d</i>	50	100	200	300	400	500	ξ	2,0	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9
<i>d</i>	50	100	200	300	400	500									
ξ	2,0	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9									
Водоотделитель	$\xi = 8 \div 12$														
Грязевик	$\xi = 4 \div 6$														
Тройники:	<table border="1" data-bbox="721 800 1463 943" style="margin: 10px auto;"> <tr> <td><i>a)</i> $\xi = 0,5$</td> <td><i>б)</i> $\xi = 1,0$</td> </tr> <tr> <td><i>в)</i> $\xi = 0,05$</td> <td><i>г)</i> $\xi = 0,15$</td> </tr> <tr> <td><i>д)</i> $\xi = 1,5$</td> <td><i>е)</i> $\xi = 3,0$</td> </tr> </table>	<i>a)</i> $\xi = 0,5$	<i>б)</i> $\xi = 1,0$	<i>в)</i> $\xi = 0,05$	<i>г)</i> $\xi = 0,15$	<i>д)</i> $\xi = 1,5$	<i>е)</i> $\xi = 3,0$								
<i>a)</i> $\xi = 0,5$	<i>б)</i> $\xi = 1,0$														
<i>в)</i> $\xi = 0,05$	<i>г)</i> $\xi = 0,15$														
<i>д)</i> $\xi = 1,5$	<i>е)</i> $\xi = 3,0$														

Наименование местного сопротивления	Коэффициент местного сопротивления (КМС)
<p>а) б) </p> <p>в) г) </p> <p>д) е) </p>	
<p>Крестовины: а) на проходе б) на повороте</p>	<p>а) $\xi = 2,0$ б) $\xi = 3,0$</p>
<p>Коробы с центральным подводом (отводом)</p>	<p>а) раздающие коробы $\xi = 1,1 + 0,7(F_n / F_0)^2$</p> <p>б) собирающие $\xi = 1,1 + 0,7(F_n / F_0)^2$</p> <p>$F_n / F_0$ суммарные площади сечения подводящих и отводящих каналов</p>

Наименование местного сопротивления	Коэффициент местного сопротивления (КМС)
 <p>The diagram shows a rectangular distribution box. At the top center, there is a vertical inlet pipe with a square flange and an upward-pointing arrow. At the bottom, there are four vertical outlet pipes, each with a square flange and a downward-pointing arrow. Dashed lines on the top surface of the box indicate the internal branching structure.</p>	
Коробы с торцевым подводом (отводом)	а) раздающие коробки

Наименование местного сопротивления	Коэффициент местного сопротивления (КМС)
	$\xi = 0,7 + (0,5 - 0,7(F_n/F_0))^2 + 0,7(F_n/F_0)^2$ б) собирающие коробки $\xi = 1,1 + 0,9(F_n/F_0)^2 + 0,5(1 - F_0/F_k)(F_n/F_0)^2$ где F_k - площадь поперечного сечения короба
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;	$\xi = 1,5$ $\xi = 2,5$ $\xi = 2,0$ $\xi = 1,5$ $\xi = 0,5$

Наименование местного сопротивления	Коэффициент местного сопротивления (КМС)
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 5

Таблица насосов

№ п/п	Марка насоса	Подача, Q		Полн ый напор, Н, м	Допустимая вакуумметричес кая высота всасывания
		в м ³ /ча с	в л/се к		
1	1 ½К –б и Е1 ½КМ- б	6	1,6	20,3	6,6
		11	3,0	17,4	6,7
		14	3,9	14	6,0
2	1 ½К – ба	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 – бб	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	30	8,3	62	7,7

№ п/п	Марка насоса	Подача, Q		Полн ый напор, Н, м	Допустимая вакуумметричес кая высота всасывания
		в м ³ /ча с	в л/се к		
	ЗКМ-6	45 60 70	12,5 16,7 19,5	57 50 44,5	6,7 5,6 4,7
10	ЗК-6а и ЗКМ-6а	30 40 50 65	8,3 11,1 13,9 18	45 41,5 37,5 30,0	7,5 7,1 6,4 5,3
11	ЗК-9	30 45 54	8,3 12,5 15	34,8 31 27	7 6 2,9
12	ЗК-9а	25 35 45	7 9,7 12,5	24,2 22,5 19,5	7 6,9 6,0
13	4К-6 и 4КМ-6	65 90 115 135	18 25 32 37,5	98 91 81 72,5	7,1 6,2 5,1 4
14	4К-6а и 4КМ-6а	65 85 105 125	18,0 23,6 29,2 34,7	82,0 76,0 69,5 61,6	7,1 6,4 5,5 4,6
15	4К-8 и 4КМ-8	70 90 109 120	19,4 25 30,4 33,4	59 54,9 47,8 43	5,3 5 4 3,8
16	4К-8а и 4КМ-8а	70 90 109	19,4 25 30,4	48 43 36,8	5,3 5 4
17	4К-12 и 4КМ-12	65 90	18 25	37,7 34,6	6,7 5,8

№ п/п	Марка насоса	Подача, Q		Полн ый напор, Н, м	Допустимая вакуумметричес кая высота всасывания
		в м ³ /ча с	в л/се к		
		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 6ЛБ-8а	110	30,6	30,5	6,6
		140	38,8	28,6	6,3
		170	47,2	25,8	5,9
		180	50	25	5,8
23	6Л-8б и 6КМ-8б	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	220	61,1	32	6,5

№ п/п	Марка насоса	Подача, Q		Полн ый напор, Н, м	Допустимая вакуумметричес кая высота всасывания
		в м ³ /ча с	в л/се к		
	8КМ-12	280 340	77,8 94,5	29,4 25,4	5,6 4,7
27	8К-12а	200	55,6	26	6,7
	и	250	69,5	24	6,1
	8КМ-12а	290	80,5	21,8	5,5
28	8К-18 и	220	61	20,7	6,2
	8КМ-18	285	79,1	18,9	5,5
		360	100	15	5
29	8К-18а	200	55,5	17,5	6,5
	и	260	72,2	15,7	5,7
	8КМ-18а	320	89	12,7	5,2

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гидравлические расчеты в теплоэнергетике: Учеб. пособие/ А.Н. Глушаков, В.В. Фалеев; Воронеж, политехн. ин-т. Воронеж, 1991. – 85 с.
2. Альтшуль А.Д. Гидравлические сопротивления. 2-е изд. - М.: Недра, 1982. - 223 с.
3. Емцев Б.Т. Техническая гидромеханика: Учеб. для вузов. 2-е изд. М.: Машиностроение, 1987. - 440 с.
4. Сборник задач по гидроаэромеханике: Учеб. пособие/ Г.С. Самойлович. В.В. Нитусов. - М.: Машиностроение, 1986. - 162 с.
5. Теплофизические свойства веществ. Справочник. - М.: Энергоиздат, 1962. - 406 с.

СОДЕРЖАНИЕ

I ОБЩИЕ МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО КУРСОВОЙ РАБОТЕ.....	2
II ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ РАЗВЕТВЛЕННОГО ТРУБОПРОВОДА.....	5
III ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ КОРОТКОГО ТРУБОПРОВОДА.....	21
IV ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СОПЛА ЛАВАЛЯ....	28
ПРИЛОЖЕНИЕ 1.....	35
ПРИЛОЖЕНИЕ 2.....	37
ПРИЛОЖЕНИЕ 3.....	40
ПРИЛОЖЕНИЕ 4.....	42
Библиографический список.....	65

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по выполнению курсовой работы по дисциплинам
«Гидравлика» и «Прикладная гидрогазодинамика» для
студентов специальности 160700.65, 24.05.02
«Проектирование авиационных и ракетных двигателей» очной
формы обучения

Составители: Дроздов Игорь Геннадьевич
Шматов Дмитрий Павлович
Винокуров Иван Владимирович

ФГБОУ ВПО Воронежский государственный технический
университет
394026 Воронеж, Московский пр., 14