

Документ подписан простой электронной подписью

Информация о владельце:

ФИО: Блинова Светлана Павловна

Должность: Заместитель директора по учебно-воспитательной работе

Дата подписания: 22.05.2023 09:21:45

Уникальный программный ключ:

1cafd4e102a27ce11a89a2a7ceb20237f3ab5c65

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего образования**  
**«Норильский государственный индустриальный институт»**  
**Политехнический колледж**

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ЗАОЧНОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ**

специальности

15.02.07 Автоматизация технологических процессов и производств (по  
отраслям)

**ГИДРАВЛИКА, ПНЕВМАТИКА И ТЕРМОДИНАМИКА**

2020

**Методические указания для студентов заочной формы обучения**  
специальности 15.02.07 Автоматизация технологических процессов и  
производств (по отраслям)

по дисциплине «**Гидравлика, пневматика и термодинамика**»

Организация-разработчик: Политехнический колледж ФГБОУ  
ВО «Норильский государственный индустриальный институт»

Разработчик: Стрельникова Л.И. - преподаватель

Рассмотрена на заседании цикловой комиссии автоматизации  
технологических процессов

Председатель комиссии \_\_\_\_\_ Колупаева Е.А.

Утверждена методическим советом политехнического колледжа ФГБОУ  
ВО «Норильский государственный индустриальный институт».

Протокол заседания методического совета №\_\_ от «\_\_»\_\_\_\_\_2018г.

Зам. директора по УР \_\_\_\_\_ С.П. Блинова

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1. Тематический план.....	5
2. Содержание дисциплины.....	6
3. Методические указания по выполнению контрольной работы.....	18
Список использованных источников.....	41
Приложение А. Пример оформления титульного листа контрольной работы.....	61
Приложение Б Пример оформления содержания контрольной работы.....	62

## Введение

Методические указания составлены по примерной программе дисциплины «Гидравлика, пневматика и термодинамика», предназначенной для студентов специальности 15.02.07 Автоматизация технологических процессов и производств (по отраслям)

Программой дисциплины «Гидравлика, пневматика и термодинамика» предусматривается изучение основных законов гидравлики, изучение конструкции, назначения и принципа действия гидравлических машин, основы газовой динамики, изучение устройств гидравлических и пневматических приводов.

Для закрепления теоретических знаний, приобретения необходимых практических навыков и умений программой дисциплины предусматривается решение технических задач, таких как: гидравлический расчет трубопроводов и выбор марки насоса по каталогу.

В результате изучения данной дисциплины студенты должны

**знать:**

- назначение рабочих жидкостей;
- основные физические свойства жидкостей;
- понятие вязкости жидкости;
- силы, действующие на жидкость;
- понятие гидростатического давления и его свойства;
- единицы измерения гидростатического давления в системе СИ;
- основное уравнение гидростатики;
- уравнение неразрывности потока;
- уравнение Бернулли для идеальной и реальной жидкости;
- виды движения жидкости;
- режимы течения жидкостей;
- причины потерь напора по длине;
- сущность явления гидравлического удара;
- меры борьбы с гидравлическим ударом;
- назначение, классификацию и область применения основных типов насосов;
- устройство и принцип действия насосов и гидродвигателей;
- основные газовые законы и уравнения состояния идеального газа;
- основные параметры насосов и гидродвигателей;
- назначение, классификацию гидроприводов;
- назначение и область применения управляющей и регулирующей гидроаппаратуры;
- типовые схемы гидропривода;
- условные графические обозначения элементов гидропривода и пневмопривода;

- основные понятия и классификацию пневмопривода.

**уметь:**

- определять абсолютное гидростатическое давление;
- определять величину манометрического и вакуумметрического давления;
- определять расход жидкости;
- скорость потока и расход с помощью трубки Пито и трубки Вентури;
- производить построение пьезометрической и напорной линий;
- определять режимы течения жидкости для различных условий;
- выполнять гидравлический расчет простого трубопровода;
- определять основные параметры, характеризующие работу насоса и гидродвигателя;
- выбирать марку насоса по каталогу;
- рассчитывать параметры состояния рабочего тела;
- составлять принципиальные схемы гидроприводов;
- определять состояние рабочей среды пневмопривода.

## Наименование тем

Введение
Раздел 1. Основные законы гидростатики
1.1 Характеристики рабочих жидкостей.
1.2 Гидростатическое давление и его свойства.
Раздел 2. Теоретические основы гидродинамики
2.1 Гидравлические элементы потока. Виды движения жидкости.
2.2 Уравнение Бернулли для идеальной и реальной жидкости.
2.3 Режимы движения жидкостей. Критерий Рейнольдса.
2.4 Гидравлические сопротивления. Гидравлический удар.
Раздел 3. Основные типы насосов и гидродвигателей
3.1 Основные понятия о гидравлических машинах
3.2 Центробежные и поршневые насосы
Раздел 4. Теоретические основы термодинамики
4.1 Основные параметры состояния тела. Основные газовые законы.
Раздел 5. Гидравлические приводы
5.1 Основные понятия гидропривода. Управляющая, регулирующая и вспомогательная аппаратура гидропривода
Раздел 6. Рабочая среда пневмоприводов. Пневматические приводы. Комбинированные приводы.
6.1 Основные понятия и структурный состав пневмоприводов. Классификация и основные параметры компрессоров

## Содержание дисциплины

### Введение

Знание дисциплины, ее связь с другими изучаемыми дисциплинами, цель и задачи дисциплины.

### Раздел 1. Основные законы гидростатики

#### Тема 1.1. Характеристики рабочих жидкостей

##### *Вопросы темы*

Основные определения и свойства жидкостей. Характеристики рабочих жидкостей. Выбор рабочих жидкостей по назначению и условия эксплуатации. Плотность, удельный объем, удельный вес, вязкость, капиллярность. Приборы для измерения вязкости жидкости. Определение высоты капиллярного подъема.

##### *Вопросы для самоконтроля знаний*

1. Чем отличается сжимаемость жидкости от газов.
2. Единицы измерения динамической и кинематической вязкости жидкости.
3. Как изменяется вязкость капельных жидкостей и газов при изменении их температуры.
4. Каким прибором измеряется вязкость жидкости.
5. Как изменяется коэффициент поверхностного натяжения жидкости с увеличением температуры.
6. Как изменяется плотность жидкости при увеличении температуры.

Рекомендуемая литература:

[ 1 с.5], [6 с.11]

#### Тема 1.2 Гидростатическое давление и его свойства

##### *Вопросы темы*

Гидростатическое давление и его свойства. Основное уравнение гидростатики. Закон Паскаля. Приборы для измерения давления. Схема, устройство и принцип действия гидравлического пресс. Гидравлические аккумуляторы.

##### *Вопросы для самоконтроля знаний*

1. Какие силы действуют на жидкость, находящуюся в покое.
2. Какие силы действуют на жидкость, находящуюся в движении.
3. Какой параметр рассчитывается по основному уравнению гидростатики.
4. Какое давление называется полным или абсолютным.
5. Какое давление называется манометрическим.
6. Какое давление называется вакуумметрическим
7. Как называются силы, возникающие в результате скольжения слоев жидкости.

8. Что измеряет пьезометрическая высота.
9. Что поднимается над поверхностью уровня.

Рекомендуемая литература:

[ 4 с.20], [ 6 с.23]

## **Раздел 2. Теоретические основы гидродинамики**

### **Тема 2.1 Гидравлические элементы потока. Виды движения жидкости**

*Вопросы темы*

Гидравлические элементы потока. Расход, средняя скорость. Уравнение неразрывности струи, постоянства расхода. Виды движения жидкости.

Понятие о потоке и элементарной струйке жидкости.

*Вопросы для самоконтроля знаний*

1. Что такое пьезометрическая высота?
2. Что следует из уравнения постоянства расхода?
3. Что показывает уравнение неразрывности потока?
4. Дать определение установившемуся, неустановившемуся, равномерному, неравномерному, напорному и безнапорному движению жидкости.

Рекомендуемая литература:

[ 1, с.47 ].

### **Тема 2.2 Уравнение Бернулли для идеальной и реальной жидкости**

*Вопросы темы*

Уравнение Бернулли для потока идеальной и реальной жидкости. Баланс напоров. Водомер Вентури. Измерение расходов жидкости.

*Вопросы для самоконтроля знаний*

1. Объяснить смысл понятия геометрическая (нивелирная) высота.
2. Какие параметры потока жидкости связывает между собой уравнение Бернулли.
3. Какой закон представляет собой уравнение Бернулли.
4. Сформулировать геометрический смысл уравнения Бернулли.
5. В чем отличие в записи уравнения Бернулли для потока идеальной и реальной жидкости?
6. Объяснить, в результате чего изменяется величина пьезометрической высоты и высоты скоростного напора от одного сечения к другому.
7. Изменится ли величина полного гидродинамического напора трубопровода для идеальной жидкости и почему.
8. Изменится ли величина полного гидродинамического напора в конце трубопровода для реальной жидкости и почему.

Рекомендуемая литература:

[1 с.55], [4 с.54], [6 с.56].



## **Тема 2.3 Режимы движения жидкостей. Критерий Рейнольдса**

### *Вопросы темы*

Ламинарный и турбулентный режимы движения жидкости в трубах.  
Критерий Рейнольдса.

### *Вопросы для самоконтроля знаний*

1. Охарактеризовать режимы движения жидкости.
2. Какое число Рейнольдса называется критическим.
3. Какая скорость называется критической.
3. С какой целью определяется число Рейнольдса.
4. Охарактеризовать распределение скорости по сечению трубопровода при различных режимах.

Рекомендуемая литература:

[ 1, с.72 ].

## **Тема 2.4 Гидравлические сопротивления. Гидравлический удар**

### *Вопросы темы*

Классификация гидравлических сопротивлений. Формула Дарси-Вейсбаха. Коэффициент гидравлического трения. Потери напора по длине трубопровода. Местные потери напора. Гидравлический удар. Расчет простого трубопровода.

### *Вопросы для самоконтроля знаний*

1. Чем обусловлены линейные потери напора.
2. Дать определение коэффициента местного сопротивления. Каким образом он определяется.
3. Дать определение коэффициента гидравлического трения. Каким образом он определяется.
4. С какой целью используется номограмма Мурина.
5. Дать классификацию гидравлических сопротивлений.
6. Пояснить процесс гидравлического удара
7. Выражение для определения ударного давления.
8. Дать классификацию трубопроводов.
9. Дать определение простому трубопроводу.
10. Какие трубопроводы считаются короткими.
11. Определение суммарных потерь напора по длине трубопровода.
12. Какие трубопроводы считаются сложными.
13. Чем обусловлены потери напора по длине трубопровода.
14. Как изменяется сопротивление трубопровода при кавитации.

Рекомендуемая литература:

[1, с.95 ], [4, с.69,95 ], [ 5, с.74 ].

### **Раздел 3. Основные типы насосов и гидродвигателей**

#### **Тема 3.1 Основные понятия и о гидравлических машинах**

##### *Вопросы темы*

Типы насосов и гидродвигателей, их классификация. Основные параметры, характеризующие работу насосов. Назначение и область применения основных типов насосов и гидродвигателей. Подача, напор, мощность, КПД, высота всасывания, число оборотов.

##### *Вопросы для самоконтроля знаний*

1. Указать классификацию гидравлических машин.
2. Указать классификацию насосов.
3. Указать классификацию гидродвигателей.
4. На чем основан принцип работы динамических насосов и гидродвигателей.
5. На чем основан принцип работы объемных насосов и гидродвигателей
6. Какие потери учитывает КПД насоса.

Рекомендуемая литература:

[5, с.86 ], [4, с.121 ].

#### **Тема 3.2 Центробежные и поршневые насосы**

##### *Вопросы темы*

Классификация, принцип действия лопастных насосов. Основные технические показатели и характеристики. Определение мощности, напора и КПД насоса. Работа с каталогами. Классификация центробежных насосов. Достоинства и недостатки центробежных насосов. Поршневые насосы. Достоинства и недостатки поршневых насосов. Параметры, характеризующие работу поршневых насосов. Шестерные и винтовые насосы. Схема и принцип действия шестерных и винтовых насосов.

##### *Вопросы для самоконтроля знаний*

1. Как определяется полный напор создаваемый насосом.
2. Дать определение полезной и потребляемой мощности.
3. Дать определение производительности насоса.
4. Какие бывают способы регулирования работы центробежного насоса.
5. Что называется технической характеристикой насоса.
6. Что называется рабочей характеристикой насоса.
7. На чем основан принцип работы поршневого насоса?
8. Дать определение поршневого насоса одностороннего действия.
9. Дать определение поршневого насоса двойного действия.
10. Перечислить достоинства поршневого насоса
11. Перечислить недостатки поршневого насоса.
12. Пояснить устройство и принцип работы поршневого насоса одностороннего действия.
13. Пояснить устройство и принцип работы поршневого насоса двойного действия.

Рекомендуемая литература:

[1, с.125, с.234], [5, с.91,105 ], [4, с.124].

## **Раздел 4. Теоретические основы термодинамики**

### **4.1 Основные параметры состояния тела. Основные газовые законы**

*Вопросы темы*

Основные параметры состояние тела. Основные законы идеальных газов.

Практическое применение основных газовых законов. Основные термодинамические процессы в газах.

*Вопросы для самоконтроля знаний*

1. Определение основных параметров газов.
2. Определение величины абсолютного давления при разрежении.
3. Определение величины абсолютного давления при избыточном давлении.
4. Уравнения состояния идеального газа (для 1 кг, М кг; 1 кмоль газа).
5. Дать определение параметров состояния газа.
6. Определение манометрического давления.
7. Определение вакуумметрического давления.
8. Какие условия называются нормальными.
9. Пояснить физический смысл универсальной газовой постоянной.
10. Пояснить физический смысл газовой постоянной.
11. Перечислить и охарактеризовать основные термодинамические процессы.

Рекомендуемая литература:

[4, с.169 ], [5, с.166] .

## **Раздел 5. Гидравлические приводы**

### **Тема 5.1 Основные понятия и определения гидропривода.**

**Управляющая, регулирующая и вспомогательная аппаратура гидропривода**

*Вопросы темы*

Классификация гидроприводов. Принцип работы гидравлического привода. Основные элементы гидроприводов, их назначение. Требования к гидроприводам и область применения. Достоинства и недостатки гидроприводов. Вспомогательная аппаратура: гидробаки, фильтры, аккумуляторы, теплообменники. Регулирующая и управляющая гидроаппаратура.

*Вопросы для самоконтроля знаний*

1. Дать определение гидропривода.
2. Перечислить составные части гидроприводов.
3. Перечислить достоинства гидроприводов.

4. Перечислить недостатки гидроприводов.
5. Какие гидроприводы называются объемными?
6. Назначение управляющей гидроаппаратуры.
7. Назначение регулирующей гидроаппаратуры.
8. Назначение и разновидности дроссельных устройств.
9. Для чего служат регулирующие гидроклапаны.
10. Для чего служат направляющие гидроклапаны.
11. Требования, предъявляемые к фильтрующим материалам.
12. Назначение и устройство гидробаков.
13. Назначение и разновидности гидроаккумуляторов.
14. Условные графические обозначения элементов гидропривода.
15. Какие гидроприводы называются регулируемыми.
16. Какие гидроприводы называются нерегулируемыми.

Рекомендуемая литература:

[ 1, с.288-295 ], [ 5, с.115,138-157 ] .

## **Раздел 6. Рабочая среда пневмоприводов. Пневматические приводы. Комбинированные приводы**

### **Тема 6.1 Основные понятия и структурный состав пневмоприводов.**

#### *Вопросы темы*

Основные требования, предъявляемые к рабочей среде пневмопривода. Основные понятия и структурный состав пневмоприводов. Классификация пневмоприводов. Условные графические обозначения элементов пневмоприводов. Достоинства и недостатки пневмоприводов. Устройство и принцип действия компрессора. Достоинства и недостатки типов компрессоров. Управляющая аппаратура (распределители, краны). Регуляторы давления. Вспомогательная аппаратура пневмоприводов.

#### *Вопросы для самоконтроля знаний*

1. Что является рабочим телом в пневмоприводах.
2. Требования, предъявляемые к рабочей среде пневмопривода.
3. Способы и методы подготовки рабочей среды.
4. Дать определение пневмопривода.
5. Перечислить составные части пневмоприводов.
6. Перечислить преимущества пневмоприводов.
7. Перечислить недостатки пневмоприводов.
8. По каким признакам классифицируются пневмоприводы.
9. Какие пневмодвигатели называют реверсивными и нереверсивными.
10. Какие компрессоры называют одноступенчатыми.
11. Какие компрессоры называют многоступенчатыми.
12. С какой целью применяют охлаждение рабочей среды в компрессоре.
13. Какая среда используется для охлаждения в компрессоре.

14. С какой целью применяют пневмодроссели.
15. Какие бывают устройства пневмодросселей.
16. С какой целью применяют пневмоклапаны.
17. С какой целью применяют пневмораспределители.

Рекомендуемая литература:  
[5, с 216, 236, 275, 291, 302].

### **3 МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНОЙ РАБОТЫ**

Для успешной сдачи экзамена по данной дисциплине студентам необходимо самостоятельно изучить темы разделов и подготовить ответы на вопросы самоконтроля знаний после каждой темы; выполнить письменно задание в соответствии с указаниями к контрольной работе.

Контрольная работа выполняется в отдельной тетради.

При оформлении контрольной работы необходимо указывать тему, задание, порядок расчета, вывод и список, используемой литературы. Номер варианта соответствует порядковому номеру студента по журналу.

*Работа должна быть правильно оформлена:*

- написана разборчиво;
- лист бумаги должен иметь поля (не менее 2,5 см);
- составлен список изученной литературы;
- страницы должны быть пронумерованы;
- последний лист оставить свободным для рецензии.

Контрольная работа выполняется в сроки установленные графиком учебного процесса.

Если работа не зачтена, то необходимо выполнить рекомендации по доработке в той же тетради и представить ее вновь на рецензирование.

*Основания для неачета контрольной работы:*

- отсутствие вопросов перед ответами;
- неверные, неточные и неконкретные ответы на поставленные вопросы;
- неправильно решенные задачи;
- неправильное, небрежное оформление работы.

Номер варианта задачи соответствует порядковому номеру студента в журнале. Вычисления выполняются с точностью до 2 значащих цифр, после запятой. Использовать размерность системы СИ. Размерность физических величин в окончательных результатах указывать обязательно.

При оформлении решения задач необходимо полностью записать условие задачи, затем выписать отдельно (можно в табличной форме) исходные данные с указанием единиц измерения. Перед каждым математическим действием необходимо пояснить, какая величина определяется по указанной формуле. Формула сначала записывается в буквенном выражении, затем в нее подставляются численные значения и только потом пишется ответ с указанием единиц измерения. В конце задачи отдельно пишется ответ или при необходимости вывод.

## ЗАДАНИЕ 1

Изучить тему, выполнить решение задачи и ответить на вопросы самоконтроля знаний.

### Тема: Гидростатическое давление и его свойства

#### Теоретическая часть

Давление в любой точке покоящейся жидкости носит название полного или абсолютного гидростатического давления, и определяется по формуле:

$P_{\text{абс}}=P_0+ρgh$ -это уравнение называется **основным уравнением гидростатики**.

Оно показывает, что гидростатическое давление складывается из двух величин: давления  $P_0$  на внешней поверхности жидкости и давления обусловленного весом вышележащих слоев жидкости –  $ρgh$ .

Величина  $P_0$  является одинаковой для всех точек объема, учитывая это свойство гидростатического давления можно сказать, что давление, приложенное к внешней поверхности жидкости, передается всем точкам этой жидкости и по всем направлениям одинаково (закон Паскаль). Давление, обусловленное весом вышележащих слоев жидкости показывает величину избыточного давления в данной точке жидкости.

Гидростатическое давление обладает тремя важными свойствами:

1) Гидростатическое давление всегда направлено по внутренней нормали к площадке, на которую оно действует (по направлению к площадке, а не от нее).

2) Гидростатическое давление действует одинаково по всем направлениям, т.е. его значения не зависит от угла наклона площадки, на которую оно действует.

3) Гидростатическое давление в точке зависит от ее координат в пространстве. По мере увеличения глубины погружения точки под уровень жидкости давление в ней будет возрастать.

#### Единицы измерений и размерности давлений

Размерность гидростатического давления –  $\text{Н/м}^2=\text{Па}$

На практике давление часто измеряют в физических и технических атмосферах.

**Физической атмосферой** – называют среднее давление атмосферного воздуха на уровне моря при температуре  $0^\circ\text{C}$ .

$$1\text{ атм}=9,81 \cdot 10^4\text{ Па}=735,5\text{ мм рт ст}=10000\text{ мм вод ст.}$$

Атмосферное давление, измеряемое барометром, называют барометрическим и обозначают  $P_{\text{бар}}$ .

Давление выше атмосферного измеряют манометром и называется манометрическим или избыточным, и обозначается  $P_{\text{ман (изб)}}$

Давление ниже атмосферного измеряется вакууметром и называется вакууметрическим или разреженным, и обозначается  $P_{\text{вак (разр.)}}$

Сумму давлений манометрического и барометрического называют полным или абсолютным давлением:

$$P_{ABC} = P_{MAN(ИЗБ)} + P_{БАР} \quad (3.1)$$

Если процессы протекают при разрежении (вакууме), то полным давлением называют разность барометрического давления и разрежения:

$$P_{ABC} = P_{БАР} - P_{ВАК} \quad (3.2)$$

### Задача №1

Подсчитать манометрическое и абсолютное давления в баллоне в т. А (Рисунок 3.1) в двух случаях:

- 1) в баллоне и в левой трубке находится вода; в правой – ртуть.
- 2) в баллоне и в левой трубке находится воздух; в правой ртуть.

$$P_{ам} = 9,81 \cdot 10^4 \text{ Н/м}^2 = 98100 \text{ Н/м}^2; \gamma_{вод} = 9810 \text{ Н/м}^3; \gamma_{рт} = 133416 \text{ Н/м}^3;$$

$\gamma_{возд} = 12,62 \text{ Н/м}^3$ ;  $h_1$  (см) – высота столба жидкости (воздуха) в левой трубке;  $h_2$  (см) – высота столба ртути в правой трубке. Данные для расчета приведены в таблице 3.1

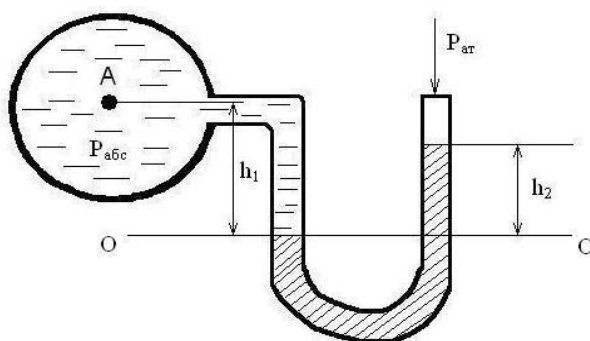


Рисунок 3.1

Таблица 3.1 - Расчетные данные к задаче №1

Вариант	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
$h_1$ , см	10	15	20	25	30	35	40	45	70	70	70	60	60	50	50	40
$h_2$ , см	20	30	40	45	50	60	60	70	65	50	45	40	30	30	20	30

### Вопросы самоконтроля знаний

1. Какие силы действуют на жидкость, находящуюся в покое?
2. Какие силы действуют на жидкость, находящуюся в движении?
3. Какой параметр рассчитывается по основному уравнению гидростатики?
4. Дайте формулу закона Паскаля.
5. Какое давление называется полным или абсолютным?
6. Какое давление называется манометрическим?
7. Какое давление называется вакуумметрическим?

Рекомендуемая литература:

[ 4 с.20], [ 6 с.23]



## ЗАДАНИЕ 2

Изучить тему, выполнить решение задачи и ответить на вопросы самоконтроля знаний.

### Тема: Гидравлические сопротивления

#### Теоретическая часть

При решении гидравлических задач на практике определяют величину потерь напора в трубопроводе на местных и линейных сопротивлениях. Линейные потери напора обусловлены силами трения между слоями жидкости, и возрастают пропорционально длине трубы.

Местные потери напора обусловлены местными сопротивлениями – элементами трубопровода, в которых скорость потока изменяется по величине и направлению.

*Определение линейных потерь напора.*

Потери напора по длине трубопровода определяют по формуле Дарси-Вейсбаха:

$$h_l = \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{w^2}{2g} \text{ м} \quad (3.3)$$

где  $\lambda$  – коэффициент гидравлического трения (коэффициент Дарси);

$d$  – диаметр трубопровода, м;

$\frac{w^2}{2g}$  – скоростной напор, м.

Коэффициент гидравлического трения  $\lambda$  определяется с помощью номограммы Г.А. Мурина (рисунок 3.2), составленного по результатам экспериментальных данных. На этом графике представлена зависимость коэффициента  $\lambda$  от числа Рейнольдса. Изменение коэффициента  $\lambda$  представлено рядом кривых, каждая из которых соответствует определенной относительной «гладкости», то есть отношению  $d/k_s$ , где  $k_s$  – эквивалентная шероховатость, равная диаметру фракции песка, из которого выполняется искусственная шероховатость.

Для определения коэффициента  $\lambda$  с помощью номограммы необходимо найти численное значение числа Рейнольдса по формуле:

$$R_e = \frac{wd}{\nu} \quad (3.4)$$

где  $w$  – средняя линейная скорость движения жидкости, м/с;

$d$  – диаметр трубы, м;

$\nu$  – кинематический коэффициент вязкости перекачиваемой жидкости, м/с.

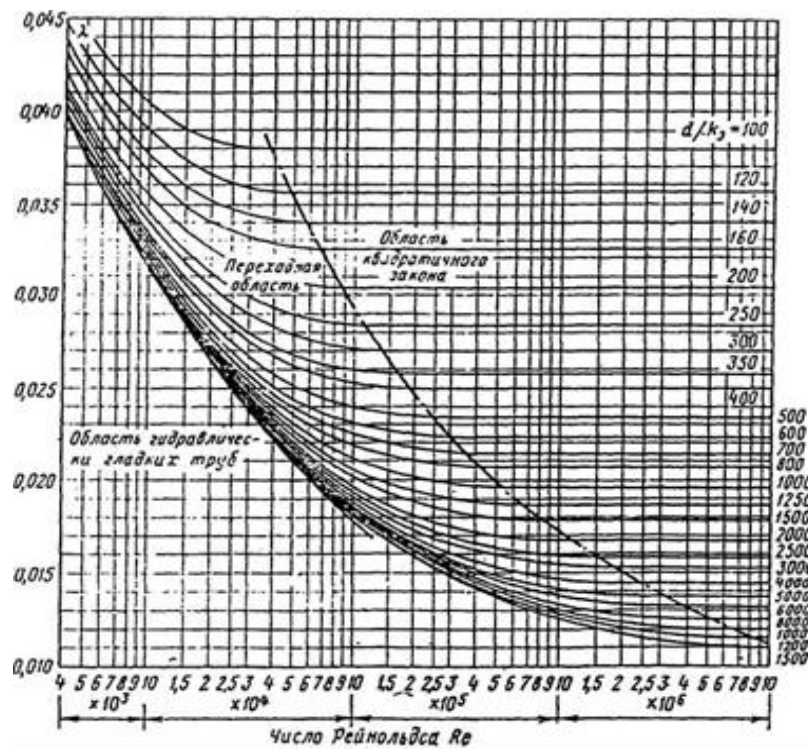


Рисунок 3.2- Зависимость коэффициента  $\lambda$  от числа Рейнольдса (номограмма Г.А. Мурина)

Затем восстановить перпендикуляр из соответствующего значения числа  $Re$  на оси абсцисс до пересечения с кривой, соответствующей значению относительной гладкости  $d/k_s$ , как показана на рисунке 3.3

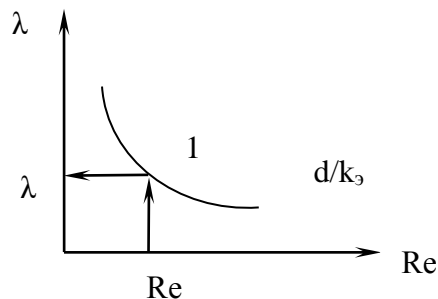


Рисунок 3.3 - Схема определения коэффициента  $\lambda$  по номограмме.

Из полученной точки 1 восстановить перпендикуляр на ось ординат и определить значение коэффициента  $\lambda$ .

Более точное значение коэффициента  $\lambda$  можно определить по эмпирическим формулам для соответствующих областей, наблюдаемых в потоке жидкости.

Область гидравлических гладких труб – это область ламинарного режима, где  $\lambda$  зависит только от числа Рейнольдса и определяется по формуле Пуазейля:

$$\lambda = 64 / Re \quad (3.5)$$

В переходной области коэффициент  $\lambda$  зависит от числа Рейнольдса и относительной шероховатости  $k_s/d$  и вычисляется по формуле А.Д. Альтшуля:

$$\lambda = 0,11 \left( \frac{k_s}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} \quad (3.6)$$

В области квадратичного закона с развитой шероховатостью труб для турбулентного режима  $\lambda$  вычисляется по формуле Шифринсона:

$$\lambda = 0,11 \left( \frac{k_s}{d} \right)^{0,25} \quad (3.7)$$

Потери напора на местных сопротивлениях обусловлены изменениями скорости потока по величине и направлению и определяется по формуле Вейсбаха:

$$h_m = \xi \frac{w^2}{2g} \quad (3.8)$$

где  $\xi$  - коэффициент местного сопротивления, определяемый опытным путем.

Численные значения коэффициентов местных сопротивлений приведены в таблице 3.4.

### Задача №2

Определить потери напора на трение по длине трубопровода с эквивалентной шероховатостью ( $k_s, мм$ ), диаметром  $d, м$  и длиной  $l, м$ . Если по нему транспортируется жидкость с кинематическим коэффициентом вязкости  $\nu, м^2/с$ . с расходом  $Q, м^3/с$ . Данные для расчета приводятся в таблице 3.2

Таблица 3.2 – Расчетные данные к задаче №2

№ варианта	$d, мм$	$l, м$	$k_s, мм$	$Q, (м^3/ч)$	$\nu, (м^2/с)$
1	100	200	0,1	220	$10^{-6}$
2	150	300	0,1	230	$10^{-6}$
3	160	400	0,1	240	$10^{-6}$
4	170	500	0,1	250	$10^{-6}$
5	180	600	0,1	260	$10^{-6}$
6	190	700	0,2	270	$10^{-6}$
7	200	800	0,2	280	$10^{-4}$
8	310	900	0,2	300	$10^{-6}$
9	320	1000	0,2	150	$10^{-6}$
10	330	1100	0,2	160	$10^{-6}$
11	340	1200	0,2	170	$10^{-6}$
12	350	1300	0,3	180	$10^{-6}$
13	400	1400	0,3	190	$10^{-6}$
14	350	1500	0,3	200	$10^{-4}$
15	400	1600	0,3	210	$10^{-4}$
16	450	1700	0,3	220	$10^{-4}$

### Задача №3

Определить местные потери напора, если жидкость входит в трубопровод с острыми кромками и движется со скоростью  $\omega$  (м/с) проходя два колена с закруглением  $R > 2d$ , через открытую на 3/4 задвижку. Данные для расчета приводятся в таблице 3.3.

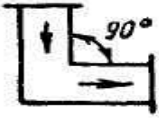
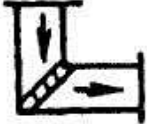
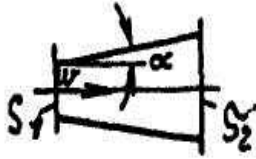

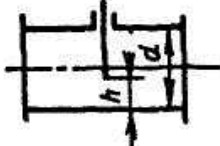


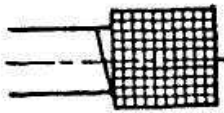
Таблица 3.3 – Расчетные данные к задаче №3

№ вариант	$\omega$ (м/с)	№ вариант	$\omega$ (м/с)	№ вариант	$\omega$ (м/с)	№ вариант	$\omega$ (м/с)
1	0,6	5	0,9	9	0,25	13	0,6,5
2	0,5	6	0,3	10	0,35	14	0,75
3	0,7	7	0,4	11	0,45	15	0,85
4	0,8	8	0,2	12	0,55	16	0,95

Таблица 3.4- Коэффициент местного сопротивления

Вид местного сопротивления	Эскиз фасонных частей	Коэффициент местного сопротивления
Внезапное расширение потока		$\varepsilon = \left( \frac{S_2}{S_1} - 1 \right)^2$
Внезапно сужение (по данным ЦАГИ)		$\varepsilon = 0,5 \left( 1 - \frac{S_2}{S_1} \right)$
Вход в трубу: 1) при острых кромках; 2) при закругленных кромках		$\varepsilon = 0,5$ 1) с плавным входом $\varepsilon = 0,2$ 2) с весьма плавным входом $\varepsilon = 0,05$
Выход из трубы в резервуар больших размеров, в том числе в реку		$\varepsilon = 1,0$
Колено (плавное закругленные с углом поворота 90°) То же для частных случаев: 1) при $R > 2d$ ; 2) при оптимальном соотношении: $R \approx (3+7)d$		Для труб малых сечений $\varepsilon = \left( 0,131 + 0,163 \left( \frac{d}{R} \right)^{2,5} \right)$ $\varepsilon = 0,5$ $\varepsilon = 0,3$

Продолжение таблицы 3.4

<p>Поворот на 90° угольником</p>		<p><math>\varepsilon=1,1</math></p>
<p>Прямое кольцо с направляющими лопатками</p>		<p><math>\varepsilon = 0,25 \div 0,40</math> В зависимости от профиля лопаток и расстояний между ними</p>
<p>Расходящийся переходный конус (диффузор)</p>		<p><math>\varepsilon = k \left( \frac{S_2}{S_1} - 1 \right)^2</math> при <math>\alpha = 2^\circ; 4^\circ; 6^\circ; 8^\circ; 15^\circ; 30^\circ; 60^\circ</math> соответственно <math>k = 0,12; 0,14; 0,16; 0,23; 0,35; 0,8; 0,95</math></p>
<p>Сходящийся переходный конус (кофузор)</p>		<p>При <math>7^\circ &lt; \beta &lt; 30^\circ</math> <math>\varepsilon = 0,18 \div 0,24</math> При <math>35^\circ &lt; \beta &lt; 80^\circ</math> <math>\varepsilon = 0,26 \div 0,35</math></p>
<p>Задвижка на круглой трубе: 1) полностью открыта; 2) при открытии на 3/4 (<math>h/d=3/4</math>) 3) при открытии на 1/2 (<math>h/d=1/2</math>)</p>		<p><math>\varepsilon=0,12</math> <math>\varepsilon=0,26</math> <math>\varepsilon=2,06</math></p>
<p>Кран на круглой трубе при среднем открытии (<math>\alpha=30^\circ</math>)</p>		<p><math>\varepsilon = 5 \div 7</math></p>
<p>Вентиль при среднем открытии</p>		<p><math>\varepsilon = 1 \div 3</math></p>
<p>Всасывающий клапан в сеткой на входе в заборную водопроводную трубу</p>		<p><math>\varepsilon = 5 \div 10</math></p>

*Вопросы для самоконтроля знаний*

1. Чем обусловлены местные потери напора?
2. С какой целью определяется число Рейнольдса?

3. С какой целью используется номограмма Мурина.
4. Дать определение коэффициента местного сопротивления. Каким образом он определяется.
5. Дать классификацию гидравлических сопротивлений.
6. Дать определение коэффициента гидравлического трения. Каким образом он определяется?

### **ЗАДАНИЕ 3**

Изучить тему, выполнить решение задачи и ответить на вопросы самоконтроля знаний.

#### **Тема: Определение параметров, характеризующих работу поршневого насоса**

##### **Теоретическая часть**

Поршневые насосы работают по принципу вытеснения жидкости при возвратно-поступательном движении поршня в гидроцилиндре. При этом поршень может быть выполнен в виде диска или плунжера — скалки (длинного цилиндрического штока).

Насос, у которого поршень выталкивает жидкость только одной торцевой частью, называют насосом одностороннего (просто́го) действия. Если цилиндр насоса имеет две рабочие камеры, расположенные по обеим сторонам поршня, и поршень поочередно выталкивает жидкость из них, то такой насос называют насосом двустороннего (двойного) действия.

Рассмотрим устройство и принцип работы насоса простого действия (рисунок 3.4). В цилиндре 1 поршень 2 со штоком 6 совершает возвратно-поступательное движение. При движении поршня вправо объем рабочей камеры 4 увеличивается, а давление в ней уменьшается и жидкость под действием атмосферного давления  $P_0$  из резервуара по всасывающей трубе 3 через всасывающий клапан  $K_в$  поступает в рабочую камеру. Когда поршень займет крайнее правое положение, жидкость заполнит рабочую камеру и процесс всасывания закончится. При движении поршня влево он давит на жидкость, заполнившую полость цилиндра и рабочую камеру, при этом всасывающий клапан  $K_в$  закрывается и жидкость через нагнетательный клапан  $K_н$  вытесняется в напорный трубопровод 5. Далее при вращении кривошипа 7 описанный цикл повторяется.

На рисунке 3.5 показана схема поршневого насоса двойного действия. При движении поршня диаметром  $D$  вправо в левой камере будет происходить всасывание через клапан  $K'_в$ , а в правой камере вода через клапан  $K''_н$  будет вытесняться в напорный трубопровод. При движении поршня влево через клапан  $K''_в$  в правой камере будет происходить всасывание, а в левой камере через клапан  $K'_н$  - нагнетание.

Многоцилиндровые насосы представляют собой соединение в одном агрегате нескольких насосов одинарного или двойного действия. Они приводятся в движение через общий вал от одного двигателя.

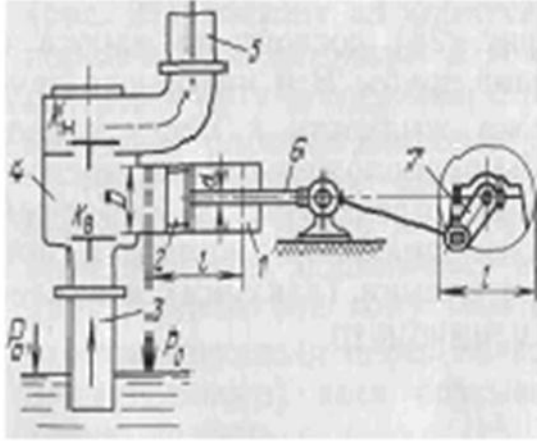


Рисунок 3.4- Схема поршневого насоса одностороннего действия

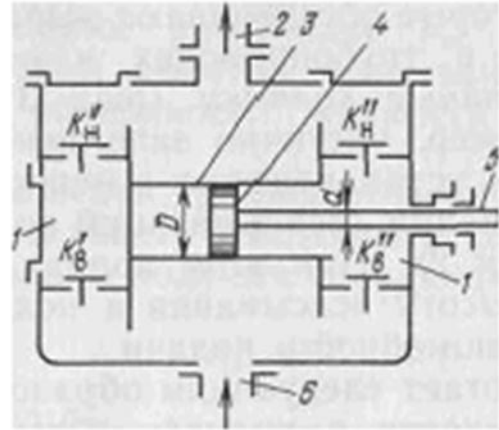


Рисунок 3.5- Схема поршневого насоса двойного действия

Поршневые насосы имеют следующие достоинства:

- возможность пуска в работу без предварительного залива жидкостью внутренней полости насоса и всасывающего трубопровода;
- независимость напора от расхода жидкости и возможность создания больших напоров при малых расходах;
- возможность комплектования с двигателем любого вида (электрическим, гидравлическим, пневматическим и др.).

К недостаткам этих насосов относятся:

- пульсирующая подача жидкости;
- большие размеры и масса, а следовательно, высокая стоимость;
- необходимость устройства больших и прочных фундаментов, удорожающих установку;
- наличие быстроизнашивающихся клапанов, удорожающих ремонт;
- малая возможность автоматизации управления, контроля и в особенности регулирования.

Поршневые насосы имеют весьма ограниченное применение. Их в основном используют для подпитки водой паровых котлов и при скважинном водоснабжении (штанговые насосы).

Одним из существенных недостатков поршневых насосов является неравномерная (пульсирующая) подача жидкости. Для уменьшения неравномерности движения жидкости устанавливаются воздушные - колпаки, которые обеспечивают выравнивание скорости движения жидкости в трубопроводах и ослабление гидравлических ударов.

### **Параметры, характеризующие работу поршневых насосов**

Действительная подача поршневого насоса простого действия:

$$Q_d = \eta_0 \cdot F \cdot l \cdot n \cdot i, \quad (3.9)$$

где  $\eta_0 = 0,85 - 0,95$  - объемный коэффициент подачи, учитывающий утечки жидкости через клапаны, уплотнения поршня, штока и др., а также приток воздуха с перекачиваемой жидкостью;

$F$  - площадь сечения поршня, м<sup>2</sup>;

$l$  - ход поршня, м;

$n$  - частота вращения кривошипа (или число двойных ходов поршня),

$i$  - число цилиндров насоса.

В насосах двойного действия рабочий объем той полости цилиндра, в которой находится шток, меньше на величину объема, занимаемого штоком. Подача такого насоса равна:

$$Q_d = \eta_0 \cdot (2F - f) \cdot l \cdot n \cdot i \quad (3.10)$$

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

Подача поршневого насоса зависит от частоты вращения кривошипа и пропорциональна скорости движения поршня. Скорость движения поршня, приводимого в действие шатунно-кривошипным механизмом, меняется от нуля в крайних мертвых точках до максимума в среднем положении, благодаря чему подача жидкости производится очень неравномерно.

Практически регулировать подачу работающего насоса невозможно.

Высота всасывания. При работе насоса в его всасывающей трубе создается разрежение, которое должно обеспечивать подъем жидкости от уровня ее в приемном резервуаре до оси насоса на высоту  $H_{вс}$ , создание скоростного напора в трубе и покрытие потерь энергии на этом пути  $h_{вс}$ .

Вертикальное расстояние  $H_{вс}$  называют геометрической высотой всасывания, т. е. разностью отметок свободной поверхности жидкости в приемном колодце и оси насоса.

Если записать уравнение Бернулли для сечения уровня свободной поверхности жидкости в колодце и оси насоса, то после преобразований получим следующее:

$$H_{вс} = \frac{P_0 - P_{вс}}{\rho g} - \frac{\omega_{вс}^2}{2g} - h_{вс}, \quad (3.11)$$

где  $\frac{P_0 - P_{вс}}{\rho g} = H_{вак}$  - вакуумметрическая высота всасывания;

-давление на свободной поверхности жидкости в резервуаре;

-давление во входе насоса;

-скорость движения жидкости во всасывающей трубе.

В работающем насосе жидкости сообщается дополнительная энергия, которая расходуется на преодоление сопротивлений в напорном трубопроводе и на подъем жидкости в резервуар.

Теоретически поршневой насос может создавать любой напор. Однако практически напор ограничивается прочностью отдельных деталей насоса и мощностью двигателя, приводящего насос в действие.

Вертикальное расстояние  $H_n$  от центра насоса до уровня воды в водосливном резервуаре называется геометрической высотой нагнетания.



Сумма геометрических высот  $H_{BC} + H_H$ , сложенная с суммой потерь энергии в системе, называется полным напором, т. е.

$$H = H_{BC} + H_H + h_{BC} + h_{ин} \quad (3.12)$$

Полный напор, развиваемый насосом, представляет собой количество энергии, сообщаемой насосом единице массы перекачиваемой жидкости. Он может быть определен как разность удельных энергий потока жидкости в сечениях, соответствующих началу нагнетательной и концу всасывающей труб. В этих сечениях обычно устанавливают манометры и вакуумметры.

Установленный перед входом в насос вакуумметр показывает величину разрежения во всасывающей трубе:

$$H_{вак} = \frac{P_0 - P_{вс}}{\rho g} \quad (3.13)$$

Установленный после насоса манометр показывает величину избыточного давления в нагнетательной трубе:

$$h_M = \frac{P_0 + P_{ман}}{\rho g} \quad (3.14)$$

С учетом показаний манометра и вакуумметра полный напор определяется по формуле :

$$h_M = \frac{P_0 + P_{ман}}{\rho g} \quad (3.15)$$

где  $h$  -вертикальное расстояние между точками присоединения приборов

Сумма трех величин: показаний манометра, вакуумметра и вертикального расстояния между точками присоединения приборов, выраженных в метрах столба жидкости, называется манометрическим напором насоса, т. е.

$$H_M = h + h + \Delta h \quad (3.16)$$

Тогда

$$H = H_M + \frac{\omega_n^2 - \omega_{вс}^2}{2g} \quad (3.17)$$

При равных диаметрах  $d_{BC} + d_H$ , а значит, и одинаковых скоростях  $w_{BC} = w_H$  полный напор будет равен манометрическому:

$$H = H_M \quad (3.17)$$

Мощность и к.п.д. насоса. Мощность, потребляемая поршневым насосом насосом  $N$ , кВт, определяется формулой:

$$N = \frac{\rho \cdot Q \cdot H}{102 \cdot \eta} \quad (3.17)$$

где  $Q = V/t$  -расход жидкости, т. е. объем жидкости, протекающей через цилиндр насоса в единицу времени, м<sup>3</sup>/с;

$H$  -полный напор, м;

$\eta_H = 0,6 - 0,9$  - общий (полный) к.п.д.насоса.

Коэффициент полезного действия насоса -это отношение полезной мощности  $N_{\text{п}}$  к мощности  $N$  на валу насоса:

$$\eta = N_{\text{пол}} / N \quad (3.17)$$

#### Задача №4 (Вариант 1-5)

Определить подачу и потребляемую мощность однопоршневого насоса двустороннего действия. Если диаметр цилиндра  $D, \text{ м}$ ; диаметр штока  $d, \text{ м}$ ; ход поршня  $L, \text{ м}$ , частота вращения кривошипа  $n$  об/мин; объёмный КПД  $\eta_0$ . Насос обеспечивает напор  $H, \text{ м}$ . Полный КПД насоса -  $\eta_H$ . Расчетные данные приведены в таблице 3.5

#### Задача №5 (Вариант 6-11)

Определить подачу и потребляемую мощность двух поршневого насоса двустороннего действия. Если диаметр цилиндра  $D, \text{ м}$ ; диаметр штока  $d, \text{ м}$ ; ход поршня  $L, \text{ м}$ , частота вращения кривошипа  $n$  об/мин; объёмный КПД  $\eta_0$ . Насос обеспечивает напор  $H, \text{ м}$ . Полный КПД насоса -  $\eta_H$ . Расчетные данные приведены в таблице 3.5

#### Задача №6 (Вариант 12-16)

Определить подачу и потребляемую мощность двух поршневого насоса одностороннего действия и если диаметр цилиндра  $D, \text{ м}$ ; диаметр штока  $d, \text{ м}$ ; ход поршня  $L, \text{ м}$ ; частота вращения кривошипа  $n, \text{ об/мин}$ ; объёмный КПД  $\eta_0$ . Насос обеспечивает напор  $H, \text{ м}$ . Полный КПД насоса -  $\eta_H$ . Расчетные данные приведены в таблице 3.5

Таблица 3.5-Расчетные данные к задачам №4;5;6

Пара метр	Вариант															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
$d, \text{ м}$	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,1	0,09	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04
$l, \text{ м}$	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,3	0,2
$n, \text{ об/мин}$	90	100	110	120	90	100	110	120	160	120	150	160	200	90	110	80
$\eta_H$	0,6	0,61	0,62	0,63	0,64	0,65	0,66	0,67	0,68	0,69	0,7	0,71	0,72	0,73	0,6	0,68
$\eta_0$	0,9	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	0,9	0,91	0,92	0,93	0,94	0,92
$H, \text{ м}$	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	80	70
$D, \text{ м}$	0,1	0,15	0,18	0,2	0,22	0,3	0,35	0,3	0,2	0,2	0,3	0,35	0,4	0,45	0,1	0,3

#### Вопросы для самоконтроля знаний

- 1 На чем основан принцип работы поршневого насоса.
- 2 Дать определение поршневого насоса одностороннего действия.
- 3 Дать определение поршневого насоса двойного действия.
- 4 Перечислить достоинства поршневого насоса.
- 5 Перечислить недостатки поршневого насоса.

- 6 Пояснить устройство и принцип работы поршневого насоса одностороннего действия.
- 7 Пояснить устройство и принцип работы поршневого насоса двойного действия.
- 8 Перечислить параметры, характеризующие работу поршневого насоса.
- 9 Как определяется полный напор поршневого насоса.
- 10 Как определяется мощность и КПД поршневого насоса.

Рекомендуемая литература:  
[4, с. 99]

#### **ЗАДАНИЕ 4**

Изучить тему, выполнить решение задачи и ответить на вопросы самоконтроля знаний.

#### **Тема: Расчет центробежного насоса. Выбор марки насоса по каталогу**

##### **Теоретическая часть**

Насос – это машина, в которой происходит преобразование механической энергии привода в гидравлическую энергию перекачиваемой жидкости, благодаря чему осуществляется ее движение.

На водопроводных станциях обычно применяют насосы общего назначения, допускающие перекачивание воды с температурой до  $85^{\circ}\text{C}$  и с содержанием твердых включений до  $3 \text{ г/л}$ , размером не более  $0,1 - 0,2 \text{ мм}$ .

На водопроводных станциях чаще всего устанавливаются горизонтальные насосы двухстороннего входа типа *Д*, а при подачах до  $0,08 \text{ м}^3/\text{с}$  – консольные насосы типа *К*. при больших подачах (свыше  $1 \text{ м}^3/\text{с}$ ) и при напорах от  $4$  до  $25 \text{ м}$  могут применяться осевые насосы.

Центробежные насосы с двухсторонним подводом воды к рабочему колесу типа *Д*.

Насосы этого типа – горизонтальные, одноступенчатые, с полуспиральным подводом воды.

Насосы с двухсторонним подводом маркируются буквой *Д*, после буквы приводятся две цифры: первая – указывает подачу,  $\text{м}^3/\text{ч}$ , вторая – напор, например *Д-3200/75*.

Эксплуатационные свойства насосов определяются их основными параметрами: подачей  $Q$ , напором  $H$ , КПД насоса  $\eta$ , мощностью насоса  $N$ , допустимой вакуумной высотой  $H_{\text{ВАК}}^{\text{ДОП}}$ , частотой вращения рабочего колеса.

В зависимости от соотношения параметров  $Q$ ,  $H$ ,  $n$  изменяется проточная полость насоса в основном рабочем колесе. Для характеристики рабочего колеса в соответствии с заданным и параметрами применяется параметр (критерий) коэффициент быстроходности  $n_s$ , который вычисляется по формуле:

$$n_s = 3,65 \frac{n\sqrt{Q}}{\sqrt[4]{H^3}} \quad (3.18)$$

где  $Q$  – подача,  $m^3/c$ ;

$H$  – напор, м;

$n$  – частота вращения рабочего колеса, об/мин

Физический смысл коэффициента быстроходности  $n_s$  заключается в том, что частота вращения эталонного (геометрически подобному данному) насоса, создающего при работе на воде напор, равный 1 м ( $H=1$  м) и развивающего мощность  $N=0,736$  кВт при наибольшем КПД насоса.

Все насосы, в зависимости от их коэффициента быстроходности делятся на 5 основных типов:

1 тип при  $n_s \leq 60$  центробежные насосы с тихоходным колесом

2 тип при  $n_s = 70 - 150$  центробежные насосы с нормальным колесом

3 тип при  $n_s = 150 - 350$  центробежные насосы с быстроходным колесом

4 тип при  $n_s = 350 - 600$  центробежные насосы с винтовым

колесом

5 тип при  $n_s = 600 - 1200$  центробежные насосы с осевым колесом

Полный напор  $H$ , м, развиваемый насосом, вычисляется по формуле:

$$H = H_{BC} + h_{BC} + H_H + h_H \quad (3.19)$$

где  $H_{BC}$  – геометрическая высота всасывания, это расстояние от уровня жидкости в резервуаре до оси центробежного колеса, м;

$H_H$  – геометрическая высота нагнетания расстояния от оси насоса до самой удаленной и высокой точки потребителя, с учетом свободного напора (предусмотренного СНиП), м;

$h_{BC}$  – потери напора во всасывающем трубопроводе и на входе в насос, м.

$h_H$  – потери напора на напорной линии и выходе из насоса, м.

Полезная мощность  $N_n$ , Вт – это энергия, приобретенная за единицу времени жидкостью, прошедшей через насос определяется по формуле:

$$N_n = \rho g H Q \quad (3.20)$$

или

$$N_n = \frac{\rho g H Q}{1000}, \text{ кВт} \quad (3.21)$$

где  $\rho$  – плотность жидкости,  $kg/m^3$ ;

$g$  – ускорение силы тяжести,  $m/c^2$ ;

$H$  – напор, м;

$Q$  – подача (производительность),  $m^3/c$ .

Потребляемая насосная мощность  $N$  называется энергия, подводимая к насосу от двигателя за единицу времени больше полезной  $N_n$  на величину потерь мощности в насосе. Эти потери учитываются полным КПД насоса  $\eta_H$ , который равен:

$$\eta_H = \frac{N_n}{N} \quad (3.22)$$

Если  $\eta_H$  известен, то можно найти потребляемую насосом мощность от электродвигателя:

$$N = \frac{N_n}{\eta_H} = \frac{\rho g Q H}{\eta_H} \quad (3.23)$$

Установочная мощность электродвигателя  $N_{уст}, Вт$  определяется по формуле:

$$N_{уст} = \kappa \frac{N}{\eta_{II}} = \kappa \frac{\rho g Q H}{\eta_{II} \eta_H} \quad (3.24)$$

где  $Q$  – подача,  $м^3/с$ ;

$\eta_{II}$  – КПД передачи (при соединении насоса с двигателем напрямую через упругую муфту  $\eta_{II} = 1$ );

$\kappa$  – коэффициент запаса, учитывающий возможную перегрузку электродвигателя при эксплуатации, принимается в зависимости от потребляемой мощности по таблице 3.6

Таблица 3.6 – Значения коэффициента запаса

Потребляемая мощность	$N, КВт$	<20	20 - 60	60 - 300	>300
Коэффициент запаса	$\kappa$	1,25	1,2	1,5	1,1

$\rho$  – плотность перекачиваемой жидкости,  $кг/м^3$ ;

$g$  – ускорение силы тяжести,  $м/с^2$ ;

$Q_M$  – максимальная подача насоса,  $м^3/с$ ;

$H_M$  – напор соответствующий максимальной подаче,  $м$ ;

$\eta_H$  – КПД насоса соответствующий  $Q_M$ .

Выбор марки насоса по каталогу осуществляется по значениям расхода  $Q$  и напора  $H$ , в зависимости от назначения насоса.

При выборе марки насоса по каталогу, расход должен быть не менее заданного, а напор выбирается с 10% запасом относительно рассчитанного, т.е.  $0,1H$ .

Если при выборе марки насоса по каталогу расход совпадает с заданным, а напор меньше расчетного, тогда необходимо установить в работу два насоса одинаковой марки последовательно. В этом случае расход не изменится, а напор увеличится вдвое.

$$Q = Q_1 = Q_2 = const$$

$$H = H_1 + H_2$$

В случае, когда напор в каталоге соответствует заданному, а расход намного меньше, чем требуется выбирают два насоса данной марки, соединяя их в работу параллельно. В результате получаем:

$$Q = Q_1 + Q_2 - \text{суммируется}$$

$$H = H_1 = H_2 - \text{напор неизменным}$$

### Задача 7

Насосная установка перекачивает воду от водозабора до потребителя. Расстояние от поверхности водозабора до оси насоса соответствует  $H_{BC}$  (м) и от оси напора до наивысшей точки потребления  $H_H$  (м); требуемый расход  $Q$  (м<sup>3</sup>/ч); частота вращения рабочего колеса  $n$  (об/мин); плотность перекачиваемой жидкости  $\rho=298$  кг/м<sup>3</sup>; ускорение силы тяжести  $g=9,81$  м/с<sup>2</sup>; потери во всасывающем трубопроводе составляют  $h_{BC}$  (м); на нагнетающем  $h_H$  (м); КПД насоса -  $\eta_H$ ; коэффициент запаса  $k$  при необходимой мощности электродвигателя  $N$  (кВт), соединенного с насосом напрямую через упругую муфту с КПД передачи  $\eta_{II}=1$ .

Определить полезную и требуемую мощность насоса, установочную мощность электродвигателя, полный напор, создаваемый насосной установкой, коэффициент быстроходности, а также тип насоса.

По рассчитанным параметрам выбрать нужную марку насоса по каталогу (таблица 3.8). Расчетные данные к задаче приведены в таблице 3.7

Таблица 3.7-Расчетные данные к задаче 7

№ вар	$H_{BC}$ , м	$H_H$ , м	$Q$ , м <sup>3</sup> /ч	$n$ , об/мин	$h_{BC}$ , м	$h_H$ , м	$\eta_H$
1	2	3	4	5	6	7	8
1.	2,0	10,0	650	960	0,2	2,0	0,84
2.	2,2	15,0	400	960	0,25	4,0	0,78
3.	2,5	20,0	500	960	0,3	5,0	0,81
4.	2,8	25,0	600	960	0,12	6,0	0,79
5.	3,0	30,0	1170	960	0,15	2,2	0,86
6.	3,2	35,0	2500	960	0,2	2,5	0,9
7.	3,5	40,0	808	960	0,15	3,5	0,9
8.	3,8	45,0	3600	600	0,25	4,5	0,84
9.	4,0	50,0	330	2850	0,3	5,5	0,76
10.	4,5	55,0	300	2950	0,35	6,0	0,8
11.	4,4	60,0	250	2950	0,4	2,0	0,78
12.	4,6	65,0	216	2950	0,1	3,0	0,76
13.	4,8	70,0	2360	970	0,12	4,0	0,72
14.	5,0	75,0	1980	970	0,15	5,0	0,7
15.	5,2	80,0	180	2950	0,2	2,1	0,7
16.	5,5	85,0	1728	1450	0,25	2,5	0,69

Таблица 3.8-Характеристики насосов типа Д (при максимальном диаметре рабочего колеса)

Марка насоса	Подача		Напор, м	Частота вращения рабочего колеса, об/мин	Мощность насоса, кВт	КПД насосов, %	Допусмая вакуумметрическая высота всасывания, м	Диаметр рабочего колеса, мм
	м <sup>3</sup> /ч	л/с						
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Д200-95	150	42	104	2950	63,5	68	3,3	280 (265)
	180	50	97		68,5	70	2	
	216	60	90		72	67	0,3	
Д320-70	216	60	80	2950	62	76	5,3	242 (230)
	250	70	77,5		68,6	78	5	
	300	84	70		73,6	80	4	
	330	92	64		77,4	76	3	
Д200-36	150	42	40	1450	24,3	68	7	350 (300)
	180	50	38		26,5	70	6,8	
	216	60	34		28,0	72	5,8	
	250	70	31		31,6	68	4,6	
Д320-50	250	70	54	1450	50,8	73	5	405 (360)
	325	90	49		56,6	76	5	
	360	100	46		60,5	75	4	
Д500-65	400	111	70	1450	102	75	6,4	465 (432)
	500	139	65		115	76,5	5,7	
	600	167	57		130	74	3,8	
Д630-90	540	150	94	1450	178	78	4	525 (470)
	720	200	89		216	81	1,4	
Д800-57	576	160	62	1450	12	77,5	7,2	432 (355)
	828	230	56		152	82	6,2	
	972	270	48		170	77,5	5,1	
Д1250-65	900	250	70	1450	206	83	5	460 (400)
	1080	300	68		230	87	4,8	
	1260	350	64		260	88	3,6	
Д1250-125	1008	280	135	1450	520	72	4,2	625 (575)
	1296	360	123		580	76	3,1	
	1728	480	96		620	69	1,1	
Д500-36	400	110	42	960	59	78	6,5	525 (470)
	500	140	39		66	81	5,5	
	600	165	35		72	79	3,8	
Д800-28	650	180	30	960	63,4	84	6	460 (400)
	800	220	28		70	87	6	
	1000	280	24		79	85	5	

Продолжение таблицы 3.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Д1000-40	810	225	43,5	960	110	82	4,8	540 (480)
	1170	325	37,0		137	86	4,8	
	1350	375	34,5		150	83,5	1,8	
Д2500-62	1944	540	66	960	400	84	4,8	700
	2448	680	62		420	90	3,2	
	2808	780	57		430	90	1	
Д3200-75	1340	650	81	960	600	82	5	765
	3060	850	75		650	90	3	
	3600	1000	67		700	91	0,1	
Д4000-95	3600	1000	100	960	100	85	3,6	860
	4700	1300	90		1350	92	0,5	
	5040	1400	84		1450	91	1	
Д2000-34	1512	420	37	730	180	85	5	700
	2016	560	33		200	91	4,9	
	2304	640	28		250	85	2	
Д3200-55	2736	760	57	730	500	85	5	850
	3600	100	52		550	91	4,2	
	4320	1200	44		600	84	1,3	
Д6300-80	4320	1200	88	750	1200	85	4,5	990
	6480	1800	79		1500	92	2	
	7200	2000	70		1750	90	1	
Д4000-22	3780	1050	23	585	275	78	7	740 (680)
	4680	1300	18		300	82	6	
	5580	1550	15		300	78	3	
Д5000-50	3600	1000	56	600	650	84	5,2	990
	5040	1400	52		900	90	4,8	
	6120	1700	47		900	84	2,2	

*Вопросы для самоконтроля знаний*

1. Дать определение насоса.
2. Дать определение полезной мощности.
3. Дать определение потребляемой мощности.
4. Что называется рабочей характеристикой насоса?
5. Какие бывают способы регулирования работы центробежного насоса?
6. Какие потери учитывает КПД насоса?

Рекомендуемая литература:

[1, с. 125, 156], [4, с. 91]



## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА 1

### Тема: Уравнение Бернулли для идеальной и реальной жидкости

**Цель работы.** Закрепление теоретических знаний законов гидродинамики в решение практических задач. Приобретение навыков проектирования и расчета систем водоснабжения.

#### Задачи:

- составить уравнение Бернулли для реальной жидкости применительно к двум сечениям;
- рассчитать величину пьезометрического и скоростного напора;
- построить напорную и пьезометрическую линии для трубопровода переменного сечения.

#### Теоретическая часть

При расчетах трубопроводов и насосов устанавливают связь между скоростью и давлением в потоке жидкости. Для этого используют уравнение Бернулли, составленное для двух сечений трубопровода (рисунок 1.1). Уравнение Бернулли представляет собой закон сохранения механической энергии при течении идеальной несжимаемой жидкости.

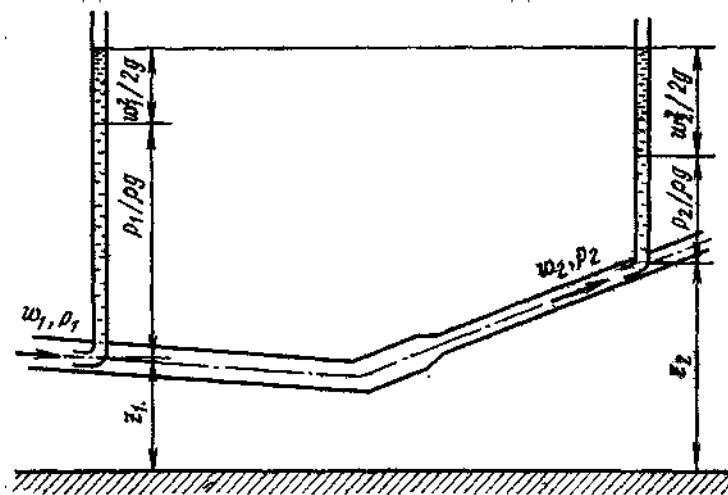


Рисунок 1.1 - Баланс напоров при движении идеальной жидкости в напорном трубопроводе

Баланс напоров при движении по трубопроводу идеальной жидкости (потери напора на сопротивление отсутствуют) для двух сечений можно записать в виде уравнения Бернулли:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \alpha \frac{w_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \alpha \frac{w_2^2}{2g} + Z_2 = H = const \quad (1.1)$$

Первое слагаемое левой части (3.1) представляет собой пьезометрическую высоту, или напор.

Пьезометрическая высота – это высота, на которую поднимается жидкость в трубке с открытым концом под действием гидростатического давления в трубопроводе. Приборы, которыми измеряют давление в

жидкости непосредственно высотой столба той же жидкости, называются пьезометрами (рисунок 1.2).

Второе слагаемое в формуле (1.1) – это скоростной напор, физический смысл которого заключается в следующем. Пусть поток жидкости со свободной поверхностью движется со скоростью  $\omega$ .

Поместим в поток этой жидкости прозрачную трубку, изогнутую под  $90^\circ$ . Конец трубки направим против течения (рисунок 1.3). Другой конец трубки при этом перпендикулярен поверхности воды и выступает из нее на некоторую высоту. Такая трубка называется гидрометрической трубкой Пито или просто трубкой Пито. В результате воздействия потока жидкость в вертикальной части трубки поднимется на такую высоту, при которой давление столба жидкости в трубке должно быть уравновешено давлением движущейся жидкости с другой стороны. Высота столба жидкости в вертикальной части трубки представляет собой скоростной напор. Значение его определяется линейной скоростью и ускорением свободного падения.

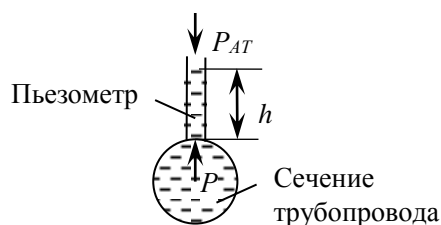


Рисунок 1.2 - Пьезометр

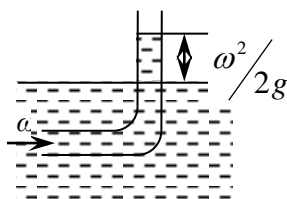


Рисунок 1.3 - Иллюстрация скоростного напора в трубке Пито

Третье слагаемое представляет собой геометрическую высоту или высоту расположения рассматриваемого сечения потока над некоторой горизонтальной поверхностью.

Таким образом, все члены уравнения Бернулли имеют линейную размерность. Следовательно, геометрический смысл уравнения Бернулли можно сформулировать так: при установившемся движении идеальной жидкости сумма трех высот (пьезометрической высоты, соответствующей скоростному напору, и высоты геометрического положения сечения) вдоль потока остается неизменной.

Если жидкость в трубопроводе находится под избыточным давлением, то в сечении 1-1 линейная скорость жидкости меньше, чем в сечении 2-2, так как во втором сечении диаметр трубопровода меньше, следовательно скоростной напор  $\frac{\omega_2^2}{2g} > \frac{\omega_1^2}{2g}$ . Кроме того, геометрическая высота второго сечения  $Z_2$  выше первого  $Z_1$ .

Поэтому энергия потока расходуется на преодоление разности высот и увеличение скорости жидкости.

В связи с этим пьезометрический напор во втором сечении меньше, чем в первом:  $\frac{P_2}{\rho g} < \frac{P_1}{\rho g}$ .

### Уравнение Бернулли для реальной жидкости

При течении реальной жидкости вследствие ее вязкости возникает сопротивление движению, а часть энергии потока расходуется на преодоление сопротивления в каналах, или трубках (рисунок 1.4). Поэтому в случае движения реальной жидкости удельная энергия потока не может оставаться постоянной по длине.

Удельная энергия потока реальной жидкости от одного сечения для преодоления сопротивлений.

Уравнение Бернулли для реальной жидкости составленное относительно двух сечений запишется в виде:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \alpha \frac{w_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\rho g} + \alpha \frac{w_2^2}{2g} + Z_2 + h_{1-2} = H \quad (1.2)$$

где  $h_{1-2}$  – потеря напора в сопротивлениях (как местных, так и линейных), выраженная в метрах;

$\alpha$  - коэффициент неравномерности распределения скоростей в сечении потока. Для установившегося плавно изменяющегося движения среднее значение коэффициента  $\alpha = 1,05-1,1$ . Если скорости движения отдельных частиц жидкости в пределах живого сечения принять одинаковыми и равными средней скорости, то принимаем  $\alpha = 1$ .

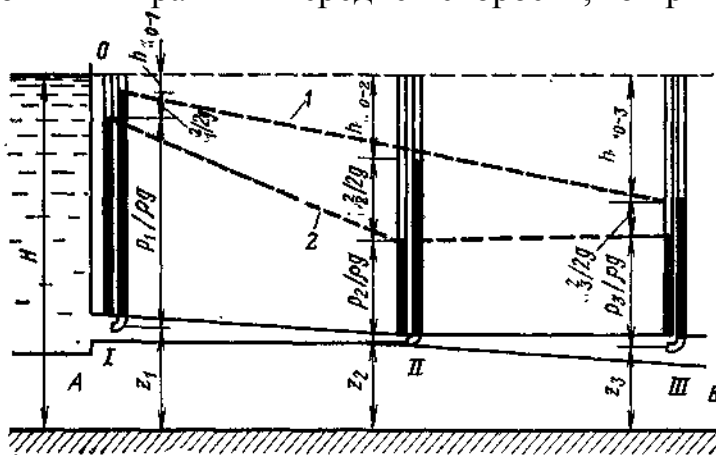


Рисунок 1.4 - Напоры по длине трубопровода переменного сечения

Чтобы понять геометрический смысл уравнения Бернулли для реальной жидкости, разместим в каждом сечении по две трубки пьезометрическую и Пито. Такая совмещенная трубка называется трубкой Прандтля (рисунок 3.6), она позволяет измерять скорость течения жидкости в напорных трубопроводах. Из рисунка 1.5. видно, что разность показаний трубки Пито 2 и пьезометрической 1 есть величина

$$\frac{\omega^2}{2g} = \Delta h \quad (1.3)$$

где  $\Delta h$  – разность уровней жидкости в трубках, м.

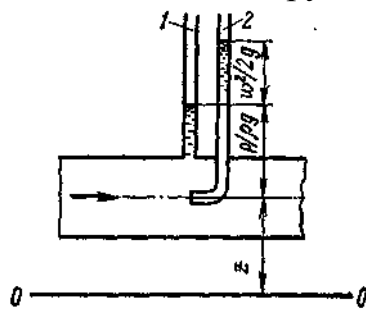


Рисунок 1.5 - Совмещенная трубка Прандтля

Из формулы (1.3) выражаем скорость течения жидкости:

$$\omega = \sqrt{2g\Delta h} \quad (1.4)$$

Разность показаний трубок Пито для сечений 1-1 и 2-2 дает величину потери напора на трение по длине участка 1-2 равную  $h_{1-2}$ .

Соединив показания пьезометрических трубок по длине потока ломаной линией, получим **пьезометрическую линию**, показывающую изменение  $P/\rho g$  по длине потока.

Пьезометрическая линия опускается при увеличении скорости вдоль трубы, и наоборот поднимается – при уменьшении скорости.

Соединив показания уровней в трубках Пито получим – **напорную линию**.

Отрезки, заключенные между напорной и пьезометрической линиями дают значение скоростного напора и его изменение по длине трубы.

Напорная линия всегда снижается по длине трубы, так как часть энергии потока затрачивается на преодоление трения по длине потока.

### Задача

Даны два сечения трубопровода длиной  $l$  (м). В начале трубопровода в сечении 1-1 диаметр  $d_1$  (мм), геометрическая высота положения сечения  $Z_1$  (м), соответственно в сечении 2-2  $d_2$  (мм) и  $Z_2$  (м); расход жидкости  $Q$  (м<sup>3</sup>/с), гидродинамический напор в начале трубопровода  $H$  (м), потери напора в начале трубопровода составляют  $h_{0-1}$  (м), в конце трубопровода -  $h_{1-2}$  (м);  $\alpha=1$  – коэффициент неравномерности распределения скорости в сечении потока. Определить:

- 1) скорость движения жидкости и величину скоростного напора в каждом сечении трубопровода;
- 2) величину полного гидродинамического напора в конце трубопровода;
- 3) в выбранном масштабе построить сечение трубопровода относительно горизонтальной плоскости, напорную линию, пьезометрическую и линию полного гидродинамического напора;

4) Вывод: Сделать анализ распределения энергии потока вдоль всей длины трубопровода.

Расчетные данные к задаче 1 приведены в таблице 1.1

### Порядок расчета

1) По заданным диаметрам  $d_1$  и  $d_2$ , мм определить площадь сечения  $S$ , м<sup>2</sup> в каждом сечении трубопровода:

$$S = \frac{\pi d^2}{4}$$

2) Вычислить в каждом сечении скорость течения  $\omega$ , м/с жидкости:

$$\omega = \frac{Q}{S},$$

3) Вычислить величину скоростного напора в каждом сечении:

$$\frac{\omega^2}{2g}, \text{ м}$$

4) Составить уравнение Бернулли для каждого сечения.

В сечении I-I уравнение Бернулли выражается в виде:

$$\frac{P_1}{\rho g} + Z_1 + \alpha \frac{\omega_1^2}{2g} + h_{0-1} = H, \text{ м}$$

В сечении II-II уравнение Бернулли выражается в виде:

$$\frac{P_2}{\rho g} + Z_2 + \alpha \frac{\omega_2^2}{2g} + h_{1-2} = H, \text{ м}$$

5) Определить величину пьезометрического напора в каждом сечении:

В сечении I-I:

$$\frac{P_1}{\rho g} = H - \alpha \frac{\omega_1^2}{2g} - Z_1 - h_{0-1} = H, \text{ м}$$

В сечении II-II уравнение Бернулли выражается в виде:

$$\frac{P_2}{\rho g} = H - \alpha \frac{\omega_2^2}{2g} - Z_2 - h_{1-2}, \text{ м}$$

Составляем уравнение, выражающее баланс напоров для двух сечений

б) Баланс напоров для двух сечений трубопровода выражается выражением:

$$\frac{P_1}{\rho g} + Z_1 + \alpha \frac{\omega_1^2}{2g} + h_{0-1} = \frac{P_2}{\rho g} + Z_2 + \alpha \frac{\omega_2^2}{2g} + h_{1-2} = H$$

7) Построить в выбранном масштабе сечение трубопровода, пьезометрическую, напорную линии и линию полного гидродинамического напора, как показано на рисунке 1.4.

8) Сделать анализ распределения энергии потока вдоль всей длины трубопровода.

Таблица 1.1 – Расчетные данные к задаче 1

<i>№ вар.</i>	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	$H, \text{ м}$	$Z_1, \text{ м}$	$Z_2, \text{ м}$	$h_{0-1}, \text{ м}$	$h_{1-2}, \text{ м}$	$d_1, \text{ мм}$	$d_2, \text{ мм}$	$l, \text{ м}$
1	0,015	60	10	40	0	10	150	200	100
2	0,016	50	8	20	0	5	150	180	120
3	0,02	40	5	15	0	5	160	160	130
4	0,025	30	2	8	0	5	160	110	140
5	0,03	30	3	5	2	10	160	130	150
6	0,035	50	3	20	2	10	150	100	500
7	0,04	55	5	15	5	10	150	200	600
8	0,045	60	10	40	1	15	200	250	200
9	0,05	65	15	15	1	20	200	250	300
10	0,055	70	20	30	3	15	200	150	400
11	0,06	70	20	20	0	25	250	200	450
12	0,065	40	10	5	0	17	300	250	1000
13	0,07	35	5	2	2	10	300	250	1000
14	0,075	30	15	5	0	5	300	300	800
15	0,08	25	15	5	0	10	300	250	700
16	0,085	20	0	7	0	4	200	150	600

*Вопросы для самоконтроля знаний*

1. Что такое пьезометрическая высота?
2. Что показывает уравнение неразрывности потока?
3. Какие параметры потока жидкости связывает между собой уравнение Бернулли?
4. Какой закон представляет собой уравнение Бернулли?
5. Сформулируйте геометрический смысл уравнения Бернулли.
6. Изменится ли величина полного гидродинамического напора в конце трубопровода для реальной жидкости и почему?

## **Список использованных источников**

Основные источники:

1 Артемьева Т.В., Лысенко Т.М., Румянцева А.Н., под ред. Стесина С.П. Гидравлика, гидромашины и гидропневморивод. - М.: Изд. Центр Академия, 2015г.- 336с.

2 Лепешкин А.В., Михайлин А.А. Гидравлические и пневматические системы. под ред. Проф. Ю.А. Беленков.-М.: 2-е изд.,- Изд. Центр Академия, 2015- 336 с.

3 Прибытков И.А., Левицкий И.А. Теоретические основы теплотехники. - М.: Академия, 2015 г. - 680 с.

4 Брюханов О.Н., Мелик-Аракелян А.Т., Коробко В.И. Основы гидравлики и теплотехники. - М.: Издательский центр «Академия», 2014.- 240 с.

5 Филин В.М. Гидравлика, пневматика и термодинамика.-М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2015.-320с.

Дополнительные

1 Жабо В.В., Уваров В.В. Гидравлика и насосы. — М.: Энергоатомиздат, 2013г.-328с.

3 Поспелов Л.П. Гидравлика и основы гидропривода. — М.: Недра, 2013 г. -118с.

4 Справочник по гидравлике. Под ред. Большакова В.А. Киев: Высшая школа, 2013г. – 395с.

5 Сафин И.Ф., Сафонов П.В. Основы гидравлики и гидропривод.-М.: Высшая школа, 2013.-222с.

6 Черкасский В.М. Насосы, вентиляторы, компрессоры -М.: Энергоатомиздат, 2013г.-416с.

## Список вопросов к экзамену

1. Физические свойства жидкости.
2. Приборы для измерения физических свойств жидкости.
3. Силы, действующие на жидкость. Гидростатическое давление в точке и его свойства. Закон Паскаля.
4. Основное уравнение гидростатики. Давление жидкости на плоскую стенку.
5. Давление жидкости на цилиндрическую поверхность. Гидростатический парадокс.
6. Закон Архимеда. Состояние тела погруженного в жидкость.
7. Понятие о потоке и элементарной струйке жидкости. Энергия элементарной струйки.
8. Гидравлические элементы потока. Расход, средняя скорость. Уравнение неразрывности струи.
9. Уравнение Бернулли для потока идеальной жидкости. Уравнение баланса.
10. Уравнение Бернулли для потока реальной жидкости.
11. Графическое представление уравнения Бернулли и построение напорной и пьезометрической высот.
12. Виды движений жидкости.
13. Измерение расхода жидкости. Водомер Вентури.
14. Ламинарный и турбулентный режимы движения жидкости в трубах. Число Рейнольдса.
15. Классификация гидравлических сопротивлений. Формула Дарси-Вейсбаха. Коэффициент гидравлического трения. Потеря напора по длине трубы.
16. Местные гидравлические сопротивления. Сложение потерь напора по длине и на местных сопротивлениях.
17. Истечение жидкости через донное отверстие и затопленное отверстие в боковой стенке. Коэффициенты сжатия, скорости и расхода.
18. Истечение жидкости через насадки.
19. Назначение и классификации трубопроводов. Расчет простого трубопровода.
20. Гидравлический удар в трубопроводах и меры борьбы с ним.
21. Понятие о явлении кавитации.
22. Гидравлические машины и их классификация.
23. Основные технические показатели и характеристики насосов.
24. Принцип действия и классификация лопастных насосов.
25. Принцип действия и область применения центробежных насосов.
26. Достоинства и недостатки центробежных насосов.
27. Основные параметры, характеризующие работу центробежных насосов.
28. Принцип действия и область применения поршневых (плунжерных) насосов.



29. Основные параметры, характеризующие работу поршневых (плунжерных) насосов.
30. Расчет насосного агрегата. Выбор марки насоса и электродвигателя.
31. Основные параметры гидропривода. Условные графические обозначения гидроприводов.
32. Основные понятия и классификация пневмопривода. Условные графические обозначения пневмоприводов.
33. Достоинства и недостатки гидро и пневмоприводов.
34. Принципиальные схемы гидроприводов.
35. Принципиальные схемы пневмоприводов.
36. Основные элементы гидропривода. Гидролинии.
37. Распределительные устройства гидропривода.
38. Регулирующие устройства гидропривода.
39. Вспомогательные элементы гидропривода.
40. Гидравлические клапаны.
41. Основные параметры состояния газа.
42. Основные газовые законы. Законы идеального газа.
43. Основные термодинамические процессы идеальных газов.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### **Пример оформления титульного листа контрольной работы**

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Норильский государственный индустриальный институт»  
Политехнический колледж

### **КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА**

по дисциплине: «Гидравлика, пневматика и термодинамика»

ВЫПОЛНИЛ :

Студент группы

Ф. И. О.

Шифр

Вариант

ПРОВЕРИЛ:

Преподаватель

Стрельникова Л.И.

2018

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

### Пример оформления содержания контрольной работы

#### Содержание

(указать  
нумерацию  
страниц)

Задание1

---

Задание2

---

Задание3

---

Задание4

---

#### Список использованных источников