

Санкт-Петербургское государственное бюджетное  
профессиональное образовательное учреждение  
«Академия промышленных технологий»

# **МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ**

**ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ  
ПО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

## **ОП.06 ОСНОВЫ ГИДРАВЛИКИ, ТЕПЛОТЕХНИКИ И АЭРОДИНАМИКИ**

для специальности  
среднего профессионального образования

**08.02.08 Монтаж и эксплуатация оборудования и систем газоснабжения**

Методические рекомендации по выполнению практических и лабораторных работ предназначены для использования обучающимися при выполнении заданий по практическим и лабораторным работам по учебной дисциплине ОП.06 Основы гидравлики, теплотехники и аэродинамики по специальности среднего профессионального образования 08.02.08 Монтаж и эксплуатация оборудования и систем газоснабжения.

В методических рекомендациях предлагаются к выполнению практические и лабораторные работы, предусмотренные рабочей программой учебной дисциплины, даны рекомендации по их выполнению.

**Организация-разработчик:**

Санкт-Петербургское государственное бюджетное профессиональное образовательное учреждение «Академия промышленных технологий» (СПб ГБПОУ «АПТ»)

**Разработчик:**

О.А. Беднарская - преподаватель СПб ГБПОУ «АПТ»

Методические рекомендации рассмотрены и одобрены на заседании учебной цикловой комиссии машиностроения.

Протокол №10 от 01.06.2021 г.

Председатель УЦК С.В. Самуилов

Методические рекомендации рассмотрены и одобрены на заседании Методического совета СПб ГБПОУ «АПТ» и рекомендованы к использованию в учебном процессе.

Протокол №1 от 31 августа 2021 г.

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| 1. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА .....        | 4  |
| 2. ПЕРЕЧЕНЬ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ..... | 5  |
| ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1 .....         | 6  |
| ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2 .....         | 10 |
| ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3 .....         | 16 |
| ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4 .....         | 20 |
| ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №5 .....          | 25 |
| ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №6 .....          | 31 |
| Приложение №1 .....                   | 37 |

# 1. ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Методические указания по выполнению практических работ разработаны согласно рабочей программе учебной дисциплины ОП.06 Основы гидравлики, теплотехники и аэродинамики и требованиям к результатам обучения Федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования (далее – ФГОС СПО) по специальности 08.02.08 Монтаж и эксплуатация оборудования и систем газоснабжения.

Методические указания по выполнению практических работ направлены на овладение обучающимися следующих результатов:

## **Умения:**

- определять параметры при гидравлическом расчете трубопроводов, воздухопроводов;
- строить характеристики насосов и вентиляторов;
- применять уравнения Бернулли;
- определять параметры пара по диаграмме.

## **Знания:**

- режимы движения жидкости;
- гидравлический расчет простых трубопроводов;
- видов и характеристик насосов и вентиляторов;
- способы теплопередачи и теплообмена;
- основные свойства жидкости;
- формулы для расчета гидростатического давления на плоские и криволинейные стенки;
- методы борьбы с гидравлическим ударом;
- параметры пара, теплопроводность.

Практические занятия проводятся после изучения соответствующих разделов и тем дисциплины. Выполнение обучающимися практических заданий позволяет им понять, где и когда изучаемые теоретические положения и практические умения могут быть использованы в будущей практической деятельности.

Целью практических занятий является закрепление теоретических знаний и приобретение практических умений и навыков.

Методические рекомендации по каждому практическому занятию имеют теоретическую часть с необходимыми для выполнения работы формулами, пояснениями, таблицами; алгоритм выполнения заданий.

Работы рекомендуется производить в следующей последовательности:

- вводная беседа, во время которой кратко напоминаются теоретические вопросы по теме работы, разъясняется сущность, цель, методика выполнения работы;
- самостоятельное выполнение необходимых расчетов;
- обработка результатов расчетов, оформление документации, отчета
- защита практической работы в форме устных ответов на контрольные вопросы.

Обязательная аудиторная нагрузка на практическую работу – 2 часа.

**Отчеты по практическим работам** должны включать в себя следующие пункты:

1. Название практической работы.
2. Цель практической работы.
3. Выполнения задания практической работы.
4. Ответ на контрольные вопросы.
5. Вывод.

Если отчет по работе не сдан вовремя (до выполнения следующей работы) по неуважительной причине, оценка за работу снижается.

### **Критерии оценки знаний студентов**

При оценивании выполнения практической работы студентом учитываются следующие показатели:

- качество выполнения задания работы (выполнение работы в соответствии с заданием, правильность результатов работы);
- качество оформления отчета по работе (оформление отчета в соответствии с требованиями методических рекомендаций, правильность и четкость формулировки выводов по результатам работы);
- качество и глубина устных ответов на контрольные вопросы.

При сдаче работы каждый показатель оценивается по 5-ти бальной шкале и выставляется средний балл по всем показателям.

5 - «отлично» выставляется в случае, если обучающийся самостоятельно и правильно выполнил все задания; правильно, с обоснованием сделал выводы по выполненной работе; правильно и доказательно ответил на все контрольные вопросы

4 - «хорошо» выставляется в случае, если обучающийся правильно выполнил все задания, но с помощью преподавателя; сделал выводы по выполненной работе; правильно ответил на все контрольные вопросы.

3 - «удовлетворительно» выставляется в случае, если обучающийся правильно выполнил задание, но с помощью преподавателя; сделал поверхностные выводы по выполненной работе; ответил не на все контрольные вопросы.

2 - «неудовлетворительно» выставляется в случае, если обучающийся неправильно выполнил задание; не сделал или сделал неправильные выводы по работе; не ответил на контрольные вопросы.

## **2. ПЕРЕЧЕНЬ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ**

| <b>№ п/п</b> | <b>Наименование</b>                               | <b>Количество часов</b> |
|--------------|---|-------------------------|
| 1            | Определение физических свойств жидкости           | 2                       |
| 2            | Гидравлический расчет простого трубопровода       | 4                       |
| 3            | Изучение характеристик насосов                    | 2                       |
| 4            | Изучение характеристик вентиляторов               | 2                       |
| 4            | Определение параметров пара                       | 2                       |
| 6            | Применение первого и второго закона термодинамики | 4                       |

# ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 1

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЖИДКОСТИ

### Цель занятия:

**Образовательная:** Научиться рассчитывать и определять основные физические свойства жидкости.

**Развивающая:** Способствовать развитию умений учащихся обобщать полученные знания, проводить анализ, синтез, сравнения, делать необходимые выводы. Способствовать развитию умений творческого подхода к решению практических задач. Обеспечить условия для овладения учащимися алгоритмом решения проблемных и исследовательских задач.

**Воспитательная:** Обеспечить условия для воспитания положительного интереса к изучаемому предмету. Обеспечить условия по формированию сознательной дисциплины и норм поведения учащихся. Способствовать овладению необходимыми навыками самостоятельной учебной деятельности.

Время выполнения занятия 2 часа.

### Методическое обеспечение:

Методические указания по выполнению работы.

### Порядок выполнения работы:

1. Повторить теоретические положения по теме практической работы.
2. Изучить пример оформления задания.
3. Ознакомиться с индивидуальным заданием.
4. Решить поставленные задачи.
5. Сделать выводы о проделанной работе.
6. Оформить отчет и ответить на контрольные вопросы.

### Теоретическая часть

Жидкими телами или жидкостями называют физические тела, легко изменяющие свою форму под действием самой незначительной по величине силы. Можно сказать, что жидкость – это физическое тело, обладающее текучестью, имеющее определенный объем и заполняющая часть пространства (сосуда), равного ее объему.

Различают два вида жидкостей:

-жидкости капельные (малосжимаемые);

-жидкости газообразные (сжимаемые).

*Плотность жидкости.*

Важнейшими характеристиками механических свойств жидкости являются ее плотность и удельный вес. Они определяют "весомость" жидкости.

Плотность  $\rho$  характеризует распределение массы  $\Delta m$  жидкости по объему  $\Delta W$ .

Плотность однородной жидкости равна отношению массы  $m$

жидкости к ее объему:

$$\rho = \frac{m}{W} \quad (1.1)$$

где  $m$  – масса жидкости, кг;

$W$  – объем жидкости, м<sup>3</sup>.

Плотность  $\rho$  во всех точках однородной жидкости одинакова. В общем случае плотность может изменяться в объеме жидкости от точки к точке и в каждой точке объема с течением

времени. За единицу плотности в системе СИ принят 1 кг/м<sup>3</sup>.

Вместо плотности в формулах может быть использован также удельный вес  $\gamma$  (Н/м<sup>3</sup>), то есть вес жидкости  $G$ , приходящийся на единицу объема  $W$ :

$$\gamma = GW = mgW = \rho \cdot g \quad (1.2)$$

Плотность жидкостей и газов зависит от температуры и давления. Все жидкости, кроме воды, характеризуются уменьшением плотности с увеличением температуры. Плотность воды максимальна при  $t = 4^\circ\text{C}$  и уменьшается как с уменьшением, так и с увеличением температуры от этого значения. В этом проявляется одно из аномальных свойств воды.

Плотность воды при  $t = 4^\circ\text{C}$  составляет 1000 кг/м<sup>3</sup>;

морской воды - 1020 ... 1030 кг/м<sup>3</sup>;

нефти и нефтепродуктов – 650 ... 900 кг/м<sup>3</sup>;

чистой ртути - 13600 кг/м<sup>3</sup>;

воздуха при  $t = 0^\circ\text{C}$  и атмосферном давлении – 1,29 кг/м<sup>3</sup>.

При изменении давления плотность жидкости изменяется незначительно.

*Сжимаемость.* Это свойство жидкостей изменять объем при изменении давления; характеризуется коэффициентом объемного сжатия (коэффициентом сжимаемости)  $\beta_r$  (Па<sup>-1</sup>); представляющим собой относительное изменение объема жидкости  $W$  при изменении давления на единицу:

$$\beta_r = -1/W \cdot \Delta W / \Delta p, \quad (1.3)$$

где  $W$  – первоначальный объем жидкости, м<sup>3</sup>;

$\Delta W$  – относительное изменение объема жидкости при изменении давления на величину  $\Delta p$ , м<sup>3</sup>.

Знак "—" в формуле (1.3) указывает на то, что при увеличении давления объем жидкости уменьшается.

Величина, обратная коэффициенту объемного сжатия – модуль *объемной упругости жидкости*  $E_o$ , Па:

$$E_o = 1/\beta_r \quad (1.4)$$

Физический смысл объемного модуля упругости: величина, обратная изменению объема одного кубического метра жидкости при изменении давления на одну единицу.

Объемный модуль упругости жидкости зависит от типа жидкости, давления и температуры. Однако в большинстве случаев  $E_o$  считают постоянной величиной, принимая за нее среднее значение в данном диапазоне температур и давлений.

Различают изотермический и адиабатический модуль упругости. Причем для расчетов обычно используют изотермический модуль упругости  $E_{to}$ , применяемый для анализа медленных процессов, при которых успевают завершиться теплообмен с окружающей средой. Для быстротечных процессов, при которых теплообмен не успевает завершиться, используют адиабатический модуль упругости  $E_{ao}$ .

*Температурное расширение.* Это свойство жидкостей изменять объем при изменении температуры; характеризуется температурным коэффициентом объемного расширения  $\beta_t$  (1/°C), представляющим собой относительное изменение объема жидкости при изменении температуры на единицу (1 °C) и при постоянном давлении:

$$\beta_t = 1/W \cdot \Delta W / \Delta t, \quad (1.5)$$

где  $W$  – первоначальный объем жидкости, м<sup>3</sup>;

$\Delta W$  – относительное изменение объема жидкости при повышении температуры на  $\Delta t$ , м<sup>3</sup>.

Для воды с увеличением давления при температуре до 50 °C коэффициент  $\beta_t$  растет, а при температуре выше 50 °C уменьшается.

*Вязкость.* Это свойство жидкости оказывать сопротивление относительному сдвигу ее слоев. Вязкость проявляется в том, что при относительном перемещении слоев жидкости на поверхностях их соприкосновения возникают силы сопротивления сдвигу, называемые

силами внутреннего трения или силами вязкости. Благодаря этим силам слой жидкости, движущийся медленнее, "тормозит" соседний слой, движущийся быстрее. Силы внутреннего трения проявляются вследствие наличия межмолекулярных связей между движущимися слоями.

Кинематическая вязкость  $\nu$  – отношение динамической вязкости  $\mu$  к плотности жидкости  $\rho$  и определяется формулой:

$$\nu = \mu / \rho \quad (1.6)$$

где  $\mu$  - динамическая вязкость, Па·с;

$\rho$  - плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>.

В международной системе единиц (СИ), кинематическая вязкость измеряется в квадратных метрах на секунду.

### Пример решения задачи:

#### Вариант 30

Определите массу жидкости, если её занимаемый объем  $W$ , а плотность -  $\rho$ .

Дано:  $W = 72 \text{ м}^3$

Решение:

Воспользуемся формулой (1.1)  $\rho = m / W$

$$\rho = 940 \text{ кг/м}^3$$

В этой формуле нам известные две величины: объем и плотность.  $m$  -? Тогда наша задача сводится к тому, чтобы выразить неизвестную величину и найти ее. Тогда:  $m = W \cdot \rho = 72 \cdot 940 = 67680 \text{ кг} \approx 68 \text{ т}$

Ответ:  $m \approx 68 \text{ т}$

### Задания для практической работы

#### Основная часть:

№1. В отопительной системе (котел, радиаторы и трубопроводы) небольшого дома содержится объем воды  $W$ . Определите сколько воды дополнительно войдет в расширительный сосуд при нагревании с  $t_1$  до  $t_2$ ?

№2. Определите удельный объем и удельный вес жидкости, если известна ее плотность  $\rho$ , ускорение свободного падения  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ .

№3. При гидравлическом испытании внутренних систем водоснабжения допускается падение испытательного давления на  $\Delta p$ . Определите допустимую величину утечки  $\Delta W$  при гидравлическом испытании системы вместимостью  $W$ .

#### Варианты заданий

| № п/п     | $V, \text{ м}^3$ | $t_1, \text{ }^\circ\text{C}$ | $t_2, \text{ }^\circ\text{C}$ | $\rho, \text{ кг/м}^3$ | $p, \text{ МПа}$ | $\Delta p, \text{ кПа}$ | $d, \text{ мм}$ | $l, \text{ м}$ | $u, \text{ м}^2/\text{с}$ |
|-----------|------------------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------|------------------|-------------------------|-----------------|----------------|---------------------------|
| 1 вариант | 72               | 13                            | 73                            | 850                    | 3,3              | 54                      | 100             | 1980           | 7,6                       |
| 2 вариант | 73               | 16                            | 70                            | 840                    | 2,8              | 50                      | 150             | 1740           | 7,7                       |
| 3 вариант | 79               | 18                            | 86                            | 800                    | 2,6              | 60                      | 200             | 850            | 10                        |
| 4 вариант | 89               | 18                            | 89                            | 990                    | 3,3              | 40                      | 100             | 930            | 9,9                       |
| 5 вариант | 76               | 10                            | 88                            | 810                    | 3,7              | 50                      | 150             | 2000           | 9,6                       |
| 6 вариант | 83               | 10                            | 78                            | 1000                   | 2,9              | 57                      | 200             | 1720           | 8,3                       |
| 7 вариант | 82               | 10                            | 75                            | 950                    | 3,1              | 41                      | 100             | 1040           | 9,2                       |
| 8 вариант | 88               | 15                            | 76                            | 1000                   | 3                | 60                      | 150             | 1580           | 7                         |



|            |    |    |    |      |     |    |     |      |     |
|------------|----|----|----|------|-----|----|-----|------|-----|
| 9 вариант  | 86 | 11 | 87 | 970  | 2,1 | 42 | 200 | 1780 | 7,1 |
| 10 вариант | 80 | 15 | 74 | 840  | 3,2 | 45 | 100 | 950  | 9,3 |
| 11 вариант | 70 | 18 | 77 | 930  | 2,8 | 43 | 150 | 910  | 9,6 |
| 12 вариант | 80 | 19 | 81 | 890  | 3,9 | 59 | 200 | 960  | 9,4 |
| 13 вариант | 77 | 11 | 77 | 840  | 4   | 42 | 100 | 1980 | 9,1 |
| 14 вариант | 83 | 16 | 76 | 900  | 2,2 | 53 | 150 | 1600 | 7   |
| 15 вариант | 75 | 15 | 85 | 860  | 2,4 | 49 | 200 | 800  | 9,6 |
| 16 вариант | 86 | 12 | 71 | 960  | 3,7 | 52 | 100 | 1320 | 7,9 |
| 17 вариант | 70 | 13 | 82 | 880  | 2,7 | 54 | 150 | 1480 | 8   |
| 18 вариант | 82 | 13 | 89 | 880  | 3   | 60 | 200 | 1330 | 8,4 |
| 19 вариант | 71 | 18 | 90 | 870  | 3,7 | 40 | 100 | 1300 | 9,2 |
| 20 вариант | 82 | 16 | 83 | 1000 | 3,8 | 44 | 150 | 1370 | 7,7 |
| 21 вариант | 88 | 15 | 84 | 800  | 3,6 | 60 | 200 | 1640 | 9   |
| 22 вариант | 73 | 13 | 87 | 1000 | 4   | 40 | 100 | 980  | 8,5 |
| 23 вариант | 74 | 10 | 82 | 1000 | 2,9 | 45 | 150 | 1770 | 7,8 |
| 24 вариант | 88 | 10 | 87 | 970  | 2   | 60 | 200 | 1010 | 9,9 |
| 25 вариант | 88 | 14 | 87 | 900  | 4   | 50 | 100 | 1190 | 8,5 |
| 26 вариант | 75 | 11 | 80 | 950  | 3,4 | 40 | 150 | 1430 | 8   |
| 27 вариант | 79 | 15 | 81 | 1000 | 3,7 | 58 | 200 | 1070 | 7,7 |
| 28 вариант | 90 | 20 | 88 | 900  | 2,9 | 59 | 100 | 1130 | 8,3 |
| 29 вариант | 73 | 16 | 84 | 820  | 3,8 | 48 | 150 | 1250 | 8,4 |
| 30 вариант | 72 | 18 | 70 | 940  | 3,7 | 59 | 200 | 1280 | 8,4 |

Отчёт о работе должен содержать название и цель работы, задание (номер варианта), правильно оформленные решения. По результатам работы необходимо сделать выводы

**Контрольные вопросы:**

Сформулируйте определение жидкости.

Назовите основные физические свойства жидкости.

Сформулируйте физический смысл вязкости?

Назовите физический смысл объёмного модуля упругости?

Назовите виды вязкости жидкости?

Назовите, в чем измеряются основные физические свойства жидкости?

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 2

### ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ПРОСТОГО ТРУБОПРОВОДА

#### Цели занятия:

**Образовательная:** Ознакомиться с элементами расчета простого трубопровода в зависимости от заданных условий. Научиться осуществлять расчет.

**Развивающая:** Способствовать развитию умений учащихся обобщать полученные знания, проводить анализ, синтез, сравнения, делать необходимые выводы. Способствовать развитию умений творческого подхода к решению практических задач. Обеспечить условия для овладения учащимися алгоритмом решения проблемных и исследовательских задач.

**Воспитательная:** Обеспечить условия для воспитания положительного интереса к изучаемому предмету. Обеспечить условия по формированию сознательной дисциплины и норм поведения учащихся. Способствовать овладению необходимыми навыками самостоятельной учебной деятельности.

Время выполнения занятия 4 часа.

#### Оснащение:

1. Методические указания по выполнению работы.
2. Справочная литература по УД ОП 06 «Основы гидравлики, теплотехники и аэродинамики».

#### Ход работы:

1. Повторите теоретические положения по теме практической работы.
2. Изучите пример оформления задания.
3. Ознакомьтесь с индивидуальным заданием.
4. Решите поставленные задачи.
5. Сделайте выводы о проделанной работе.
6. Оформите отчет и ответьте на контрольные вопросы.

#### **Теоретическая часть**

При расчетах напорных трубопроводов основной задачей является либо определение пропускной способности (расхода), либо потери напора на том или ином участке, равно как и на всей длине, либо диаметра трубопровода на заданных расходе и потерях напора.

Учитывая гидравлическую схему работы длинных трубопроводов, их можно разделить также на простые и сложные.

*Простыми* называются последовательно соединенные трубопроводы одного или различных сечений, не имеющих никаких ответвлений.

*К сложным* трубопроводам относятся системы труб с одним или несколькими ответвлениями, параллельными ветвями и т.д. Жидкость по трубопроводу движется благодаря тому, что ее полная энергия (полная удельная энергия) в начале трубопровода больше, чем в конце. Это может создаваться несколькими способами: работой насоса, разностью уровней жидкости, давлением газа.

При расчете трубопровода принимается ряд допущений, основными из которых являются следующие:

- рабочая жидкость считается несжимаемой;

- температура жидкости, основные физические свойства жидкости (плотность, вязкость, модуль объемной упругости и др.) принимаются постоянными;
- рассматривается установившееся движение жидкости;
- коэффициенты гидравлических сопротивлений постоянны;
- разрыва потока жидкости не происходит.

Рассмотрим простой трубопровод постоянного сечения, который расположен произвольно в пространстве (рис. 1), имеет общую длину  $l$  и диаметр  $d$ , а также содержит ряд местных сопротивлений (вентиль, фильтр и обратный клапан). В начальном сечении трубопровода 1-1 геометрическая высота равна  $z_1$  и избыточное давление  $P_1$ , а в конечном сечении 2-2 - соответственно  $z_2$  и  $P_2$ . Скорость потока в этих сечениях вследствие постоянства диаметра трубы одинакова и равна  $v$ .

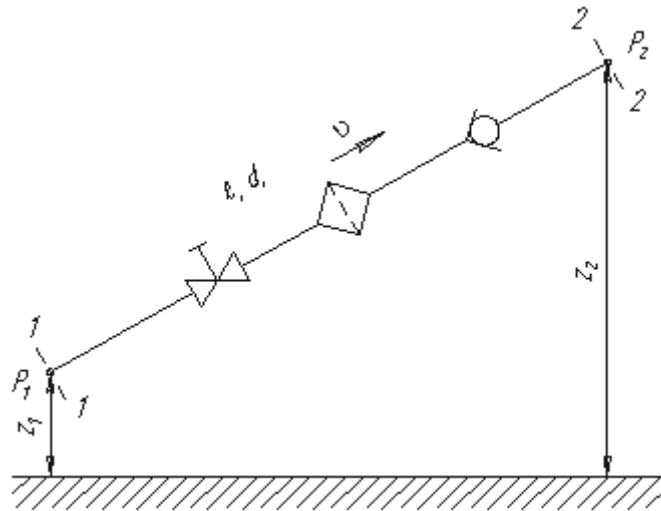


Рисунок 1: Схема простого трубопровода.

Запишем уравнение Бернулли для сечений 1-1 и 2-2. Поскольку скорость в обоих сечениях одинакова и  $\alpha_1 = \alpha_2$ , то скоростной напор можно не учитывать. При этом получим

$$z_1 + \frac{P_1}{\rho g} = z_2 + \frac{P_2}{\rho g} + \sum h \quad \text{или} \quad \frac{P_1}{\rho g} = z_2 - z_1 + \frac{P_2}{\rho g} + \sum h$$

Пьезометрическую высоту, стоящую в левой части уравнения, назовем *потребным напором*  $H_{\text{потр}}$ . Если же эта пьезометрическая высота задана, то ее называют *располагаемым напором*  $H_{\text{расп}}$ . Такой напор складывается из геометрической высоты  $H_{\text{потр}}$ , на которую поднимается жидкость, пьезометрической высоты в конце трубопровода и суммы всех потерь напора в трубопроводе.

Назовем сумму первых двух слагаемых *статическим напором*, который представим, как некоторую эквивалентную геометрическую высоту

$$H_{\text{ст}} = \Delta z + \frac{P_2}{\rho g} \quad (1)$$

а последнее слагаемое  $\sum h$  - как степенную функцию расхода

$$\Sigma h = K \cdot Q^m,$$

где  $\Delta z$  – разность геометрических высот, м;

$p_2$  – избыточное давление на выходе, Па;

$\rho$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;

$g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ .

Тогда,

$$H_{\text{нотр}} = H_{\text{ст}} + KQ^m \quad (2)$$

где  $K$  – величина, называемая сопротивлением трубопровода;

$Q$  – расход жидкости;

$m$  – показатель степени, который имеет разные значения в зависимости от режима течения.

Для ламинарного течения при замене местных сопротивлений эквивалентными длинами сопротивление трубопровода равно

$$K = \frac{128\nu l_{\text{расч}}}{\pi g d^4} \quad \text{и} \quad m = 1 \quad (3)$$

где  $l_{\text{расч}}$  – расчетная длина трубопровода,  $l_{\text{расч}} = l + l_{\text{экв}}$ , м;

$\nu$  – кинематическая вязкость жидкости, м<sup>2</sup>/с;

$d$  – диаметр трубопровода, м;

$g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ .

Численные значения эквивалентных длин  $l_{\text{экв}}$  для различных местных сопротивлений обычно находят опытным путем.

Для турбулентного течения, используя формулу Вейсбаха-Дарси, и выражая в ней скорость через расход, получаем:

$$K = \left( \sum \zeta + \lambda_r \frac{l}{d} \right) \frac{16}{2g\pi^2 d^4} \quad \text{и} \quad m = 2 \quad (4)$$

где  $\zeta$  – коэффициент местных сопротивлений;

$\lambda$  – коэффициент Дарси, коэффициент гидравлического сопротивления.

По этим формулам можно построить кривую потребного напора в зависимости от расхода. Чем больше расход  $Q$ , который необходимо обеспечить в трубопроводе, тем больше требуется потребный напор  $H_{\text{нотр}}$ . При ламинарном течении эта кривая изображается прямой линией (рис. 2, а), при турбулентном – параболой с показателем степени равном двум (рис. 2, б).

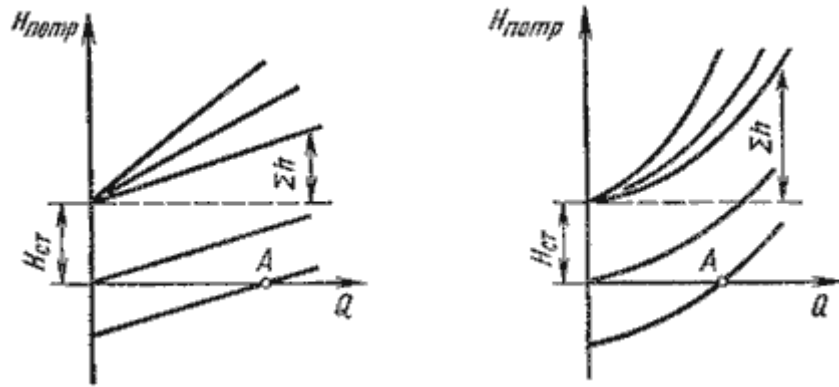


Рисунок 2: Зависимости потребных напоров от расхода жидкости в трубопроводе.

Крутизна кривых потребного напора зависит от сопротивления трубопровода  $K$  и возрастает с увеличением длины трубопровода и уменьшением диаметра, а также с увеличением местных гидравлических сопротивлений.

Величина статического напора  $H_{ст}$  положительна в том случае, когда жидкость движется вверх или в полость с повышенным давлением, и отрицательна при опускании жидкости или движении в полость с пониженным давлением. Точка пересечения кривой потребного напора с осью абсцисс (точка  $A$ ) определяет расход при движении жидкости самотеком. Потребный напор в этом случае равен нулю.

Иногда вместо кривых потребного напора удобнее пользоваться характеристиками трубопровода. *Характеристикой трубопровода* называется зависимость суммарной потери напора (или давления) в трубопроводе от расхода:

$$\Sigma h = f(q), \quad (5)$$

### Пример решения задачи:

Вариант 30

Определите перепад высот в водопроводе, если статический напор равен величине  $H$ , а давление на выходе равно атмосферному.

Дано:

СИ:

Решение:

$$H = 14200 \text{ мм}$$

$$14,2 \text{ м}$$

Для решения данной задачи воспользуемся формулой  $p_{атм} = 1 \cdot 10^5 \text{ Па}$

$$(1): H_{ст} = \Delta z + \frac{p_{атм}}{\rho \cdot g}$$

$\Delta z$  - ?

Отсюда выразим перепад высот, и найдем ответ:

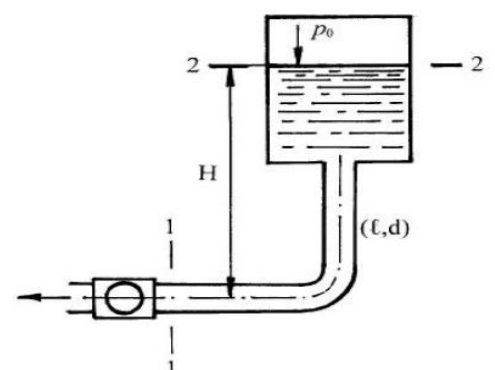
$$\Delta z = H_{ст} - \frac{p_{атм}}{\rho \cdot g} = 14,2 - \frac{10^5}{10^3 \cdot 9,81} = 4,006 \text{ м}$$

Ответ:  $\Delta z = 4,006 \text{ м}$

### Задания для практической работы

#### Основная часть:

№1. На рисунке показан всасывающий трубопровод гидросистемы. Длина трубопровода  $\ell$ , диаметр  $d$ , расход



жидкости  $Q$ , абсолютное давление воздуха в бачке  $p_0$ , высота  $H$ , плотность жидкости  $\rho$ . Определить абсолютное давление перед входом в насос при температуре рабочей жидкости  $t = 25^\circ\text{C}$  ( $\nu = 0,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ ). Определите, как изменится искомое давление в зимнее время, когда при этом же расходе температура жидкости упадет до  $-35^\circ\text{C}$  ( $\nu = 10 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ ).

Рисунок 3: трубопровод к задаче №1.

**№2.** Определите действующий напор, если расход истечения жидкости составил  $Q$ , при длине трубопровода  $\ell$ , и диаметру трубы  $d$ . Кинематическая вязкость воды в трубопроводе  $\nu$ .

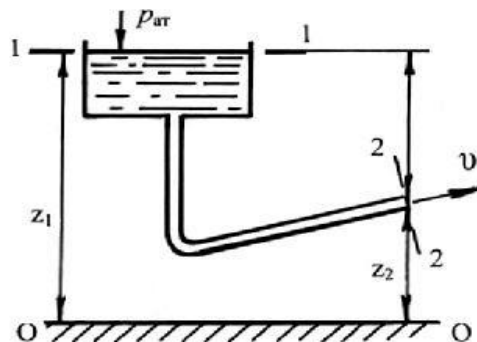


Рисунок 4: трубопровод, к задаче №2.

**№3.** Определите действующий напор, если расход истечения жидкости составил  $Q$ , при длине трубопровода  $\ell$ , и диаметру трубы  $d$ . Кинематическая вязкость воды в трубопроводе  $\nu$ .

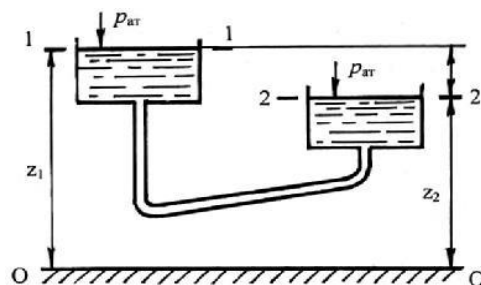


Рисунок 5: трубопровод, к задаче №3.

#### Дополнительная часть:

**№4.** Проанализируйте, как изменится статический напор в трубопроводе, по которому движется вода, если перепад высот  $\Delta z$  уменьшится, а давление на выходе увеличится в это же число раз?

#### Варианты заданий:

| № п/п     | $\ell$ , мм | $d$ , мм | $H$ , мм | $Q$ , л/с | $p_0$ , кПа | $\rho$ , кг/м <sup>3</sup> | $\nu$ , м <sup>2</sup> /с * 10 <sup>-4</sup> |
|-----------|-------------|----------|----------|-----------|-------------|----------------------------|--|
| 1 вариант | 9100        | 50       | 12400    | 8,8       | 120         | 800                        | 0,51   |
| 2 вариант | 5700        | 100      | 15000    | 13,1      | 110         | 890                        | 0,25   |
| 3 вариант | 9800        | 150      | 17000    | 12,7      | 130         | 880                        | 1,05   |
| 4 вариант | 9400        | 200      | 12300    | 10,6      | 110         | 840                        | 0,25   |
| 5 вариант | 4500        | 200      | 13600    | 14,3      | 110         | 820                        | 0,97   |
| 6 вариант | 7100        | 200      | 14900    | 9,5       | 110         | 910                        | 0,95   |
| 7 вариант | 7700        | 150      | 14800    | 10        | 120         | 830                        | 0,33   |
| 8 вариант | 9100        | 100      | 19200    | 12,2      | 100         | 840                        | 0,41   |

|            |      |     |       |      |     |      |      |
|------------|------|-----|-------|------|-----|------|------|
| 9 вариант  | 4300 | 100 | 19400 | 14   | 120 | 890  | 0,97 |
| 10 вариант | 1700 | 50  | 13200 | 9,1  | 110 | 820  | 1,35 |
| 11 вариант | 3600 | 50  | 17400 | 15,3 | 130 | 900  | 0,33 |
| 12 вариант | 2500 | 100 | 14300 | 10   | 100 | 880  | 0,43 |
| 13 вариант | 4700 | 150 | 12200 | 12   | 110 | 990  | 0,67 |
| 14 вариант | 7300 | 200 | 11200 | 11,3 | 130 | 880  | 0,27 |
| 15 вариант | 3400 | 200 | 11200 | 13,2 | 100 | 860  | 0,94 |
| 16 вариант | 6300 | 200 | 11900 | 9    | 100 | 930  | 1,05 |
| 17 вариант | 4100 | 150 | 16800 | 12   | 100 | 910  | 0,56 |
| 18 вариант | 5600 | 100 | 15700 | 8,9  | 130 | 870  | 1,14 |
| 19 вариант | 9500 | 100 | 16900 | 8,9  | 100 | 810  | 0,73 |
| 20 вариант | 5900 | 50  | 18100 | 14,5 | 120 | 800  | 0,46 |
| 21 вариант | 1900 | 50  | 16000 | 9,2  | 100 | 890  | 0,98 |
| 22 вариант | 8700 | 100 | 10700 | 13,6 | 110 | 1000 | 1,32 |
| 23 вариант | 1300 | 150 | 18500 | 11,3 | 100 | 950  | 0,2  |
| 24 вариант | 2100 | 200 | 18600 | 13,7 | 110 | 990  | 0,23 |
| 25 вариант | 8700 | 200 | 15500 | 9,1  | 110 | 920  | 0,73 |
| 26 вариант | 3200 | 200 | 20000 | 13,2 | 130 | 840  | 1    |
| 27 вариант | 8200 | 150 | 15400 | 14,4 | 120 | 820  | 0,68 |
| 28 вариант | 9100 | 100 | 10300 | 12   | 100 | 880  | 0,28 |
| 29 вариант | 5700 | 100 | 13500 | 8,7  | 130 | 810  | 0,24 |
| 30 вариант | 1700 | 50  | 14200 | 13,1 | 120 | 970  | 0,69 |

**Отчёт о работе должен содержать** название и цель работы, задание (номер варианта), правильно оформленные решения. По результатам работы необходимо сделать выводы.

**Контрольные вопросы:**

1. Назовите, какие бывают трубопроводы, в чем их отличие?
2. Назовите, какие допущения принимаются при расчете трубопроводов?
3. Охарактеризуйте потребный, располагаемый и статический напоры.
4. Постройте графики зависимости потребных напоров от расхода жидкости в трубопроводе.

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 3 ИЗУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК НАСОСОВ

**Цель занятия:** Ознакомиться с основными параметрами и характеристиками насосов, научиться их определять.

**Развивающая:** Способствовать развитию умений учащихся обобщать полученные знания, проводить анализ, синтез, сравнения, делать необходимые выводы. Способствовать развитию умений творческого подхода к решению практических задач. Обеспечить условия для овладения учащимися алгоритмом решения проблемных и исследовательских задач.

**Воспитательная:** Обеспечить условия для воспитания положительного интереса к изучаемому предмету. Обеспечить условия по формированию сознательной дисциплины и норм поведения учащихся. Способствовать овладению необходимыми навыками самостоятельной учебной деятельности.

Время выполнения занятия 2 часа.

### **Методическое обеспечение:**

Методические указания по выполнению работы.

### **Порядок выполнения работы:**

1. Повторите теоретические положения по теме практической работы.
2. Изучите пример оформления задания.
3. Ознакомьтесь с индивидуальным заданием.
4. Решите поставленные задачи.
5. Сделайте выводы о проделанной работе.
6. Оформите отчет и ответьте на контрольные вопросы.

### **Теоретическая часть**

Насосом называется гидравлическая машина, в которой происходит преобразование механической работы в энергию потока жидкости, предназначенную для подъема, нагнетания и перемещения жидкости.

Насосы классифицируются по принципу их действия:

динамические – работают по принципу силового воздействия на перемещаемую среду:

лопастные насосы – центробежные, радиальные и осевые;

насосы трения – струйные, вихревые и дисковые.

объемные – работают по принципу вытеснения жидкости:

поршневые насосы;

роторные.

Основные технические характеристики центробежного насоса:

Подача – это объем перекачиваемой в единицу времени жидкости,  $Q$ [м<sup>3</sup>/ч], [л/с].

Полный напор:

для горизонтального насоса:

$$H=H_d-H_s+v_d^2\cdot g-v_s^2\cdot g, \quad (5.1)$$

где  $H_d$  – гидростатическое давление на выходе из насоса, измеряемое у выходного патрубка и отнесенное к оси вала насоса, м;

$H_s$  – гидростатическое давление на входе, измеряемое у входного патрубка и отнесенное также к оси вала насоса, м;

$v_d$  – скорость жидкости на выходе из насоса, измеряемое у выходного патрубка, м/с;

$v_s$  – скорость жидкости на входе, м/с;

$g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,81$  м/с<sup>2</sup>.



для вертикального насоса:

$$H = H_d + H_s + v_d^2 \cdot g, \quad (5.2)$$

где  $H_d$  – гидростатическое давление на выходе из насоса, отнесенное к оси напорного колена, м;

$H_s$  – геометрическая высота всасывания (расстояние от уровня жидкости до центра рабочего колеса), м;

$v_d$  – скорость жидкости на выходе из насоса, м/с;

$g$  – ускорение свободного падения,  $g = 9,81$ , м/с<sup>2</sup>.

Коэффициент полезного действия – это степень гидравлического и механического совершенства насоса определяется значением КПД.

Полный КПД насоса:

$\eta = \frac{\text{полезная мощность насоса}}{\text{мощность на валу}} = \frac{\rho \cdot Q \cdot H}{367 \cdot 103 \cdot N} \quad (5.3)$  где  $\rho$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;

$Q$  – подача, м<sup>3</sup>/с;

$H$  – полный напор, м;

$N$  – мощность, подведенная к валу насоса Вт.

Характеристики – это зависимости напора от подачи при постоянном числе оборотов.

Законы подобия:

$Q_1 Q_2 = n_1 n_2$ ;  $H_1 H_2 = n_1^2 n_2^2$ ;  $N_1 N_2 = n_1^3 n_2^3$ ; (5.4) где  $n_1$  – первоначальное число оборотов, об/мин;

$n_2$  – конечное число оборотов, об/мин;

$Q_1$  – первоначальная подача жидкости при начальном числе оборотов, м<sup>3</sup>/с;

$Q_2$  – конечная подача ж при конечном числе оборотов, м<sup>3</sup>/с;

$H_1$  – первоначальный напор жидкости при  $n$ , м;

$H_2$  – конечный напор жидкости при конечном числе оборотов, м;

$N_1$  – первоначальная мощность при  $n_1$ , Вт;

$N_2$  – конечная мощность при конечном числе оборотов, Вт.

Коэффициент быстроходности:

$n_s = 3,65 \frac{Q}{H^3}$ , (5.5) где  $Q$  – подача жидкости, м<sup>3</sup>/с;

$H$  – напор жидкости, м.

Кавитационный запас – это разность статического давления на всасывание насоса и упругости насыщенных паров.

### Пример решения задачи:

#### Вариант 30

Определите геометрическую высоту всасывания центробежного насоса, если его подача  $Q$ , диаметр всасывающего трубопровода  $d_1$ , а сумма потерь напора во всасывающем трубопроводе  $\Sigma h_{пот}$ , а допустимая вакуумметрическая высота всасывания насоса  $H_{вак}$ .

Дано: СИ:

$$Q = 62 \text{ л/с} \quad 0,062 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$d_1 = 100 \text{ мм} \quad 0,1 \text{ м}$$

$$\Sigma h_{пот} = 1,2 \text{ м}$$

$$H_{вак} = 6,3 \text{ м}$$

$$H_s = ?$$

Решение: Геометрическая высота всасывания определяется по формуле:

$$H_s = H_{\text{вак}} - \frac{v_1^2}{2 \cdot g} - \sum h_{\text{пот}}$$

Для того, чтобы найти геометрическую высоту всасывания насоса, нам нужно определить скорость жидкости во всасывающем трубопроводе, скорость мы будем находить из уравнения расхода:  $Q=v \cdot S$

Тогда,  $v=QS$ , так как площадь трубопровода, это площадь поперечного сечения, т.е. круга:  $S=\pi d^2/4$ ,

Следовательно,  $v=QS=4 \cdot Q \pi \cdot d^2=4 \cdot 0,0623,14 \cdot 0,12=7,898$  м/с

Тогда, геометрическая высота всасывания насоса

$$H_s = H_{\text{вак}} - \frac{v^2}{2 \cdot g} - h_{\text{пот}} = 6,3 - \frac{7,898^2}{2 \cdot 9,81} - 1,2 = 1,9 \text{ м}$$

Ответ:  $H_s = 1,9$  м

### Задания для практической работы

Отчёт о работе должен содержать название и цель работы, задание (номер варианта), правильно оформленные решения. По результатам работы необходимо сделать выводы

#### Основная часть

№1. При частоте вращения вала  $n_1$ , и подаче  $Q$ , центробежный насос развивает напор  $H_d$ , и потребляет мощность  $N$ . Определите, как изменятся параметры насоса ( $\Delta Q, \Delta H, \Delta N$ ), если частота вращения снизится до  $n_2$ .

№2. Определите геометрическую высоту всасывания центробежного насоса, если его подача  $Q$ , диаметр всасывающего трубопровода  $d_1$ , а сумма потерь напора во всасывающем трубопроводе  $\sum h_{\text{пот}}$ , а допустимая вакуумметрическая высота всасывания насоса  $H_{\text{вак}}$ .

№3. Определите коэффициент быстроходности вертикального центробежного насоса, если подача жидкости  $Q$ , давление на выходе из насоса  $H_d$ , геометрическая высота всасывания  $H_s$ , а диаметр всасывающего трубопровода  $d_2$

#### Дополнительная часть:

№4. Определите напор насоса, если его подача  $Q$ ; диаметр всасывающего трубопровода  $d_1$ ; диаметр нагнетательного трубопровода  $d_2$ , показания манометра соответствуют напору  $H_d$ , показания вакуумметра  $H_s$ ; расстояние по вертикали между центрами вакуумметра и манометра  $\Delta h$ .

### Варианты заданий

| № п/п     | Q, л/с | d <sub>1</sub> , мм | d <sub>2</sub> , мм | ∑h <sub>пот</sub> , м | H <sub>вак</sub> , м | H <sub>d</sub> , м | H <sub>s</sub> , м | Δh, м | n <sub>1</sub> , мин <sup>-1</sup> | n <sub>2</sub> , мин <sup>-1</sup> | N, кВт |
|-----------|--------|---------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|--------------------|--------------------|-------|------------------------------------|------------------------------------|--------|
| 1 вариант | 33     | 50                  | 50                  | 1                     | 7,1                  | 67                 | -9                 | 0,1   | 2749                               | 904                                | 81     |
| 2 вариант | 66     | 100                 | 50                  | 1,2                   | 6,3                  | 66                 | -5                 | 0,2   | 2754                               | 854                                | 72     |
| 3 вариант | 48     | 150                 | 100                 | 1,7                   | 6,5                  | 55                 | -7                 | 0,2   | 2836                               | 870                                | 71     |
| 4 вариант | 39     | 200                 | 150                 | 1                     | 5,5                  | 52                 | -10                | 0,2   | 2875                               | 914                                | 81     |
| 5 вариант | 36     | 50                  | 50                  | 0,9                   | 7,5                  | 54                 | -4                 | 0,3   | 2820                               | 935                                | 95     |
| 6 вариант | 41     | 100                 | 50                  | 1,4                   | 7                    | 67                 | -7                 | 0,3   | 2907                               | 922                                | 72     |

|            |    |     |     |     |     |    |     |     |      |     |     |
|------------|----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|------|-----|-----|
| 7 вариант  | 42 | 150 | 100 | 1,5 | 5,9 | 45 | -3  | 0,3 | 2739 | 949 | 96  |
| 8 вариант  | 40 | 200 | 150 | 1,1 | 5,3 | 55 | -7  | 0,3 | 2742 | 922 | 71  |
| 9 вариант  | 62 | 50  | 50  | 1,7 | 6,2 | 42 | -4  | 0,3 | 2865 | 898 | 103 |
| 10 вариант | 39 | 100 | 50  | 1,4 | 5,1 | 62 | -9  | 0,2 | 2779 | 910 | 81  |
| 11 вариант | 65 | 150 | 100 | 1,2 | 7,6 | 59 | -10 | 0,1 | 2973 | 931 | 92  |
| 12 вариант | 45 | 200 | 150 | 0,9 | 5,4 | 51 | -4  | 0,2 | 2711 | 969 | 98  |
| 13 вариант | 48 | 50  | 50  | 1,1 | 5,8 | 70 | -4  | 0,1 | 2822 | 976 | 84  |
| 14 вариант | 31 | 100 | 50  | 1,2 | 5,5 | 43 | -10 | 0,3 | 2919 | 941 | 76  |
| 15 вариант | 37 | 150 | 100 | 1,6 | 6,5 | 69 | -6  | 0,3 | 2870 | 934 | 106 |
| 16 вариант | 31 | 200 | 150 | 1   | 7,8 | 41 | -5  | 0,1 | 2780 | 969 | 110 |
| 17 вариант | 63 | 50  | 50  | 0,8 | 5,8 | 57 | -8  | 0,3 | 2995 | 960 | 89  |
| 18 вариант | 67 | 100 | 50  | 1,6 | 7,4 | 57 | -9  | 0,1 | 2756 | 910 | 81  |
| 19 вариант | 40 | 150 | 100 | 0,8 | 6,5 | 47 | -5  | 0,2 | 2846 | 866 | 87  |
| 20 вариант | 52 | 200 | 150 | 1,5 | 5,2 | 48 | -5  | 0,1 | 2813 | 914 | 104 |
| 21 вариант | 30 | 50  | 50  | 1,6 | 6,2 | 52 | -4  | 0,3 | 2729 | 848 | 84  |
| 22 вариант | 39 | 100 | 50  | 1,6 | 7,5 | 64 | -9  | 0,3 | 2974 | 875 | 78  |
| 23 вариант | 60 | 150 | 100 | 1,2 | 7,2 | 59 | -7  | 0,2 | 2994 | 977 | 118 |
| 24 вариант | 67 | 200 | 150 | 0,9 | 6,2 | 49 | -3  | 0,2 | 2991 | 940 | 98  |
| 25 вариант | 59 | 100 | 50  | 1,7 | 7,5 | 65 | -3  | 0,1 | 2968 | 885 | 106 |
| 26 вариант | 34 | 50  | 50  | 1,7 | 5,9 | 64 | -3  | 0,1 | 2710 | 890 | 73  |
| 27 вариант | 52 | 100 | 100 | 1,5 | 5,2 | 40 | -9  | 0,3 | 2920 | 956 | 112 |
| 28 вариант | 49 | 150 | 150 | 1,3 | 7,2 | 53 | -9  | 0,1 | 2900 | 863 | 75  |
| 29 вариант | 66 | 200 | 50  | 0,9 | 5,4 | 69 | -10 | 0,2 | 2761 | 879 | 78  |
| 30 вариант | 62 | 100 | 50  | 1,2 | 6,3 | 54 | -6  | 0,3 | 2793 | 895 | 93  |

**Отчёт о работе должен содержать** название и цель работы, задание (номер варианта), правильно оформленные решения. По результатам работы необходимо сделать выводы.

**Контрольные вопросы:**

Сформулируйте, что называется насосом?

Назовите основное назначение насосов и их виды.

Назовите основные технические характеристики центробежного насоса.

Поясните физический смысл коэффициента быстроходности.

Объясните, что такое КПД насоса, и зачем он нужен?

Опишите, как найти полный напор для вертикального и горизонтального насоса, в чем их отличие?

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4

### ИЗУЧЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕНТИЛЯТОРОВ

#### Цели занятия:

**Образовательная:** научиться определять характеристики центробежных вентиляторов, изучить виды вентиляторов и принцип их работы.

**Развивающая:** Способствовать развитию умений учащихся обобщать полученные знания, проводить анализ, синтез, сравнения, делать необходимые выводы. Способствовать развитию умений творческого подхода к решению практических задач. Обеспечить условия для овладения учащимися алгоритмом решения проблемных и исследовательских задач.

**Воспитательная:** Обеспечить условия для воспитания положительного интереса к изучаемому предмету. Обеспечить условия по формированию сознательной дисциплины и норм поведения учащихся. Способствовать овладению необходимыми навыками самостоятельной учебной деятельности.

Время выполнения занятия 2 часа.

#### Оснащение:

1. Методические указания по выполнению работы.
2. Справочная литература по ОП 06 «Основы гидравлики, теплотехники и аэродинамики».

#### Ход работы:

1. Повторите теоретические положения по теме практической работы.
2. Изучите пример оформления задания.
3. Ознакомьтесь с индивидуальным заданием.
4. Решите поставленные задачи.
5. Сделайте выводы о проделанной работе.
6. Оформите отчет и ответьте на контрольные вопросы.

#### Теоретическая часть

*Вентиляторами* называют устройства, служащие для перемещения воздуха и других газов при давлении не более  $0,15 \cdot 10^5$  Па. Они, как и насосы, находят применение во многих отраслях народного хозяйства и, в частности, в системах теплогазоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха. Вентиляторы разделяют на центробежные и осевые.

Центробежный вентилятор состоит из рабочего колеса (ротора) 2 с лопатками, спирального корпуса (кожуха) 3 и станины 1. Рабочее колесо насажено на вал 4, который установлен в подшипниках на станине.

Центробежные вентиляторы применяются в вентиляционных системах промышленных и гражданских зданий, в агрегатах воздушного отопления и кондиционирования воздуха.

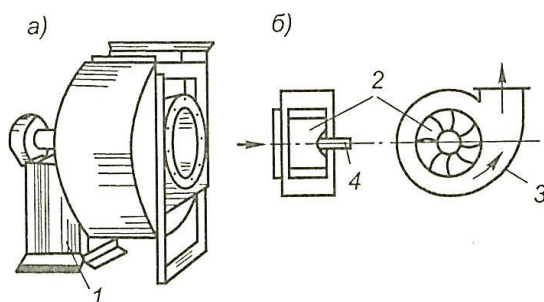


Рисунок 1: а) Общий вид; б) схема устройства центробежного вентилятора.

Конструктивное устройство центробежного вентилятора показано на рис. 2: Рабочее колесо вентилятора состоит из литой ступицы 1, жестко сопряженной с основным диском 2. Рабочие лопатки 3 крепятся к основному диску 2 и к переднему диску 4, обеспечивающему необходимую жесткость лопастной решетки 5. Корпус 6 вентилятора крепится к литой или сварной станине 9, на которой располагаются подшипники 10, несущие вал вентилятора с посаженным на него рабочим колесом; 7 и 8 – фланцы крепления всасывающей и напорной труб, 11 – шкив привода вентилятора.

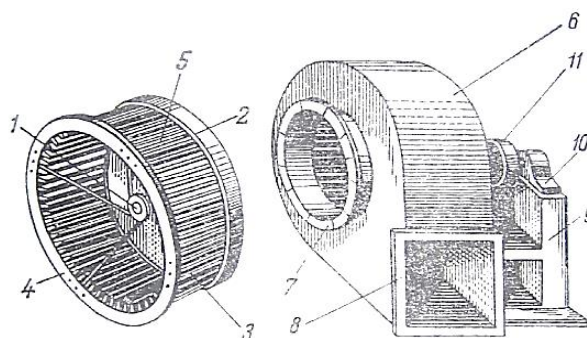


Рисунок 2: Конструктивное устройство центробежного вентилятора.

Принцип работы центробежного вентилятора аналогичен принципу работы центробежного насоса. Воздух, поступивший через входное отверстие вентилятора в полость рабочего колеса, захватывается лопатками и приводится во вращение. Под действием возникающих сил при этом центробежных сил он сжимается, отбрасывается в спиральный кожух и через нагнетательный патрубок выходит в воздуховод.

Осевой вентилятор представляет собой расположенное в цилиндрическом кожухе 2 лопаточное колесо 1, при вращении которого поступающий через входное отверстие воздух под действием лопаток перемещается между ними в осевом направлении.

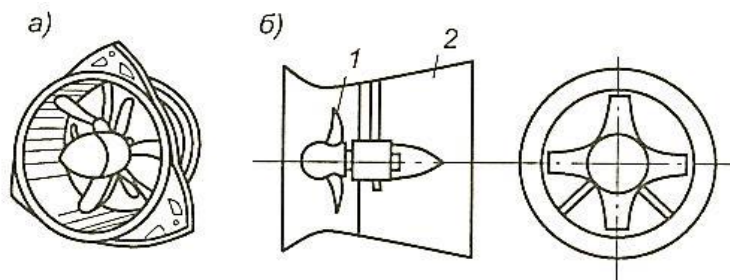


Рисунок 3: а) Общий вид; б) схема устройства осевого вентилятора.

Колесо осевого вентилятора состоит из втулки, на которой закреплены наглухо или в которой встроены лопатки. Число лопаток на колесе от 2 до 32. Осевые лопатки с лопатками симметричного профиля называются – реверсивными, а с лопатками несимметричного профиля – неревверсивными.

Центробежные вентиляторы по сравнению с осевыми развивают большее давление, поэтому их целесообразно применять для подачи воздуха при значительном давлении, а осевые - для подачи относительно большого объема воздуха при небольшом давлении.

Основные технические характеристики вентиляторов:

1. Подача вентиляторов  $L$ ,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ,  $\text{м}^3/\text{с}$  - это объем воздуха, перемещаемого вентилятором.
2. Полное давление:

$$p_{\text{п}} = \rho \cdot \Psi \cdot v_2^2 \quad (1)$$

где  $\rho$  – плотность воздуха,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$v_2$  – окружная скорость,  $v_2 = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60}$ , м/с;

$\Psi$  – коэффициент давления вентилятора,  $\Psi = \eta_{\Gamma} \cdot \varphi_2$ ;

$\eta_{\Gamma} = 1 - \frac{\Delta p}{p_T}$  – гидравлический КПД вентилятора;

$p_T$  – теоретическое давление, развиваемое вентилятором, Па;

$\varphi_2 = \frac{c_{v2}}{v_2}$  – коэффициент закручивания потока.

3. Теоретическая полезная мощность, передаваемая вентилятором перемещаемой среде:

$$N_T = p_n \cdot \frac{L}{1000}, \text{ кВт} \quad (2)$$

где  $p_n$  – полное давление, Па;

$L$  – подача вентилятора, м<sup>3</sup>/с.

4. КПД вентилятора – отношение полезной мощности к действительной:

$$\eta = \frac{N_T}{N} \quad (3)$$

5. Установочная мощность двигателя:

$$N_{уст} = K \cdot N, \quad \text{кВт} \quad (4)$$

где  $K$  – коэффициент запаса, принимаемый для центробежных вентиляторов,  $K = 1,5 - 1,1$ , для осевых  $K = 1,2 - 1,05$ .

6. Законы подобия:

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{n_1}{n_2}; \quad \frac{p_1}{p_2} = \frac{n_1^2}{n_2^2}; \quad \frac{N_1}{N_2} = \frac{n_1^3}{n_2^3}; \quad (5)$$

где  $n_1$  – первоначальное число оборотов, об/мин;

$n_2$  – конечное число оборотов, об/мин;

$L_1$  – первоначальная подача воздуха при начальном числе оборотов, м<sup>3</sup>/с;

$L_2$  – конечная подача при конечном числе оборотов, м<sup>3</sup>/с;

$p_1$  – первоначальное давление воздуха, Па;

$p_2$  – конечный давление воздуха при конечном числе оборотов, Па;

$N_1$  – первоначальная мощность при  $n_1$ , Вт;

$N_2$  – конечная мощность при конечном числе оборотов, Вт.

7. Критерий быстроходности:

$$n_{уд} = \frac{53 \cdot \sqrt{L} \cdot \omega}{\sqrt[4]{p_n^3}} \quad (6)$$

где  $\omega$  – угловая скорость вращения, с<sup>-1</sup>;

$L$  – подача вентилятора, м<sup>3</sup>/с;

$p_n$  – полное давление вентилятора, Па.

Для центробежных вентиляторов критерий быстроходности составляет до 80, а для осевых 80 - 300.

*Характеристикой вентилятора* называется зависимость основных величин, определяющих его работу, от расхода воздуха. Характеристика строится в координатах  $L$ , м<sup>3</sup>/с, и  $p$ , Па, причем проводят линии полного давления при различной частоте вращения, линия динамического давления, а также линии КПД и потребляемой мощности. Пользуясь

универсальной аэродинамической характеристикой, можно всегда выбрать наиболее эффективный режим работы вентилятора, при котором будет максимальный КПД.

### Пример решения задачи:

Вариант 30

Определите критерий быстроходности вентилятора и какой вентилятор нужен, если его подача  $L$ , давление  $p_n$  и угловая частота вращения рабочего колеса  $\omega$ .

Дано:

$$L = 1 \text{ м}^3/\text{с}$$

$$p_n = 800 \text{ Па}$$

$$\omega = 89 \text{ с}^{-1}$$

$n_{уд} - ?$

Решение:

Критерий быстроходности определим по формуле:

$$n_{уд} = \frac{53 \cdot \sqrt{L} \cdot \omega}{\sqrt[4]{p_n^3}}$$

$$\text{Тогда, } n_{уд} = \frac{53 \cdot \sqrt{1} \cdot 89}{\sqrt[4]{800^3}} = \frac{53 \cdot 1 \cdot 89}{150,42} = 31,36$$

Следовательно, можно выбрать центробежный вентилятор.

Ответ:  $n_{уд} = 31,36$

### Задания для практической работы.

#### Основная часть:

**№1.** Определите критерий быстроходности вентилятора и какой вентилятор нужен, если его подача  $L$ , давление  $p_n$  и угловая частота вращения рабочего колеса  $\omega$ .

**№2.** Определите давление, развиваемое центробежным вентилятором, если коэффициент давления  $\Psi$ , частота вращения рабочего колеса  $n_1$ , наружный диаметр колеса  $D$ , а плотность воздуха  $\rho$ .

**№3.** При частоте вращения вала  $n_1$ , и подаче  $L$ , центробежный вентилятор развивает давление  $p$ , и потребляет мощность  $N$ . Определите, как изменятся параметры насоса ( $\Delta L$ ,  $\Delta p$ ,  $\Delta N$ ), если частота вращения снизится до  $n_2$ .

#### Варианты заданий:

| № п/п      | $L$ ,<br>$\text{м}^3/\text{с}$ | $p_n$ , Па | $p$ ,<br>кПа | $\omega$ , $\text{с}^{-1}$ | $\Psi$ | $n_1$ , $\text{мин}^{-1}$ | $n_2$ , $\text{мин}^{-1}$ | $D$ , м | $\rho$ , $\text{кг}/\text{м}^3$ | $N$ ,<br>кВт | $\eta$ |
|------------|--------------------------------|------------|--------------|----------------------------|--------|---------------------------|---------------------------|---------|---------------------------------|--------------|--------|
| 1 вариант  | 4                              | 715        | 3,4          | 90                         | 0,83   | 800                       | 513                       | 0,54    | 1,2                             | 20           | 0,5    |
| 2 вариант  | 1                              | 797        | 3,8          | 89                         | 0,87   | 900                       | 440                       | 0,51    | 1,2                             | 10           | 0,6    |
| 3 вариант  | 2                              | 700        | 3,4          | 85                         | 0,85   | 1000                      | 446                       | 0,45    | 1,2                             | 4,5          | 0,43   |
| 4 вариант  | 1                              | 790        | 3,3          | 85                         | 0,78   | 1100                      | 500                       | 0,41    | 1,2                             | 2,8          | 0,64   |
| 5 вариант  | 4                              | 747        | 4,2          | 88                         | 0,71   | 1200                      | 464                       | 0,52    | 1,2                             | 14           | 0,5    |
| 6 вариант  | 2                              | 787        | 3,1          | 91                         | 0,76   | 1300                      | 577                       | 0,42    | 1,2                             | 1            | 0,6    |
| 7 вариант  | 2                              | 789        | 3,8          | 85                         | 0,77   | 1400                      | 569                       | 0,4     | 1,2                             | 1,7          | 0,43   |
| 8 вариант  | 1                              | 748        | 4,4          | 89                         | 0,72   | 800                       | 545                       | 0,5     | 1,2                             | 20           | 0,64   |
| 9 вариант  | 2                              | 780        | 3,6          | 91                         | 0,85   | 900                       | 560                       | 0,52    | 1,2                             | 10           | 0,64   |
| 10 вариант | 5                              | 792        | 4,7          | 95                         | 0,79   | 1000                      | 434                       | 0,42    | 1,2                             | 4,5          | 0,5    |
| 11 вариант | 1                              | 776        | 4,7          | 88                         | 0,9    | 1100                      | 433                       | 0,4     | 1,2                             | 2,8          | 0,6    |
| 12 вариант | 3                              | 800        | 3,7          | 95                         | 0,7    | 1200                      | 554                       | 0,6     | 1,2                             | 14           | 0,43   |
| 13 вариант | 4                              | 705        | 4,2          | 91                         | 0,9    | 1300                      | 512                       | 0,34    | 1,2                             | 1            | 0,64   |
| 14 вариант | 3                              | 728        | 3,9          | 92                         | 0,79   | 1400                      | 517                       | 0,33    | 1,2                             | 1,7          | 0,5    |
| 15 вариант | 4                              | 718        | 4,4          | 93                         | 0,85   | 800                       | 508                       | 0,48    | 1,2                             | 20           | 0,6    |
| 16 вариант | 4                              | 799        | 4,5          | 89                         | 0,87   | 900                       | 496                       | 0,3     | 1,2                             | 10           | 0,43   |
| 17 вариант | 3                              | 786        | 4,2          | 92                         | 0,73   | 1000                      | 486                       | 0,52    | 1,2                             | 4,5          | 0,64   |

|            |   |     |     |    |      |      |     |      |     |     |      |
|------------|---|-----|-----|----|------|------|-----|------|-----|-----|------|
| 18 вариант | 2 | 791 | 3,2 | 89 | 0,78 | 1100 | 560 | 0,4  | 1,2 | 2,8 | 0,64 |
| 19 вариант | 3 | 795 | 5   | 86 | 0,82 | 1200 | 417 | 0,48 | 1,2 | 14  | 0,5  |
| 20 вариант | 5 | 712 | 3,3 | 89 | 0,76 | 1300 | 550 | 0,36 | 1,2 | 1   | 0,6  |
| 21 вариант | 3 | 779 | 4,6 | 91 | 0,7  | 1400 | 526 | 0,4  | 1,2 | 1,7 | 0,43 |
| 22 вариант | 1 | 718 | 3   | 92 | 0,79 | 800  | 542 | 0,37 | 1,2 | 20  | 0,64 |
| 23 вариант | 5 | 791 | 3   | 89 | 0,71 | 900  | 513 | 0,34 | 1,2 | 10  | 0,5  |
| 24 вариант | 3 | 758 | 4,9 | 86 | 0,7  | 1000 | 409 | 0,55 | 1,2 | 4,5 | 0,6  |
| 25 вариант | 5 | 707 | 4,1 | 90 | 0,8  | 1100 | 460 | 0,5  | 1,2 | 2,8 | 0,43 |
| 26 вариант | 3 | 787 | 4   | 87 | 0,89 | 1200 | 513 | 0,46 | 1,2 | 14  | 0,64 |
| 27 вариант | 3 | 714 | 3,7 | 88 | 0,81 | 1300 | 566 | 0,46 | 1,2 | 1   | 0,64 |
| 28 вариант | 4 | 705 | 4,5 | 91 | 0,74 | 1400 | 442 | 0,36 | 1,2 | 1,7 | 0,43 |
| 29 вариант | 1 | 735 | 4,6 | 85 | 0,83 | 1400 | 437 | 0,4  | 1,2 | 20  | 0,5  |
| 30 вариант | 1 | 800 | 3,6 | 89 | 0,73 | 1300 | 572 | 0,34 | 1,2 | 14  | 0,6  |

**Отчёт о работе должен содержать** название и цель работы, задание (номер варианта), правильно оформленные решения. По результатам работы необходимо сделать выводы.

### **Контрольные вопросы:**

1. Назовите назначение вентилятора и их виды.
2. Объясните принцип работы центробежного вентилятора.
3. Расскажите классификацию центробежных вентиляторов.
4. Назовите основные технические характеристики вентиляторов.
5. Объясните, как определить полезную мощность и КПД вентилятора.
6. Назовите, что характеризует критерий быстроходности вентилятора.
7. Назовите, что называют характеристикой вентилятора?



## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №5 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПАРА.

### Цели занятия:

**Образовательная:** Научиться определять основные параметры пара и законы идеального газа. Понять в чем их отличие

**Развивающая:** Способствовать развитию умений учащихся обобщать полученные знания, проводить анализ, синтез, сравнения, делать необходимые выводы. Способствовать развитию умений творческого подхода к решению практических задач. Обеспечить условия для овладения учащимися алгоритмом решения проблемных и исследовательских задач.

**Воспитательная:** Обеспечить условия для воспитания положительного интереса к изучаемому предмету. Обеспечить условия по формированию сознательной дисциплины и норм поведения учащихся. Способствовать овладению необходимыми навыками самостоятельной учебной деятельности.

Время выполнения занятия 2 часа.

### Оснащение:

1. Методические указания по выполнению работы.
2. Справочная литература по ОП 06 «Основы гидравлики, теплотехники и аэродинамики».

### Ход работы:

1. Повторите теоретические положения по теме практической работы.
2. Изучите пример оформления задания.
3. Ознакомьтесь с индивидуальным заданием.
4. Решите поставленные задачи.
5. Сделайте выводы о проделанной работе.
6. Оформите отчет и ответьте на контрольные вопросы.

### Теоретическая часть

Теплотехника – это наука, изучающая процесс перехода теплоты в механическую работу.

Идеальный газ – это такой газ, в котором молекулы находятся на большом расстоянии друг от друга, не взаимодействуют между собой.

Основные параметры состояния идеального газа:

- 1) Давление:

$$P_{абс} = P_б + P_{изб}$$

где  $p_б$  – атмосферное (барометрическое давление  $P_a$ , мм рт. ст., бар;

$p_{изб}$  – избыточное давление  $P_a$ , мм рт. ст., бар.

$$1 \quad \text{бар} = 750 \text{ мм рт. ст.}$$

2) Температура:

$$T = t + 273, \text{ К}$$

где  $t$  – температура по шкале Цельсия  $^{\circ}\text{C}$ .

3) Удельный объем:

$$v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho}$$

где  $V$  – объем, занимаемый газом,  $\text{м}^3$ ;

$m$  – масса газа, кг;

$\rho$  – плотность газа,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Основные законы идеального газа:

Закон Бойля – Мариотта:

$$p \cdot v = \text{const}, \text{ при } t = \text{const}$$

где  $v$  – удельный объем,  $\text{м}^3$ ;

$p$  – абсолютное давление, Па, мм рт. ст., бар;

$t$  – температура,  $^{\circ}\text{C}$ , К.

Закон Гей-Люссака:

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{T_1}{T_2} = \text{const}, \text{ при } p = \text{const}$$

где  $v$  – удельный объем,  $\text{м}^3$ ;

$t$  – температура, К;

$p$  – абсолютное давление, Па, мм рт. ст., бар.

Закон Шарля:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2} = \text{const}, \text{ при } v = \text{const}$$

где  $p$  – абсолютное давление, Па, мм рт. ст., бар;

$v$  – удельный объем,  $\text{м}^3$ ;

$t$  – температура, К.

Закон Авогадро:

$$\frac{\mu_1}{\rho_1} = \frac{\mu_2}{\rho_2} = \text{const, при } p = \text{const и } t = \text{const}$$

где  $\mu$  – молярная масса, кг/моль;

$p$ – абсолютное давление, Па, мм рт. ст., бар;

$\rho$ – плотность газа, кг/м<sup>3</sup>;

$t$ – температура, °С, К.

Уравнение состояния идеального газа, или уравнение Клайперона:

$$p \cdot V = m \cdot R_0 \cdot T$$

где  $V$  – объем, занимаемый газом, м<sup>3</sup>;

$p$ – абсолютное давление, Па, мм рт. ст., бар;

$\rho$ – плотность газа, кг/м<sup>3</sup>;

$m$ – масса газа, кг;

$R_0$  – газовая постоянная, для каждого газа имеет свое значение, Дж/(кг\*К);

$T$ – температура, К.

Уравнение Менделеева-Клайперона:

$$p \cdot V = \frac{m}{\mu} \cdot R \cdot T,$$

где  $V$  – объем, занимаемый газом, м<sup>3</sup>;

$p$ – абсолютное давление, Па, мм рт. ст., бар;

$\rho$ – плотность газа, кг/м<sup>3</sup>;

$m$ – масса газа, кг;

$\mu$  – молярная масса, кг/моль;

$R$  – универсальная газовая постоянная,  $R=8,314$  Дж/(моль\*К);

$T$ – температура, К.

### Пример решения задачи:

Вариант 30

Определите, как изменится объем жидкости при повышении температуры от  $t_1$  до  $t_2$ , если изначально объем жидкости составлял  $V$ , давление осталось неизменным.

Дано:

Решение:

$$V = 0,8 \text{ м}^3$$

Так как  $p = \text{const}$ , то для нахождения изменения объема

$$t_1 = 15 \text{ }^\circ\text{C}$$

мы применим закон Гей-Люссака:  $\frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$

\_\_\_\_\_  $t_2 = 43^\circ\text{C}$   
в Кельвин:

Для этого сначала переведем температуру

$$\Delta V - ?$$

$$T_1 = 273 + 15 = 288 \text{ К}$$

$$T_2 = 273 + 43 = 316 \text{ К}$$

$$\text{Т.к. } \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}, \text{ то } V_2 = \frac{V_1 \cdot T_2}{T_1} = \frac{0,8 \cdot 316}{288} = 0,878 \text{ м}^3$$

$$\text{Тогда } \Delta V = V_2 - V_1 = 0,878 - 0,8 = 0,078 \text{ м}^3$$

Следовательно, при изменении температуры объем увеличился на  $0,078 \text{ м}^3$ .

$$\text{Ответ: } \Delta V = 0,078 \text{ м}^3$$

### Задания для практической работы.

#### Основная часть:

**№1.** Манометр, установленный на паровом котле, показывает давление  $p_{\text{изб}}$ . Определите давление пара в котле, если атмосферное давление  $p_{\text{атм}}$ .

**№2.** В баллоне содержится кислород массой  $m$  при давлении  $p$  и температуре  $t_1$ . Вычислите вместимость баллона  $V$ .

**№3.** Давление воздуха, измеренное ртутным барометром, равно  $p_6$  при температуре ртути  $t_1$ . Выразите это давление в барах.

**№4.** В баллоне объемом  $V$  содержится аргон при определенных условиях массой  $m$ . Определите плотность и удельный объем аргона при этих условиях.

**№5.** Резервуар вместимостью  $V$  заполнен углекислым газом. Избыточное давление в резервуаре  $p_{\text{изб}}$ , температура  $t_1$ , а барометрическое давление  $p_{\text{атм}}$ . Определите:

а) массу газа

б) вес газа

в) удельный объем газа

**№6.** Определите, как изменится давление жидкости при повышении температуры от  $t_1$  до  $t_2$ , если изначально давление жидкости составляло  $p$ , удельный объем остался неизменным.

**№7.** В баллоне объемом  $V$  находится гелий под давлением  $p$  при температуре  $t_1$ . После того, как из баллона был израсходован гелий массой  $m$ , температура в баллоне понизилась на  $\Delta t$ . Определите давление  $p_2$  гелия, оставшегося в баллоне. Молярная масса гелия  $\mu = 0,004$  кг/моль.

### Варианты заданий:

| № п/п      | $p$ , МПа | $p_{\text{изб}}$ , кПа | $p_{\text{атм}}$ , кПа | $p_{\text{б}}$ , мм рт. ст. | $t_1$ , °С | $t_2$ , °С | $\Delta t$ , °С | $V$ , м <sup>3</sup> | $m$ , кг |
|------------|-----------|------------------------|------------------------|-----------------------------|------------|------------|-----------------|----------------------|----------|
| 1 вариант  | 3,9       | 1,4                    | 100                    | 696                         | 20         | 53         | 10              | 1,3                  | 0,91     |
| 2 вариант  | 10,4      | 2,2                    | 94                     | 665                         | 15         | 49         | 9               | 0,7                  | 1,04     |
| 3 вариант  | 7,4       | 1,9                    | 102                    | 655                         | 10         | 55         | 7               | 0,9                  | 0,6      |
| 4 вариант  | 1,4       | 1,6                    | 96                     | 661                         | 15         | 50         | 5               | 0,6                  | 0,9      |
| 5 вариант  | 10,8      | 1                      | 107                    | 704                         | 30         | 42         | 20              | 1,8                  | 0,53     |
| 6 вариант  | 3,9       | 1,2                    | 119                    | 665                         | 25         | 44         | 15              | 1,3                  | 0,5      |
| 7 вариант  | 7,1       | 1,8                    | 115                    | 671                         | 20         | 49         | 9               | 0,8                  | 0,99     |
| 8 вариант  | 2         | 2,2                    | 88                     | 697                         | 15         | 58         | 8               | 1,4                  | 1,03     |
| 9 вариант  | 7         | 1,5                    | 96                     | 670                         | 15         | 51         | 7               | 1,5                  | 0,82     |
| 10 вариант | 4,3       | 2                      | 112                    | 689                         | 10         | 57         | 5               | 0,8                  | 0,62     |
| 11 вариант | 6,3       | 2,2                    | 80                     | 702                         | 25         | 41         | 20              | 0,6                  | 0,46     |
| 12 вариант | 7,5       | 0,9                    | 114                    | 660                         | 10         | 55         | 7               | 0,8                  | 0,71     |
| 13 вариант | 7,2       | 1,9                    | 92                     | 692                         | 30         | 49         | 17              | 0,7                  | 0,75     |
| 14 вариант | 10,5      | 1,4                    | 83                     | 703                         | 10         | 43         | 8               | 0,7                  | 0,73     |
| 15 вариант | 1,3       | 1,4                    | 107                    | 690                         | 15         | 54         | 9               | 1,8                  | 0,58     |
| 16 вариант | 1,8       | 1,1                    | 86                     | 660                         | 15         | 41         | 4               | 1,2                  | 0,66     |
| 17 вариант | 4,6       | 1,2                    | 115                    | 717                         | 25         | 58         | 22              | 1,4                  | 1,03     |
| 18 вариант | 3,2       | 1,6                    | 106                    | 659                         | 10         | 57         | 7               | 1,2                  | 0,86     |
| 19 вариант | 9,7       | 1,6                    | 116                    | 681                         | 25         | 51         | 11              | 1,1                  | 0,76     |
| 20 вариант | 2,7       | 1                      | 85                     | 647                         | 30         | 40         | 10              | 1,8                  | 0,89     |

|            |      |     |     |     |    |    |    |     |      |
|------------|------|-----|-----|-----|----|----|----|-----|------|
| вариант    |      |     |     |     |    |    |    |     |      |
| 21 вариант | 5,3  | 1,5 | 111 | 718 | 30 | 55 | 14 | 1,4 | 0,51 |
| 22 вариант | 9,8  | 1,4 | 90  | 681 | 15 | 54 | 9  | 0,6 | 0,7  |
| 23 вариант | 8,5  | 2,1 | 88  | 652 | 20 | 44 | 14 | 1,3 | 0,8  |
| 24 вариант | 8,6  | 1,7 | 84  | 710 | 25 | 41 | 8  | 1   | 0,56 |
| 25 вариант | 2,5  | 2,3 | 97  | 665 | 30 | 57 | 7  | 1,5 | 0,62 |
| 26 вариант | 4    | 1,5 | 92  | 710 | 15 | 44 | 10 | 1,4 | 0,47 |
| 27 вариант | 2,9  | 1,3 | 83  | 645 | 10 | 58 | 4  | 1,5 | 0,56 |
| 28 вариант | 7,6  | 1,2 | 118 | 685 | 20 | 55 | 19 | 1,8 | 0,59 |
| 29 вариант | 1,3  | 1,3 | 102 | 676 | 30 | 51 | 15 | 1,3 | 0,88 |
| 30 вариант | 10,9 | 1,2 | 106 | 655 | 15 | 43 | 7  | 0,8 | 0,53 |

**Отчёт о работе должен содержать** название и цель работы, задание (номер варианта), правильно оформленные решения. По результатам работы необходимо сделать выводы.

**Контрольные вопросы:**

Назовите, что изучает теплотехника?

2. Сформулируйте, какой физический смысл лежит в основе термодинамики?
3. Назовите, что такое термодинамическая система?
4. Назовите какие бывают термодинамические состояния?
5. Объясните отличие реального газа от идеального.
6. Назовите какие две температурные шкалы применяют для измерения температуры?
7. Назовите основные параметры состояния идеального газа?
8. Сформулируйте закон Бойля-Мариотта
9. Назовите, что утверждает закон Гей-Люссака?
10. Сформулируйте закон Шарля.
11. Объясните, какие параметры связывают уравнение идеального газа Клайперона?

## ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА №6

### ПРИМЕНЕНИЕ ПЕРВОГО И ВТОРОГО ЗАКОНА ТЕРМОДИНАМИКИ.

#### Цели занятия:

**Образовательная:** Научиться применять 1 и 2 закон термодинамики для решения конкретных прикладных задач, изучить термодинамические процессы, и их особенности, понять, в чем заключается особенность цикла Карно, и что такое прямой и обратный циклы.

**Развивающая:** Способствовать развитию умений учащихся обобщать полученные знания, проводить анализ, синтез, сравнения, делать необходимые выводы. Способствовать развитию умений творческого подхода к решению практических задач. Обеспечить условия для овладения учащимися алгоритмом решения проблемных и исследовательских задач.

**Воспитательная:** Обеспечить условия для воспитания положительного интереса к изучаемому предмету. Обеспечить условия по формированию сознательной дисциплины и норм поведения учащихся. Способствовать овладению необходимыми навыками самостоятельной учебной деятельности.

Время выполнения занятия 2 часа.

#### Оснащение:

1. Методические указания по выполнению работы.
2. Справочная литература по ОП 06 «Основы гидравлики, теплотехники и аэродинамики».

#### Ход работы:

1. Повторите теоретические положения по теме практической работы.
2. Изучите пример оформления задания.
3. Ознакомьтесь с индивидуальным заданием.
4. Решите поставленные задачи.
5. Сделайте выводы о проделанной работе.
6. Оформите отчет и ответьте на контрольные вопросы.

#### Теоретическая часть

##### **Полная энергия системы:**

$$E = E_k + E_p + U$$

где  $E_k$  – кинетическая энергия системы, Дж;

$E_p$  – потенциальная энергия системы, Дж;

$U$  – внутренняя энергия, Дж.

##### **Внутренняя удельная энергия вещества:**

$$u = \frac{U}{m}, \text{ Дж/кг}$$

где  $U$  – внутренняя энергия системы, Дж;

$m$  – масса вещества, кг.

**Изменение внутренней энергии:**

$$\Delta U = \frac{i}{2} \cdot \frac{m}{\mu} \cdot R \cdot \Delta T, \text{ Дж}$$

где  $i$  – число степеней свободы;

$R$  – универсальная газовая постоянная,  $R = 8,314$  Дж/(моль\*К);

$m$  – масса вещества, кг;

$\mu$  – молярная масса, кг/моль;

$\Delta T$  – изменение температуры, К.

**Удельная теплоемкость при постоянном давлении:**

$$c_p = \frac{1}{m} \cdot \frac{\Delta Q}{\Delta T}, \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$$

где  $\Delta Q$  – количество теплоты, Дж;

$m$  – масса вещества, кг;

$\Delta T$  – изменение температуры, К.

**Удельная теплоемкость при постоянном объеме:**

$$c_v = \frac{1}{m} \cdot \frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

где  $\Delta Q$  – количество теплоты, Дж;

$m$  – масса вещества, кг;

$\Delta T$  – изменение температуры, К.

**Показатель адиабаты:**

$$k = \frac{c_p}{c_v}$$

где  $c_p$  – удельная теплоемкость при постоянном давлении, Дж/кг\*К;

$c_v$  – удельная теплоемкость при постоянном объеме, Дж/кг\*К.

**Молярная теплоемкость:**



$$c_{\mu} = c_p \cdot \mu, \text{ Дж/моль} \cdot \text{К}$$

где  $c_p$  – удельная теплоемкость при постоянном давлении, Дж/кг\*К;

$\mu$ –молярная масса, кг/моль.

**Первый закон термодинамики:**

$$Q = \Delta U + A$$

где  $\Delta U$  – изменение внутренней энергии системы, Дж;

$A$  – работа, Дж.

**Второй закон термодинамики:**

$$\Delta S \geq \frac{\Delta Q}{T}$$

где  $\Delta Q$  – количество теплоты, Дж;

$T$  – температура, К.

**КПД тепловой машины:**

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

**Холодильный коэффициент:**

$$\varepsilon = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

**Пример решения задачи:**

Вариант 30

Найдите среднюю удельную теплоемкость кислорода при постоянном давлении при повышении его температуры от  $t_1$  до  $t_2$ .

Дано:  $t_1 = 20^{\circ}\text{C}$   $t_2 = 146^{\circ}\text{C}$

$c_p$  -?

Решение:

Так как давлению постоянно  $p = \text{const}$ , то будем находить среднюю удельную теплоемкость при постоянном давлении  $c_p$ .

Искомую теплоемкость принимаем равной истинной удельной изобарной теплоемкости при средней арифметической температуре  $\bar{t}$ .

Так как, в условии задачи нам даны  $t_1$  и  $t_2$ , то сначала найдем среднюю температуру:  $\bar{t} = t_1 + t_2 = 20 + 146 = 83 \text{ }^\circ\text{C}$

Затем из приложения 13 (справочные данные), находим истинную удельную изобарную теплоемкость для кислорода при  $\bar{t} = 83 \text{ }^\circ\text{C}$ :  $c_p = 0,929 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$

Это значение теплоемкости равно средней удельной теплоемкости кислорода в интервале температур от 20 до 146  $^\circ\text{C}$ .

Ответ:  $c_p = 0,929 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$

### Задания для практической работы.

#### Основная часть:

**№1.** Определите внутреннюю энергию азота массой  $m$ , который вначале находится при температуре  $T_1$ . Затем азот изобарно нагрели до  $T_2$ . Определить изменение внутренней энергии газа. Молярная масса азота равна  $\mu = 0,028 \text{ кг/моль}$ .

**№2.** Определите расход воздуха в системе охлаждения дизеля  $Q$ , и массу  $m$ , мощностью  $N$ , если отводимая теплота составляет 75% полезной мощности двигателя, а температура охлаждающего воздуха повышается до  $\Delta t$ .

**№3.** В резервуаре емкостью  $V_1$  находится воздух при давлении  $p_1$  и температуре  $t_1$ . Определите, как изменится температура  $t_2$  и давление  $p_2$  воздуха, если к нему подвести теплоту в количестве  $Q$ ?

**№4.** Найдите среднюю киломолярную изобарную теплоемкость углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ) при повышении его температуры от  $t_1$  до  $t_2$ .

**№5.** Определите КПД обратимого цикла теплового двигателя, если температуры теплоотдачи  $t_1$ , а теплоприемника  $t_2$ .

#### Варианты заданий:

| № п/п     | $t_1, \text{ }^\circ\text{C}$ | $t_2, \text{ }^\circ\text{C}$ | $\Delta t, \text{ }^\circ\text{C}$ | $m, \text{ кг}$ | $N, \text{ кВт}$ | $V_1, \text{ м}^3$ | $V_2, \text{ м}^3$ | $p_1, \text{ МПа}$ | $p_2, \text{ МПа}$ | $\eta, \text{ \%}$ | $Q, \text{ Дж}$ |
|-----------|-------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|-----------------|------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------|
| 1 вариант | 56                            | 105                           | 52                                 | 0,85            | 65,00            | 0,70               | 3,60               | 0,80               | 6,80               | 17,00              | 240             |
| 2 вариант | 45                            | 180                           | 27                                 | 0,63            | 40,00            | 1,90               | 4,30               | 0,70               | 5,20               | 39,00              | 235             |
| 3 вариант | 42                            | 300                           | 48                                 | 0,43            | 42,00            | 1,40               | 3,30               | 1,10               | 4,70               | 23,00              | 258             |
| 4 вариант | 43                            | 135                           | 26                                 | 0,80            | 62,00            | 0,90               | 3,40               | 0,70               | 5,80               | 18,00              | 299             |
| 5 вариант | 70                            | 291                           | 49                                 | 0,45            | 53,00            | 1,70               | 4,10               | 1,00               | 4,30               | 38,00              | 302             |
| 6 вариант | 60                            | 114                           | 60                                 | 0,57            | 38,00            | 1,30               | 5,50               | 1,90               | 5,00               | 24,00              | 304             |
| 7 вариант | 53                            | 117                           | 82                                 | 0,42            | 33,00            | 2,10               | 5,20               | 1,40               | 4,70               | 41,00              | 308             |

|            |    |     |    |      |       |      |      |      |      |       |     |
|------------|----|-----|----|------|-------|------|------|------|------|-------|-----|
| 8 вариант  | 56 | 254 | 58 | 0,58 | 36,00 | 1,00 | 5,00 | 1,70 | 4,10 | 37,00 | 325 |
| 9 вариант  | 51 | 243 | 27 | 0,84 | 48,00 | 1,90 | 4,80 | 0,50 | 4,70 | 16,00 | 242 |
| 10 вариант | 62 | 249 | 96 | 0,90 | 65,00 | 2,50 | 4,20 | 0,50 | 4,30 | 16,00 | 309 |
| 11 вариант | 44 | 127 | 21 | 0,57 | 62,00 | 0,60 | 5,40 | 1,10 | 6,00 | 24,00 | 195 |
| 12 вариант | 34 | 190 | 28 | 0,58 | 33,00 | 2,20 | 4,10 | 1,80 | 6,10 | 18,00 | 290 |
| 13 вариант | 12 | 205 | 22 | 0,90 | 34,00 | 0,50 | 5,30 | 1,40 | 6,40 | 35,00 | 313 |
| 14 вариант | 64 | 116 | 43 | 0,56 | 35,00 | 0,50 | 5,00 | 1,60 | 6,60 | 23,00 | 350 |
| 15 вариант | 17 | 145 | 71 | 0,65 | 37,00 | 0,80 | 3,70 | 1,50 | 5,70 | 25,00 | 390 |
| 16 вариант | 23 | 120 | 52 | 0,55 | 58,00 | 1,90 | 3,10 | 0,70 | 4,50 | 38,00 | 380 |
| 17 вариант | 56 | 234 | 28 | 0,90 | 50,00 | 0,90 | 5,10 | 0,70 | 5,90 | 16,00 | 372 |
| 18 вариант | 30 | 178 | 83 | 0,80 | 71,00 | 2,30 | 3,70 | 0,70 | 6,20 | 24,00 | 350 |
| 19 вариант | 13 | 228 | 13 | 0,92 | 43,00 | 2,30 | 4,60 | 1,70 | 5,70 | 20,00 | 375 |
| 20 вариант | 59 | 211 | 20 | 0,56 | 48,00 | 0,90 | 3,00 | 1,70 | 4,00 | 23,00 | 198 |
| 21 вариант | 68 | 230 | 68 | 0,58 | 70,00 | 1,00 | 4,60 | 1,40 | 5,70 | 35,00 | 171 |
| 22 вариант | 54 | 159 | 62 | 0,70 | 70,00 | 1,50 | 5,30 | 1,10 | 4,00 | 27,00 | 153 |
| 23 вариант | 16 | 153 | 77 | 0,80 | 50,00 | 2,40 | 4,60 | 1,60 | 5,70 | 35,00 | 203 |
| 24 вариант | 66 | 193 | 75 | 0,90 | 50,00 | 1,80 | 5,50 | 1,60 | 4,00 | 39,00 | 231 |
| 25 вариант | 11 | 102 | 97 | 0,86 | 63,00 | 1,90 | 3,60 | 0,60 | 7,00 | 24,00 | 255 |
| 26 вариант | 52 | 279 | 71 | 0,49 | 43,00 | 0,80 | 5,00 | 1,20 | 5,30 | 20,00 | 281 |
| 27 вариант | 27 | 174 | 29 | 0,53 | 67,00 | 1,90 | 3,80 | 1,80 | 6,20 | 39,00 | 292 |

|               |    |     |    |      |       |      |      |      |      |       |     |
|---------------|----|-----|----|------|-------|------|------|------|------|-------|-----|
| вариант       |    |     |    |      |       |      |      |      |      |       |     |
| 28<br>вариант | 18 | 215 | 45 | 0,68 | 72,00 | 2,00 | 3,60 | 1,00 | 4,80 | 35,00 | 300 |
| 29<br>вариант | 68 | 297 | 86 | 0,63 | 57,00 | 2,30 | 5,20 | 1,80 | 5,70 | 27,00 | 302 |
| 30<br>вариант | 20 | 146 | 95 | 0,57 | 55,00 | 0,70 | 5,50 | 0,60 | 6,80 | 24,00 | 307 |

**Отчёт о работе должен содержать** название и цель работы, задание (номер варианта), правильно оформленные решения. По результатам работы необходимо сделать выводы.

**Контрольные вопросы:**

1. Назовите из чего складывается полная внутренняя энергия системы?
2. Объясните, что такое удельная внутренняя энергия?
3. Объясните, как определить энтальпию газа?
4. Назовите, что такое энтропия газа, в чем заключается ее физический смысл?
5. Назовите определение теплоемкости газов. Виды.
6. Сформулируйте первый закон термодинамики.
7. Запишите уравнение изохорного процесса.
8. Запишите основное уравнение для изобарного процесса.
9. Запишите основное уравнение для адиабатического процесса.
10. Назовите, как определить термический КПД?

**ОТЧЕТ  
ПО ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЕ №**

---

по дисциплине ОП.06 Основы гидравлики, теплотехники и аэродинамики  
студента

---

группа \_\_\_\_\_

Преподаватель \_\_\_\_\_ О.А. Беднарская

Оценка \_\_\_\_\_

Дата сдачи \_\_\_\_\_