

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Ижевский государственный технический университет имени  
М.Т. Калашникова»  
(ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова»)

# Решения задач размещены на сайте **zadachi24.ru**

*M.Ю. Дягелев*

## КОНТРОЛЬНЫЕ РАБОТЫ ПО ГИДРОСТАТИКЕ И ГИДРОДИНАМИКЕ

Методические указания к выполнению контрольных работ, к практическим занятиям и самостоятельной работе студентов, обучающихся по направлениям 08.03.01 "Строительство" (профили «Водоснабжение и водоотведение», «Водо- и теплоснабжение населенных мест», «Теплогазоснабжение и вентиляция», «Теплогазоснабжение, вентиляция, водоснабжение и водоотведение зданий, сооружений, населенных пунктов», «Промышленное и гражданское строительство», «Экспертиза и управление недвижимостью»), 15.03.01 «Машиностроение» (профили «Машины и технология обработки металлов давлением», «Оборудование и технология сварочного производства»), 15.03.02 «Технологические машины и оборудование» (профиль «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов»), 15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств» (профиль «Металлообрабатывающие станки и станочные комплексы») всех форм обучения при изучении дисциплин "Гидравлика", "Механика жидкости и газа", «Основы гидравлики и теплотехники»

Рег. номер: 045-37-ТТ



Ижевск  
2018

УДК 621.22(07)+532(07)

Д 99

Рецензент:

*Верещагина Т. Г.*, главный инженер ООО «Зодчий»

Составитель:

*Дягелев М.Ю.*, к.т.н., доцент

Рекомендовано Ученым советом ТТ факультета для использования в учебном процессе в качестве учебно-методических материалов для студентов, обучающихся по направлению 08.03.01 «Строительство».

(протокол № 32 от «03» апреля 2018 г.)

**Дягелев М.Ю.**

Д99 **Контрольные работы по гидростатике и гидродинамике:**  
методические указания к выполнению контрольных работ, для практической и самостоятельной работ / сост. М.Ю. Дягелев. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2014. – 36 с. Рег. номер: 045-37-ТТ

В методических указаниях приводятся формулы, изложены последовательность расчета, приведены необходимые иллюстративные, справочные материалы и примеры практических расчетов для выполнения контрольных работ, к практическим занятиям и самостоятельной работе студентов, обучающихся по направлениям 08.03.01 "Строительство" (профили «Водоснабжение и водоотведение», «Водо- и теплоснабжение населенных мест», «Теплогазоснабжение и вентиляция», «Теплогазоснабжение, вентиляция, водоснабжение и водоотведение зданий, сооружений, населенных пунктов», «Промышленное и гражданское строительство», «Экспертиза и управление недвижимостью»), 15.03.01 «Машиностроение» (профили «Машины и технология обработки металлов давлением», «Оборудование и технология сварочного производства»), 15.03.02 «Технологические машины и оборудование» (профиль «Машины и оборудование нефтяных и газовых промыслов»), 15.03.05 "Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств" (профиль «Металлообрабатывающие станки и станочные комплексы») всех форм обучения при изучении дисциплин "Гидравлика", "Механика жидкости и газа", «Основы гидравлики и теплотехники»

© Дягелев М.Ю., составление, 2018

©Ижевский государственный технический университет имени  
М.Т. Калашникова, 2018

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|   |    |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ                                    | 4  |
| 1. КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №1                    | 6  |
| 1.1. Указания к контрольной работе № 1      | 6  |
| 1.2. Задачи к контрольной работе №1         | 11 |
| 2. КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №2                    | 17 |
| 2.1. Общие указания к контрольной работе №2 | 17 |
| 2.2. Задачи к контрольной работе №2         | 21 |
| 3. КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №3                    | 27 |
| 3.1. Общие указания к контрольной работе №3 | 27 |
| 3.2. Задачи к контрольной работе №3         | 30 |
| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ                           | 36 |

## ВВЕДЕНИЕ

Настоящие методические указания содержат материалы двух контрольных работ по дисциплине «Гидравлика». Цель выполнения этих заданий - дать студенту навыки применения гидравлических зависимостей и методик практических расчетов гидравлических устройств и систем, с которыми он может столкнуться в процессе инженерной деятельности. Студенту, выполняющему контрольную работу, нужно придерживаться некоторых общих правил выполнения подобных расчетов:

1. Не следует использовать большое количество знаков при подстановке численных значений в расчетные формулы. Для большинства гидравлических расчетов (там, где это специально не оговорено) достаточна точность в три значащих цифры (третья цифра округляется).

Например, вместо числа 28363541 целесообразно использовать число 28400000; вместо числа 0,024340587 использовать 0,0243.

Округление нужно производить в конце расчетной формулы.

Если расчет проводится с помощью калькулятора и процесс вычисления идет с применением результата вычислений по предыдущей формуле, то специально выводить этот предыдущий результат из калькулятора для округления не нужно; достаточно округлить лишь конечный результат.

**Расчеты с точностью менее трех значащих цифр не допускаются.**

2. Все расчеты выполняются в системе СИ. Это означает, что все длины в формулы подставляются в м, время - в с, силы - в Н, давления - в Па (а не в МПа), расходы - в м<sup>3</sup>/с, площади - в м<sup>2</sup> и т. д.

3. При оформлении решения задачи необходимо перед применением каждой формулы комментировать свои действия, например: «Определяем площадь поперечного сечения трубопровода: ...».

Затем приводится применяемая формула в буквенном виде, ставится знак равенства и записывается та же формула, где вместо букв подставлены численные значения всех величин (их размерность при этом не указывается). Далее снова ставится знак равенства и приводится результат вычислений с размерностью этого результата в системе СИ.

Если требуется перевести результат из м в мм, из Па в МПа и т. д., то еще раз ставится знак равенства и приводится новое значение результата с новой размерностью.

**Неуказание размерности размерной величины является грубой ошибкой.**

4. Титульный лист пояснительной записки оформляется, как показано на следующей странице.

5. Перед каждой задачей указывается ее номер, номер варианта, приводится расчетная схема, имеющаяся в начале каждой задачи, и выписываются все исходные данные. Расчетная схема должна быть аккуратно вычерчена. Сканирование или копирование схем на ксероксе не допускается.

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Ижевский государственный технический университет имени  
М.Т. Калашникова»  
(ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова»)

Кафедра «Водоснабжения и водоподготовки»

КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №\_\_\_\_\_  
по курсу «\_\_\_\_\_»

Выполнил: студент  
группы \_\_\_\_\_  
И.О. Фамилия  
Принял: преподаватель  
И.О. Фамилия

Ижевск, 2019

## 1. КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №1

### 1.1. Указания к контрольной работе № 1

В данной контрольной работе приводятся задачи на основной закон гидростатики и его применение для расчета сил, действующих со стороны жидкости на плоские и криволинейные стенки сосудов. При этом студент должен усвоить и закрепить понятия шкал для измерения давления, единиц измерения давления в системе СИ и в технической системе, пересчет давлений из одной шкалы в другую, из системы СИ в техническую и наоборот.

В гидравлике применяются две шкалы для измерения давления - абсолютная и избыточная.

В абсолютной шкале за нуль принят абсолютный нуль давления; давление, отсчитываемое от него, называется *абсолютным* и обозначается  $p_{abs}$ .

В избыточной шкале за нуль принята величина среднего атмосферного давления на уровне моря  $p_{atm}$ , принятая за стандартное значение. Давление, отсчитываемое от этого нуля, называется *избыточным* и обозначается  $p_{rel}$ .

Пересчет давления из одной шкалы в другую при  $p_{abs} > p_{atm}$  производится по формуле:

$$p_{rel} = p_{abs} - p_{atm}$$

Если  $p_{abs} < p_{atm}$ , то недостаток от абсолютного давления до атмосферного называется вакуумметрическим давлением и обозначается  $p_{vac}$ .

Пересчет давления из одной шкалы в другую при  $p_{abs} < p_{atm}$ , производится по формуле:

$$p_{vac} = p_{atm} - p_{abs}$$

В системе СИ единица измерения давления - Паскаль (Па). 1 Па = 1 Н/м<sup>2</sup>. Применяются также кратные единицы - МПа, кПа.

В технической системе (МКГСС) единица измерения давления - атмосфера техническая (тех. атм.). 1 тех. атм. = 1 кгс/см<sup>2</sup>.

Пересчет давлений из одной системы в другую производится по формуле:

$$1 \text{ тех. атм.} = 9,8 \cdot 10^4 \text{ Па.}$$

Величина атмосферного давления составляет:  $p_{atm} = 1,013 \cdot 10^5$  Па.

Основной закон гидростатики выражает зависимость между давлениями в двух точках жидкости  $A$  и  $B$  (точка  $A$  лежит ниже точки  $B$  на расстоянии  $h$ ):

$$p_A = p_B + \rho g h \quad (1.1)$$

Здесь  $\rho$  - плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>,  $g$  - ускорение силы тяжести. Плотность воды при 4 °C равна 1000 кг/м<sup>3</sup>,  $g = 980$  м/с<sup>2</sup>.

Рассмотрим применение основного закона гидростатики на примере многоколенного жидкостного манометра (рис. 1.1), где имеется четыре жидкости с плотностями  $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4$ .

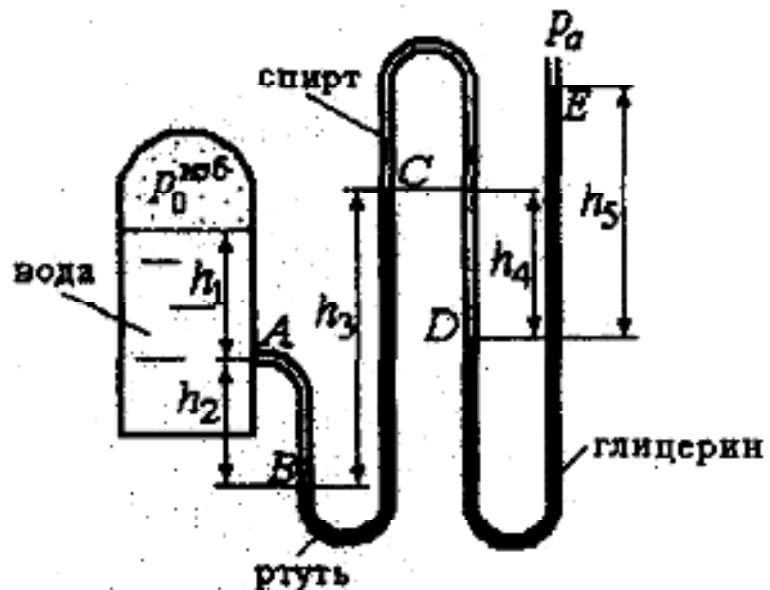


Рисунок 1.1 – Схема многоколенного жидкостного манометра

Пусть требуется вычислить высоту  $h_5$  и. Для этого последовательно применяем формулу (1.1) для всех столбов жидкости, начиная с точки, где давление известно ( $p_0^{изб}$  над поверхностью воды в емкости). Используем абсолютную шкалу давлений. Если, идя от свободной поверхности воды до следующей точки  $A$ , мы опускаемся, приращение давления  $pgh$  имеет положительный знак, если поднимаемся – отрицательный (от точки  $B$  к точке  $C$ ).

Получим:

$$p_A = p_0^{изб} + \rho_1 gh_1; p_B = p_A + \rho_1 gh_2; p_C = p_B - \rho_2 gh_3; p_D = p_C + \rho_3 gh_4; p_E = p_D - \rho_3 gh_5$$

Таким образом, зная значение атмосферного давления можно вычислить  $p_0^{изб}$  и  $h_5$  соответственно, но для начала необходимо избыточное давление на свободной поверхности жидкости перевести в абсолютную шкалу:

$$p_0^{абс} = p_0^{изб} + p_{атм}$$

В этом случае давление в точке  $E$  будет равно атмосферному, так как пьезометр сообщается с атмосферой, и итоговая формула нахождения  $h_5$  будет выглядеть следующим образом:

$$h_5 = \frac{p_D - p_{атм}}{\rho_3 g}$$

## Вычисление сил, действующих на плоскую наклонную стенку

Рассмотрим сосуд с жидкостью, боковая стенка которого имеет угол наклона  $\alpha$  (рис. 1.2). На свободной поверхности  $p = p_{atm}$ . Пусть требуется определить силу давления на часть стенки произвольной формы. Введем систему координат  $x, y$  и для выявления этой формы мысленно повернем стенку относительно оси  $OY$  до совмещения с плоскостью чертежа.

На рассматриваемой части стенки с площадью  $F$  (будем называть ее плоской фигурой) центр тяжести фигуры (точка  $c$ ) находится на глубине  $h_c$ , и отстоит от оси  $x$  на расстоянии  $y_c$ .

Будем учитывать только силу  $P$  от действия жидкостного столба, так как здесь сила, создаваемая атмосферным давлением, действует на стенку с двух сторон.

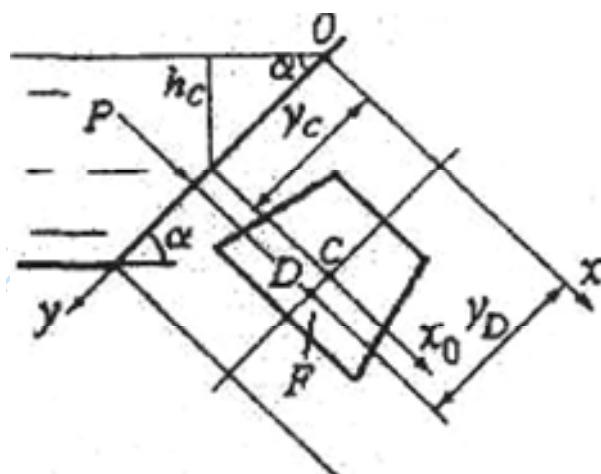


Рисунок 1.2 Схема для определения силы давления жидкости на плоскую наклонную стенку

Эта сила, как доказывается в курсе гидравлики, вычисляется по формуле:

$$P = \rho g y_c \sin \alpha \cdot F = \rho g h_c F = p_c F \quad (1.2)$$

Здесь  $p_c$  – избыточное давление в центре тяжести плоской фигуры.

Точка приложения силы от давления на поверхность жидкостного столба называется **центром давления**. Расстояние  $y_D$  от центра давления (точка  $D$  на чертеже) определяется по формуле:

$$y_D = y_c + \frac{I_{x0}}{y_c F} \quad (1.3)$$

Здесь  $I_{x0}$  – центральный момент инерции фигуры относительно оси  $x_0$ ,  $\text{м}^2$ .

Из последней формулы следует, что центр давления всегда лежит ниже центра тяжести плоской фигуры. Если стенка горизонтальна, центр тяжести и центр давления совпадают.

## Вычисление силы от давления жидкости на криволинейные поверхности

В гидравлике часто встречаются криволинейные поверхности – сферические крышки резервуаров, шаровые клапаны, криволинейные стенки цилиндрических баков, цистерн и т.д.

Рассмотрим криволинейную цилиндрическую стенку  $AB$ , являющуюся частью стенки цистерны, (рис. 1.3), последняя до половины заполнена жидкостью.

В верхней части цистерны находится сжатый воздух с избыточным давлением  $p_0^{изб}$ . Введем понятие **пьезометрической плоскости**. Ею называется плоскость, которая совпадает с высотой столба жидкости в пьезометре, присоединенном к сосуду. За счет избыточного давления над свободной поверхностью эта плоскость будет отстоять от свободной поверхности на расстоянии  $h_p$ . Эта высота вычисляется по формуле:

$$h_p = \frac{p_0^{изб}}{\rho g}$$

Если над жидкостью давление атмосферное, пьезометрическая плоскость совпадает со свободной поверхностью.

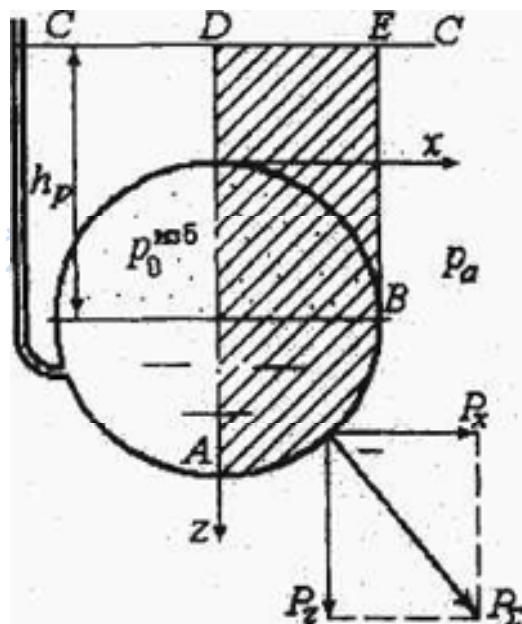


Рисунок 1.3. Схема для определения силы давления жидкости на участок  $AB$  криволинейной стенки

**Телом давления**  $W_{мд}$  называется объем жидкости, расположенный над рассматриваемой поверхностью стенки вплоть до пьезометрической плоскости.

В отличие от силы давления жидкости на плоскую стенку, где эта сила вычислялась целиком, в данном случае вычисляются по отдельности горизонтальная и вертикальная составляющие этой силы  $P_x$  и  $P_z$ .

Если для измерения давления применить избыточную шкалу, то снаружи сосуда давление равно нулю, а над жидкостью  $p_0^{изб}$ . Если радиус цистерны равен  $R$ , а длина цистерны в направлении, перпендикулярном плоскости чертежа, равна  $L$ , то сила вычисляется по формуле:

$$P_x = p_c F_{y0x} = (p_0^{изб} + \rho g h_c) F_{y0z} = (p_0^{изб} + \frac{\rho g R}{4}) RL \quad (1.4)$$

где  $F_{y0z} = RL$  – площадь проекции криволинейной стенки на вертикальную плоскость  $y0z$ ;  $h_c = R/4$  – расстояние от поверхности жидкости до центра тяжести этой проекции.

Сила  $P_z$  вычисляется по формуле:

$$P_z = \rho g W_{m\delta} \quad (1.5)$$

из которой следует, что величина  $P_z$  равна весу тела давления.

Результирующая сила, действующая на стенку, определяется по формуле:

$$P_{\Sigma} = \sqrt{P_x^2 + P_z^2} \quad (1.6)$$

Для определения тела давления схемы рис. 1.3 необходимо провести через точки, соответствующие началу и концу криволинейной стенки, две ограничивающие вертикальные плоскости –  $AD$  и  $BE$ . Полученное тело давления заштриховано. Его объем тела вычисляется следующим образом:

$$W_{m\delta} = (h_p R + \frac{\pi \cdot R^2}{4})L$$

Направление силы  $P_z$  (вверх или вниз) определяется по правилу: если реальная жидкость находящаяся у стенки, расположенная над ней, сила направлена вниз, а если под ней – вверх.

Если у криволинейной стенки часть ее подвергается давлению жидкости, расположенной под стенкой, а часть над стенкой, то такую криволинейную стенку делят на две части и для каждой вычисляют вертикальные силы  $P_{z1}$  и  $P_{z2}$ .

Затем находят суммарную вертикальную силу  $P_z = P_{z1} + P_{z2}$  с учетом знаков.

Некоторые примеры нахождения тела давления показаны на рис. 1.4 для случая цилиндрической цистерны, полностью заполненной жидкостью.

В верхней точке цистерны давление равно атмосферному.

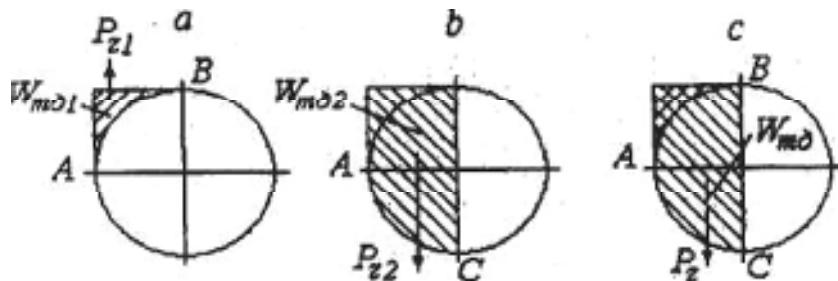
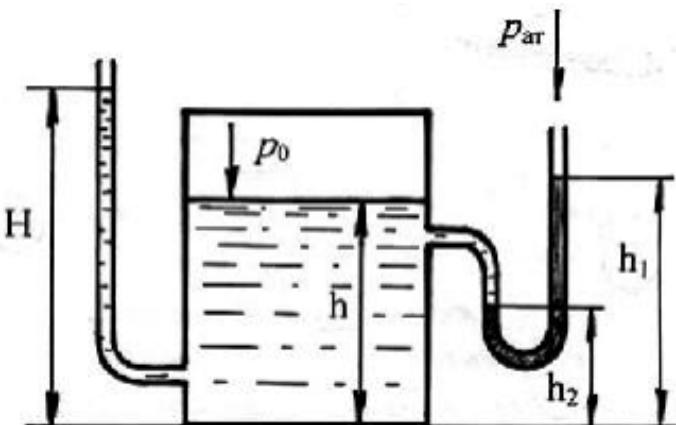


Рисунок 1.4. Определение тела давления:

*a* – для поверхности  $AB$ , *b* – для поверхности  $AC$ ; *c* – для поверхности  $ABC$

## 1.2. Задачи к контрольной работе №1

### Задача 1



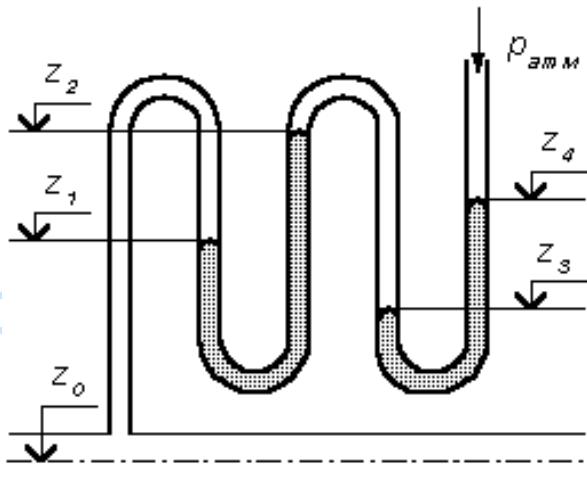
Определить давление  $p_0$  воздуха в напорном баке по показанию ртутного манометра. Какой высоты  $H$  должен быть пьезометр для измерения того же давления  $p_0$ ? Высоты  $h$ ,  $h_1$ ,  $h_2$ . Плотность воды  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ , ртути  $\rho = 13600 \text{ кг/м}^3$ .

Результат выразить в Па, кгс/см<sup>2</sup>, мм.рт.ст.

| № вар. | h, м | h <sub>1</sub> , м | h <sub>2</sub> , м |
|--------|------|--------------------|--------------------|
| 1      | 5,3  | 4,2                | 2,3                |
| 2      | 2,5  | 1,7                | 0,5                |
| 3      | 5,1  | 4,5                | 2,3                |
| 4      | 3,6  | 2,8                | 1,6                |
| 5      | 4,8  | 3,5                | 1,3                |
| 6      | 2,3  | 1,5                | 0,3                |
| 7      | 3,4  | 2,8                | 1,4                |
| 8      | 4,6  | 3,3                | 1,3                |
| 9      | 3,9  | 2,8                | 1,6                |
| 10     | 2,8  | 1,4                | 0,6                |
| 11     | 3,7  | 2,6                | 1,4                |
| 12     | 2,2  | 1,2                | 0,4                |
| 13     | 3,5  | 2,4                | 1,2                |
| 14     | 3,3  | 2,5                | 0,5                |
| 15     | 3,2  | 2,2                | 1,4                |

| № вар. | h, м | h <sub>1</sub> , м | h <sub>2</sub> , м |
|--------|------|--------------------|--------------------|
| 16     | 4,2  | 3,4                | 0,8                |
| 17     | 3,8  | 2,7                | 1,5                |
| 18     | 2,8  | 1,4                | 1,0                |
| 19     | 1,8  | 1,2                | 0,4                |
| 20     | 2,4  | 1,8                | 0,8                |
| 21     | 4,4  | 3,2                | 1,2                |
| 22     | 5,2  | 4,1                | 2,2                |
| 23     | 2,6  | 1,8                | 0,6                |
| 24     | 4,9  | 4,2                | 2,1                |
| 25     | 2,4  | 1,6                | 0,4                |
| 26     | 4,7  | 3,4                | 1,2                |
| 27     | 3,6  | 2,5                | 1,3                |
| 28     | 1,6  | 1,2                | 0,8                |
| 29     | 2,4  | 1,4                | 0,8                |
| 30     | 3,4  | 2,3                | 1,1                |

Задача 2

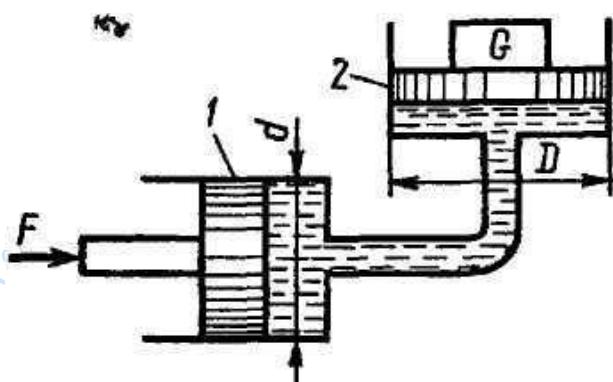


Определить избыточное давление воды в трубе по показаниям батарейного ртутного манометра. Отметки уровней ртути от оси трубы:  $z_1, z_2, z_3, z_4$ . Плотность воды –  $1000 \text{ кг/м}^3$ , ртути –  $13600 \text{ кг/м}^3$ .

| № вар. | $z_1, \text{ м}$ | $z_2, \text{ м}$ | $z_3, \text{ м}$ | $z_4, \text{ м}$ |
|--------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 1      | 1,75             | 3                | 1,5              | 2,5              |
| 2      | 1,8              | 3,1              | 1,6              | 2,6              |
| 3      | 1,85             | 3                | 1,5              | 2,8              |
| 4      | 1,9              | 4,2              | 1,1              | 3,6              |
| 5      | 3,6              | 6,4              | 2,4              | 5,2              |
| 6      | 1,8              | 3,6              | 0,8              | 2,8              |
| 7      | 2,8              | 3,4              | 2,2              | 3,2              |
| 8      | 1,8              | 2,6              | 1,6              | 2,2              |
| 9      | 4,6              | 6,8              | 2,6              | 5,8              |
| 10     | 1,8              | 3,6              | 0,4              | 2,4              |
| 11     | 3,5              | 7,8              | 2,3              | 6,4              |
| 12     | 2,8              | 6,8              | 1,8              | 4,5              |
| 13     | 5,6              | 7,4              | 4,8              | 6,8              |
| 14     | 1,6              | 3,6              | 0,4              | 2,8              |
| 15     | 3,2              | 4,4              | 2,3              | 3,6              |

| № вар. | $z_1, \text{ м}$ | $z_2, \text{ м}$ | $z_3, \text{ м}$ | $z_4, \text{ м}$ |
|--------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 16     | 4,2              | 7,2              | 3,2              | 5,6              |
| 17     | 1,4              | 3,8              | 0,6              | 2,6              |
| 18     | 1,6              | 2,8              | 0,89             | 2,2              |
| 19     | 2,2              | 5,8              | 1,4              | 3,6              |
| 20     | 0,8              | 2,4              | 0,4              | 1,6              |
| 21     | 3,6              | 6,8              | 2,8              | 5,6              |
| 22     | 1,4              | 2,8              | 0,8              | 1,8              |
| 23     | 4,8              | 6,8              | 2,4              | 5,8              |
| 24     | 2,8              | 3,6              | 1,4              | 2,6              |
| 25     | 1,8              | 2,8              | 1,2              | 2,5              |
| 26     | 2,2              | 4,4              | 1,6              | 3,8              |
| 27     | 1,7              | 3,8              | 0,8              | 2,8              |
| 28     | 1,7              | 3                | 1,5              | 2,5              |
| 29     | 1,8              | 3,1              | 1,6              | 2,6              |
| 30     | 1,8              | 3                | 1,5              | 2,8              |

Задача 3

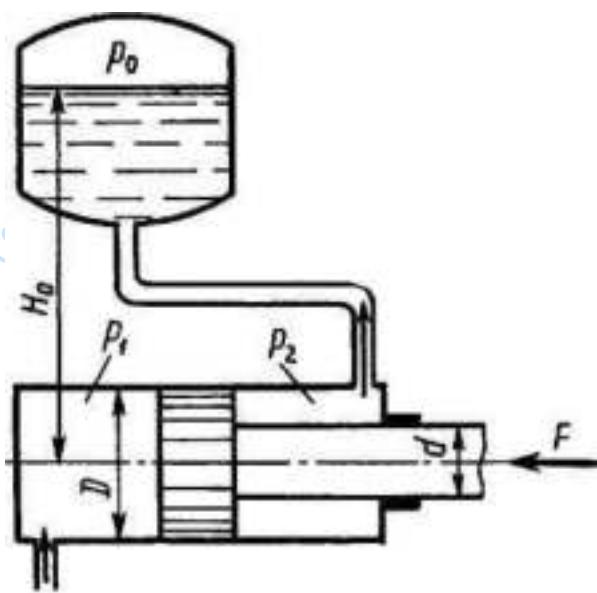


Определить давление в гидросистеме и вес груза  $G$ , лежащего на поршне 2, если для его подъема к поршню 1 приложена сила  $F$ . Диаметры поршней:  $D$ ,  $d$ . Разностью высот пренебречь.

| № вар. | $F, \text{kH}$ | $D, \text{мм}$ | $d, \text{мм}$ |
|--------|----------------|----------------|----------------|
| 1      | 1              | 150            | 50             |
| 2      | 12             | 250            | 50             |
| 3      | 3              | 270            | 50             |
| 4      | 0,5            | 150            | 20             |
| 5      | 5              | 280            | 135            |
| 6      | 0,8            | 260            | 135            |
| 7      | 6              | 230            | 115            |
| 8      | 6              | 350            | 115            |
| 9      | 5              | 240            | 125            |
| 10     | 4              | 140            | 25             |
| 11     | 2              | 150            | 30             |
| 12     | 6              | 100            | 50             |
| 13     | 12             | 250            | 110            |
| 14     | 2              | 380            | 145            |
| 15     | 3              | 290            | 150            |

| № вар. | $F, \text{kH}$ | $D, \text{мм}$ | $d, \text{мм}$ |
|--------|----------------|----------------|----------------|
| 16     | 2              | 260            | 130            |
| 17     | 6              | 370            | 140            |
| 18     | 3              | 150            | 30             |
| 19     | 4              | 280            | 145            |
| 20     | 7              | 160            | 20             |
| 21     | 2              | 260            | 140            |
| 22     | 5              | 280            | 135            |
| 23     | 1,8            | 360            | 235            |
| 24     | 7              | 330            | 115            |
| 25     | 6              | 350            | 115            |
| 26     | 8              | 140            | 70             |
| 27     | 4              | 140            | 15             |
| 28     | 3              | 250            | 130            |
| 29     | 6              | 210            | 50             |
| 30     | 4              | 280            | 35             |

### Задача 4

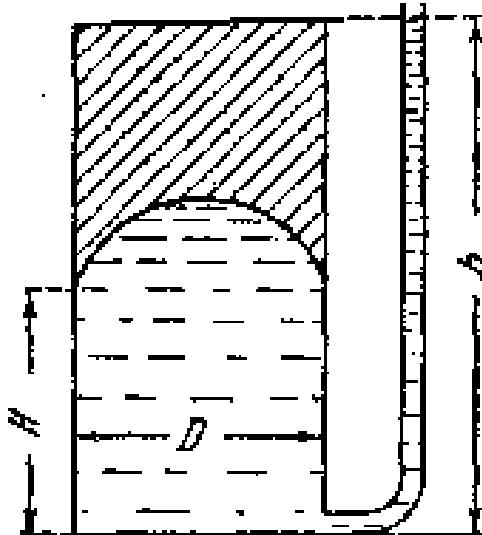


Определить давление  $p_1$  жидкости, которую необходимо подвести к гидроцилиндру, чтобы преодолеть усилие, направленное вдоль штока  $F$ . Диаметры: цилиндра  $D$ , штока  $d$ . Давление в бачке  $p_0$ , высота  $H_0$ . Силу трения не учитывать. Плотность жидкости  $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$ .

| №<br>вар. | $F, \text{kH}$ | $D, \text{мм}$ | $d, \text{мм}$ | $p_0, \text{кПа}$ | $H_0, \text{м}$ |
|-----------|----------------|----------------|----------------|-------------------|-----------------|
| 1         | 1              | 50             | 25             | 50                | 5               |
| 2         | 12             | 150            | 50             | 95                | 3               |
| 3         | 3              | 70             | 35             | 90                | 3               |
| 4         | 0,5            | 50             | 20             | 10                | 12              |
| 5         | 5              | 80             | 35             | 70                | 1               |
| 6         | 0,8            | 60             | 35             | 20                | 15              |
| 7         | 6              | 30             | 15             | 35                | 3               |
| 8         | 6              | 50             | 15             | 40                | 8               |
| 9         | 5              | 40             | 25             | 95                | 9               |
| 10        | 4              | 40             | 25             | 85                | 10              |
| 11        | 2              | 50             | 30             | 85                | 16              |
| 12        | 6              | 100            | 50             | 30                | 6               |
| 13        | 12             | 50             | 10             | 65                | 12              |
| 14        | 2              | 80             | 45             | 45                | 8               |
| 15        | 3              | 90             | 50             | 35                | 9               |

| № вар. | $F, \text{kH}$ | $D, \text{мм}$ | $d, \text{мм}$ | $p_0, \text{кПа}$ | $H_0, \text{м}$ |
|--------|----------------|----------------|----------------|-------------------|-----------------|
| 16     | 2              | 60             | 30             | 100               | 4               |
| 17     | 6              | 70             | 40             | 60                | 6               |
| 18     | 3              | 50             | 30             | 75                | 11              |
| 19     | 4              | 80             | 45             | 80                | 2               |
| 20     | 7              | 60             | 20             | 50                | 7               |
| 21     | 2              | 60             | 40             | 65                | 12              |
| 22     | 5              | 80             | 35             | 70                | 1               |
| 23     | 1,8            | 60             | 35             | 20                | 15              |
| 24     | 7              | 30             | 15             | 35                | 3               |
| 25     | 6              | 50             | 15             | 40                | 8               |
| 26     | 8              | 140            | 70             | 95                | 9               |
| 27     | 4              | 40             | 15             | 85                | 10              |
| 28     | 3              | 50             | 30             | 85                | 16              |
| 29     | 6              | 10             | 5              | 30                | 6               |
| 30     | 4              | 80             | 35             | 70                | 1               |

Задача 5



Вертикальный цилиндрический сосуд заполнен водой, находящейся под избыточным давлением, характеризуемым показанием пьезометра  $h$ .

Нижнее днище сосуда плоское, верхнее имеет форму полусфера.

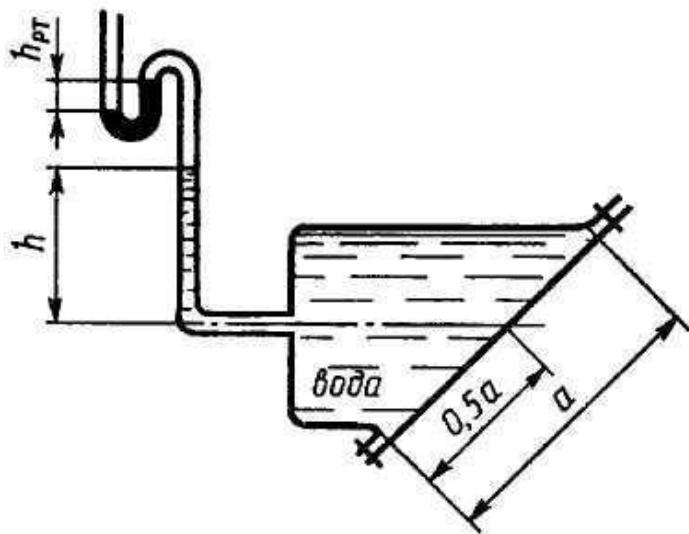
Определить  $R_z$ , отрывающую верхнее днище от цилиндрической части, и силу  $R_x$ , разрывающую цилиндрическую часть сосуда по образующей, если диаметр сосуда  $D$ , высота цилиндрической части  $H$ .

Построить эпюру давления на верхнюю часть, стенки и днище сосуда.

| №<br>вар. | $h$ , м | $D$ , м | $H$ , м |
|-----------|---------|---------|---------|
| 1         | 5       | 2       | 3       |
| 2         | 1,5     | 5,6     | 0,5     |
| 3         | 7       | 2,5     | 4,1     |
| 4         | 6       | 1,5     | 2,3     |
| 5         | 12      | 4       | 1,5     |
| 6         | 1,3     | 3,4     | 0,3     |
| 7         | 12      | 2,8     | 0,2     |
| 8         | 4       | 3,3     | 2,6     |
| 9         | 2       | 5,3     | 0,5     |
| 10        | 13      | 5,5     | 0,9     |
| 11        | 9,5     | 4,5     | 2,5     |
| 12        | 3,6     | 5,5     | 1,4     |
| 13        | 9,1     | 4,5     | 2,8     |
| 14        | 5,2     | 5,5     | 4,6     |
| 15        | 3,8     | 4,5     | 1,8     |

| №<br>вар. | $h$ , м | $D$ , м | $H$ , м |
|-----------|---------|---------|---------|
| 16        | 22      | 2,0     | 4,5     |
| 17        | 1,4     | 4,2     | 0,4     |
| 18        | 1,1     | 1,3     | 0,1     |
| 19        | 17      | 3,0     | 5,5     |
| 20        | 6,3     | 0,5     | 4,2     |
| 21        | 1,3     | 5,5     | 0,3     |
| 22        | 9       | 4,5     | 6,3     |
| 23        | 8       | 3,5     | 3,2     |
| 24        | 18      | 1,2     | 3,2     |
| 25        | 4       | 0,6     | 0,8     |
| 26        | 9       | 0,5     | 1,6     |
| 27        | 8,5     | 2,3     | 5,8     |
| 28        | 7,2     | 2,4     | 0,8     |
| 29        | 6,4     | 4,8     | 2,2     |
| 30        | 3,8     | 1,8     | 1,2     |

Задача 6



Определить силы, действующие на верхние  $F_e$  и нижние  $F_n$  болты крышки, которая имеет форму прямоугольника высотой  $a$  и шириной  $b$ . Показание ртутного вакуумметра  $h_{pt}$ , высота  $h$ .

| № вар. | $A, \text{ м}$ | $b, \text{ м}$ | $h_{pm}, \text{ мм}$ | $h, \text{ м}$ |
|--------|----------------|----------------|----------------------|----------------|
| 1      | 5,0            | 12             | 150                  | 2,0            |
| 2      | 1,5            | 3,2            | 162                  | 5,6            |
| 3      | 7,0            | 8,5            | 195                  | 2,5            |
| 4      | 6,5            | 9,6            | 174                  | 1,5            |
| 5      | 12             | 14             | 186                  | 4,0            |
| 6      | 1,3            | 2,3            | 223                  | 3,4            |
| 7      | 12             | 18             | 258                  | 2,8            |
| 8      | 4,6            | 5,2            | 365                  | 3,3            |
| 9      | 2,3            | 8,7            | 198                  | 5,3            |
| 10     | 13             | 15             | 236                  | 5,5            |
| 11     | 9,5            | 11             | 247                  | 4,5            |
| 12     | 3,6            | 5,6            | 285                  | 5,5            |
| 13     | 9,1            | 14             | 264                  | 4,5            |
| 14     | 5,2            | 8,9            | 175                  | 5,5            |
| 15     | 3,8            | 7,6            | 180                  | 4,5            |

| № вар. | $A, \text{ м}$ | $b, \text{ м}$ | $h_{pm}, \text{ мм}$ | $h, \text{ м}$ |
|--------|----------------|----------------|----------------------|----------------|
| 16     | 2,2            | 5,6            | 157                  | 2,0            |
| 17     | 1,4            | 2,8            | 220                  | 4,2            |
| 18     | 1,1            | 3,6            | 210                  | 1,3            |
| 19     | 1,7            | 3,7            | 315                  | 3,0            |
| 20     | 6,3            | 12             | 161                  | 0,5            |
| 21     | 1,3            | 4,6            | 172                  | 5,5            |
| 22     | 9,0            | 13             | 168                  | 4,5            |
| 23     | 8,4            | 14             | 142                  | 3,5            |
| 24     | 1,8            | 6,5            | 175                  | 1,2            |
| 25     | 4,2            | 9,2            | 220                  | 0,6            |
| 26     | 9,3            | 16             | 425                  | 0,5            |
| 27     | 8,5            | 12             | 160                  | 2,3            |
| 28     | 7,2            | 8,5            | 141                  | 2,4            |
| 29     | 6,4            | 7,3            | 162                  | 4,8            |
| 30     | 3,8            | 4,6            | 156                  | 1,8            |

## 2. КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №2

### 2.1. Общие указания к контрольной работе №2

В данной контрольной работе приводятся задачи на практическое применение уравнения Бернулли для потока реальной жидкости при расчете различных гидравлических процессов. При этом студент должен усвоить и закрепить основные понятия гидродинамики, приобрести навыки расчетов скоростей, расходов, напоров, давлений, гидравлических потерь и т.д. при движении жидкости в напорных трубопроводах, истечении жидкости через отверстия, насадки, дроссели и клапаны.

Уравнение Бернулли (уравнение баланса удельной энергии) для потока реальной жидкости в трубопроводе или открытом канале записывается в виде:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + h_w \quad (2.1)$$

Входящая в это уравнение средняя скорость  $V$  жидкости в сечении трубопровода площадью  $S$  определяется через расход  $Q$  по формуле:

$$V = \frac{Q}{S} \quad (2.2)$$

При практическом применении уравнения Бернулли следует придерживаться определенных правил.

1. Прежде всего, необходимо выбрать горизонтальную плоскость для отсчета высот (плоскость сравнения). Это обычно самая нижняя плоскость гидросистемы, от которой задается какой-либо вертикальный размер;

2. Выбираются два сечения, перпендикулярные направлению движения жидкости. Сечения можно проводить в любых местах гидросистемы, в том числе и через баки;

3. Если сечение проведено через бак, то средняя скорость в этом сечении равна нулю, т. к. скорость движения жидкости в баках пренебрежимо мала.

4. Уравнение Бернулли – это обычное алгебраическое уравнение, решаемое только при наличии одного неизвестного, поэтому сечения целесообразно выбирать в таких местах гидросистемы, где какие-то параметры заданы. Тогда больше шансов, что останется только одно неизвестное. Например, при наличии бака сечение обычно берут на уровне свободной поверхности в баке.

Кроме уравнения Бернулли, в расчетах часто применяется уравнение постоянства расхода при установившемся движении для двух сечений с площадями  $S_1$  и  $S_2$ :

$$V_1 S_1 = V_2 S_2 \quad (2.3)$$

Если окажется, что из одного уравнения Бернулли определить искомую величину невозможно, то необходимо составить еще одно подобное уравнение, выбрав другую пару сечений.

В формуле (2.1)  $h_w$  – гидравлические потери. Они делятся на **путевые и местные**. Путевые потери  $h_n$  (м) в трубопроводе вычисляются по формуле Дарси:

$$h_n = \lambda \frac{L}{d} \frac{V^2}{2g} \quad (2.4)$$

где  $L$  – длина трубопровода;  $d$  – его внутренний диаметр;  $V^2/2g$  – скоростной напор, вычисленный по средней скорости;  $\lambda$  – безразмерный коэффициент сопротивления трения.

Местные потери  $h_m$  (м) вычисляются по формуле Вейсбаха:

$$h_m = \zeta_m \frac{V^2}{2g} \quad (2.5)$$

где  $\zeta_m$  – безразмерный коэффициент местного сопротивления. Числовое значение коэффициента  $\zeta_m$  в основном определяется формой местного сопротивления, его геометрическими параметрами, но иногда влияет также число Рейнольдса, которое для труб диаметром  $d$  выражается формулой:

$$Re = \frac{Vd}{\nu} = \frac{4Q}{\pi d \nu} \quad (2.6)$$

где  $\nu$  – кинематическая вязкость жидкости, выражаемая в  $\text{м}^2/\text{с}$  или  $\text{см}^2/\text{с}$ . Для некруглых труб  $Re = (VD_r)/\nu$ , где  $D_r$  – гидравлический диаметр, равный отношению площади сечения трубы к  $1/4$  периметра сечения.

При  $Re < Re_{kp}$ , где  $Re_{kp} \approx 2300$ , режим движения ламинарный, т.е. слоистый – без перемешивания жидкости и без пульсации скоростей и давлений.

При  $Re > Re_{kp}$  режим движения турбулентный, т.е. с перемешиванием жидкости и пульсациями скоростей и давлений.

При турбулентном режиме в случае внезапного расширения трубы происходят вихреобразования и потеря напора определяется формулой Борда:

$$h_{pacu} = \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g} = \zeta_{pacu} \frac{V_1^2}{2g} \quad (2.7)$$

где  $V_1$  и  $V_2$  – скорости до и после расширения трубы;  $\zeta_{pacu}$  – коэффициент сопротивления, равный для данного случая:

$$\zeta_{pacu} = \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)^2 \quad (2.8)$$

где  $S_1$  и  $S_2$  – площади сечений трубы до и после внезапного расширения.

При внезапном сужении трубы без закругления коэффициент сопротивления определяется по формуле Идельчика:

$$\zeta_{\text{идельчика}} = 0,5 \cdot \left(1 - \frac{S_2}{S_1}\right) \quad (2.9)$$

где  $S_1$  и  $S_2$  – площади сечений трубы до и после сужения.

В процессе истечения жидкости происходит преобразование потенциальной энергии жидкости в кинетическую.

Из уравнения Бернулли легко выводится выражение для скорости истечения:

$$V = \varphi \sqrt{2gH} \quad (2.10)$$

где  $H$  – расчетный напор, который в общем случае равен сумме геометрического и пьезометрического напоров, т.е.:

$$H = \Delta z + \frac{\Delta p}{\rho g} \quad (2.11)$$

$\varphi$  – коэффициент скорости, определяемый как:

$$\varphi = \frac{1}{\sqrt{\alpha + \zeta}} \quad (2.12)$$

Расход жидкости при истечении через отверстия, насадки, дроссели и клапаны определяется произведением скорости истечения на площадь сечения струи. Однако последняя часть бывает меньше площади отверстия вследствие сжатия струи. Поэтому вводится коэффициент сжатия:

$$\varepsilon = \frac{S_c}{S_o} \quad (2.13)$$

где  $S_c$  и  $S_o$  – площади сечения струи и отверстия.

Отсюда расход равен:

$$Q = S_c V = \varepsilon S_o \varphi \sqrt{2gH} = \mu S_o \sqrt{2gH} \quad (2.14)$$

Вместо расчетного напора  $H$  часто используется расчетный перепад давления  $\Delta p = H \rho g$  и вместо (2.14) пишут:

$$Q = \mu S_o \sqrt{\frac{2}{\rho} \Delta p} \quad (2.15)$$

Истечение жидкости может происходить либо в газовую среду, например в атмосферный воздух, либо в среду той же жидкости. В последнем случае вся кинетическая энергия струи теряется на вихреобразования.

Отверстием в тонкой стенке называется отверстие, диаметр которого больше толщины стенки  $\delta$ . В этом случае коэффициент расхода  $\mu$  и другие коэффициенты однозначно определяются числом Рейнольдса, а в приближенных расчетах обычно принимают:  $\varepsilon=0,64$ ;  $\varphi=0,97$ ;  $\alpha=1$ ;  $\zeta=0,065$ ;  $\mu=0,62$ .

При внешнем цилиндрическом насадке, который представляет собой короткую трубу, приставленную к отверстию снаружи, или при отверстии, диаметр которого  $d_0$  в 2...6 раз меньше толщины стенки  $\delta$ , возможны два режима истечения: безотрывный и отрывной. Коэффициенты при 1-м режиме в приближенных расчетах обычно принимают  $\mu=\varphi=0,82$ ;  $\zeta=0,5$ ;  $\varepsilon=1$ .

При 2-м режиме коэффициенты ничем не отличаются от истечения через отверстие в тонкой стенке.

Внутренний цилиндрический насадок – это короткая трубка, приставленная к отверстию изнутри. Возможны два режима истечения аналогично предыдущему варианту, но с другими значениями коэффициентов:

При 1-м режиме  $\mu=0,71$ ;  $\zeta=1,0$ ;

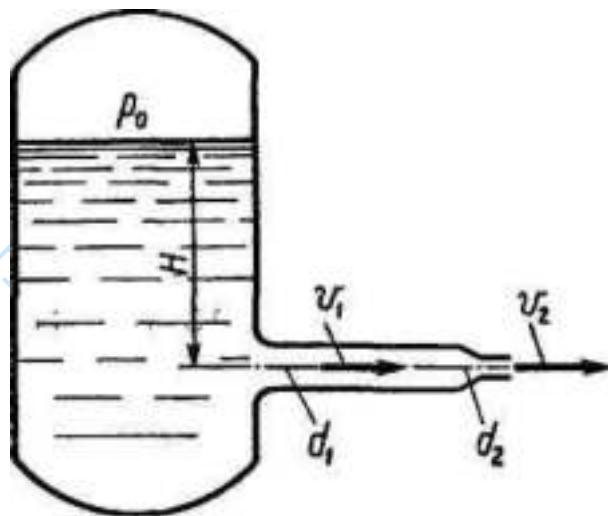
При 2-м режиме  $\mu \approx \varepsilon=0,5$ .

Сопло, или коноидальный насадок, обеспечивает плавное, безотрывное сужение потока внутри насадка и параллельно – струйное течение на выходе. Для сопла в расчетах можно принимать:  $\mu=\varphi=0,97$ ;  $\zeta=0,06$ .

Диффузорный насадок с закругленным входом, применяемый в особых случаях, имеет коэффициент расхода, изменяющийся в широких пределах в зависимости от угла конусности и степени расширения диффузора. Приближенно коэффициент сопротивления  $\zeta$  такого насадка может быть определен как сумма коэффициентов сопротивления сопла и диффузора, а коэффициент расхода  $\mu$  можно определить по  $\zeta$ , положив  $\varepsilon=1$ .

## 2.2. Задачи к контрольной работе №2

### Задача 1

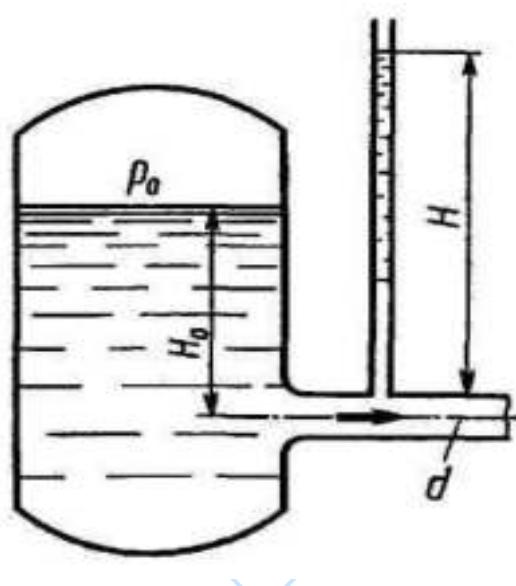


Из напорного бака вода течет по трубе диаметром  $d_1$  и затем вытекает в атмосферу через насадок (брэндспойт) с диаметром выходного отверстия  $d_2$ . Избыточное давление воздуха в баке  $p_0$ ; высота  $H$ . Пренебрегая потерями энергии, определить скорости течения воды в трубе  $v_1$  и на выходе из насадка  $v_2$

| №<br>вар. | $d_1$ , мм | $d_2$ , мм | $H$ , м | $p_0$ ,<br>МПа |
|-----------|------------|------------|---------|----------------|
| 1         | 15         | 4          | 2,3     | 0,11           |
| 2         | 20         | 7          | 1,5     | 0,12           |
| 3         | 50         | 25         | 2,3     | 0,13           |
| 4         | 60         | 20         | 1,6     | 0,14           |
| 5         | 18         | 5          | 1,3     | 0,15           |
| 6         | 20         | 10         | 3,3     | 0,16           |
| 7         | 40         | 20         | 1,4     | 0,17           |
| 8         | 60         | 30         | 1,3     | 0,18           |
| 9         | 30         | 20         | 1,6     | 0,19           |
| 10        | 80         | 40         | 5,6     | 0,20           |
| 11        | 70         | 35         | 1,4     | 0,21           |
| 12        | 20         | 12         | 5,4     | 0,22           |
| 13        | 35         | 20         | 1,2     | 0,23           |
| 14        | 40         | 25         | 2,5     | 0,24           |
| 15        | 30         | 20         | 1,4     | 0,25           |

| №<br>вар. | $d_1$ , мм | $d_2$ , мм | $H$ , м | $p_0$ ,<br>кПа |
|-----------|------------|------------|---------|----------------|
| 16        | 40         | 30         | 5,8     | 265            |
| 17        | 38         | 27         | 1,5     | 275            |
| 18        | 28         | 14         | 1,6     | 285            |
| 19        | 18         | 12         | 6,4     | 295            |
| 20        | 24         | 10         | 3,8     | 315            |
| 21        | 40         | 30         | 1,2     | 325            |
| 22        | 50         | 30         | 2,2     | 335            |
| 23        | 60         | 40         | 0,6     | 325            |
| 24        | 50         | 40         | 2,1     | 315            |
| 25        | 20         | 10         | 0,4     | 185            |
| 26        | 40         | 30         | 1,2     | 175            |
| 27        | 30         | 2,5        | 1,3     | 155            |
| 28        | 60         | 40         | 0,8     | 145            |
| 29        | 40         | 10         | 0,8     | 140            |
| 30        | 30         | 15         | 1,1     | 135            |

Задача 2

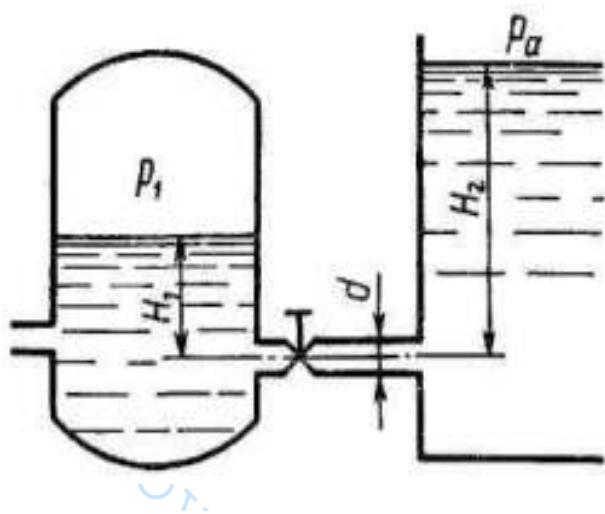


Определить расход керосина, вытекающего из бака по трубопроводу диаметром  $d$ , если избыточное давление воздуха в баке  $p_0$ ; высота уровня  $H_0$ ; высота подъема керосина в пьезометре, открытому в атмосферу,  $H$ . Потерями энергии пренебречь. Плотность керосина  $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$ .

| № вар. | $d, \text{мм}$ | $H_0, \text{м}$ | $H, \text{м}$ | $p_0, \text{кПа}$ |
|--------|----------------|-----------------|---------------|-------------------|
| 1      | 15             | 2,3             | 4             | 26                |
| 2      | 20             | 1,5             | 7             | 27                |
| 3      | 50             | 0,3             | 2             | 28                |
| 4      | 60             | 1,6             | 2             | 29                |
| 5      | 18             | 1,3             | 5             | 31                |
| 6      | 20             | 3,3             | 8             | 32                |
| 7      | 40             | 1,4             | 2             | 33                |
| 8      | 60             | 1,3             | 3             | 32                |
| 9      | 30             | 1,6             | 4             | 31                |
| 10     | 80             | 0,6             | 4             | 18                |
| 11     | 70             | 1,4             | 3             | 17                |
| 12     | 20             | 0,4             | 2             | 15                |
| 13     | 35             | 1,2             | 2             | 14                |
| 14     | 40             | 1,5             | 2             | 14                |
| 15     | 30             | 1,4             | 2             | 13                |

| № вар. | $d, \text{мм}$ | $H_0, \text{м}$ | $H, \text{м}$ | $p_0, \text{кПа}$ |
|--------|----------------|-----------------|---------------|-------------------|
| 16     | 40             | 0,8             | 3             | 11                |
| 17     | 38             | 1,5             | 7             | 12                |
| 18     | 28             | 1,6             | 4             | 13                |
| 19     | 18             | 0,4             | 2             | 14                |
| 20     | 24             | 0,8             | 2             | 15                |
| 21     | 40             | 1,2             | 3             | 16                |
| 22     | 50             | 2,2             | 3             | 17                |
| 23     | 60             | 0,6             | 4             | 18                |
| 24     | 50             | 2,1             | 4             | 19                |
| 25     | 20             | 0,4             | 1             | 20                |
| 26     | 40             | 1,2             | 3             | 21                |
| 27     | 30             | 1,3             | 5             | 22                |
| 28     | 60             | 0,8             | 4             | 23                |
| 29     | 40             | 0,8             | 1             | 24                |
| 30     | 30             | 1,1             | 3             | 25                |

Задача 3

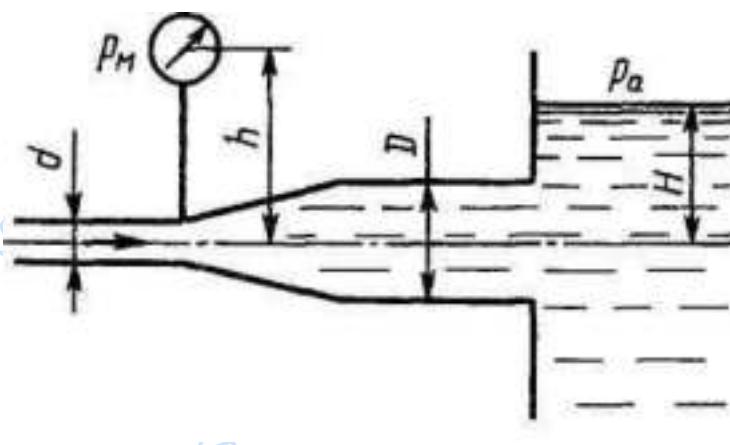


Вода перетекает из напорного бака, где избыточное давление воздуха  $p_1$ , в открытый резервуар по короткой трубе диаметром  $d$ , на которой установлен кран. Чему должен быть равен коэффициент сопротивления крана для того, чтобы расход воды составлял  $Q$ ? Высоты уровней  $H_1$  и  $H_2$ . Учесть потерю напора на входе в трубу ( $\xi_{ex}$ ) и на выходе из трубы (внезапное расширение).

| №<br>вар. | $p_1$ ,<br>МПа | $d$ ,<br>мм | $Q$ ,<br>л/с | $\xi_{ex}$ | $H_1$ ,<br>м | $H_2$ ,<br>м |
|-----------|----------------|-------------|--------------|------------|--------------|--------------|
| 1         | 0,15           | 20          | 4,5          | 0,6        | 1            | 3            |
| 2         | 0,22           | 15          | 7,6          | 0,7        | 1            | 2            |
| 3         | 0,51           | 30          | 3,5          | 0,8        | 2            | 3            |
| 4         | 0,62           | 60          | 8,2          | 0,9        | 2            | 4            |
| 5         | 0,18           | 30          | 9,5          | 0,1        | 2            | 5            |
| 6         | 0,23           | 35          | 8,7          | 0,2        | 3            | 5            |
| 7         | 0,44           | 40          | 9,2          | 0,3        | 3            | 6            |
| 8         | 0,61           | 30          | 7,3          | 0,2        | 3            | 4            |
| 9         | 0,33           | 60          | 8,4          | 0,1        | 1            | 5            |
| 10        | 0,28           | 60          | 9,4          | 0,8        | 1            | 4            |
| 11        | 0,17           | 40          | 6,3          | 0,7        | 1            | 3            |
| 12        | 0,32           | 40          | 5,2          | 0,5        | 1            | 2            |
| 13        | 0,35           | 20          | 6,2          | 0,4        | 2            | 3            |
| 14        | 0,45           | 50          | 7,2          | 0,4        | 2            | 4            |
| 15        | 0,32           | 40          | 8,2          | 0,3        | 2            | 6            |

| №<br>вар. | $p_1$ ,<br>МПа | $d$ ,<br>мм | $Q$ ,<br>л/с | $\xi_{ex}$ | $H_1$ ,<br>м | $H_2$ ,<br>м |
|-----------|----------------|-------------|--------------|------------|--------------|--------------|
| 16        | 0,34           | 80          | 10,3         | 0,1        | 2            | 6            |
| 17        | 0,38           | 15          | 7,3          | 0,2        | 3            | 4            |
| 18        | 0,28           | 40          | 8,4          | 0,3        | 3            | 5            |
| 19        | 0,18           | 50          | 9,2          | 0,4        | 3            | 6            |
| 20        | 0,24           | 80          | 7,2          | 0,5        | 4            | 6            |
| 21        | 0,24           | 70          | 6,3          | 0,6        | 4            | 8            |
| 22        | 0,35           | 25          | 12,3         | 0,7        | 4            | 7            |
| 23        | 0,36           | 60          | 7,4          | 0,8        | 1            | 3            |
| 24        | 0,45           | 30          | 8,4          | 0,9        | 1            | 4            |
| 25        | 0,42           | 40          | 9,1          | 0,5        | 2            | 5            |
| 26        | 0,34           | 50          | 5,3          | 0,1        | 2            | 6            |
| 27        | 0,35           | 60          | 8,5          | 0,2        | 4            | 9            |
| 28        | 0,36           | 70          | 9,4          | 0,3        | 3            | 9            |
| 29        | 0,54           | 80          | 6,1          | 0,4        | 3            | 8            |
| 30        | 0,43           | 50          | 5,3          | 0,5        | 3            | 7            |

Задача 4

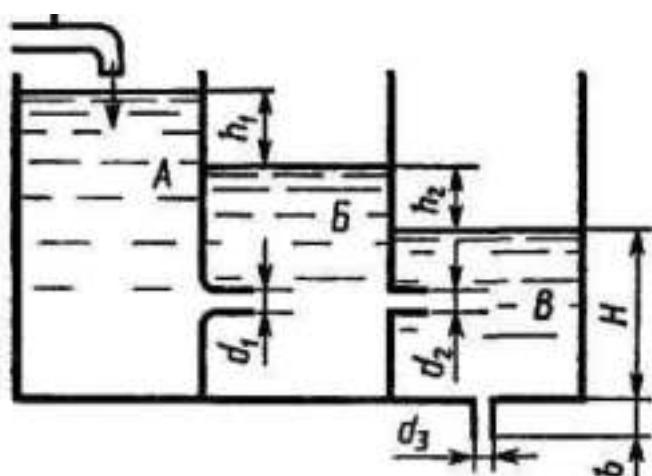


Определить расход жидкости, вытекающей из трубы диаметром  $d$  через плавное расширение (диффузор) и далее по трубе диаметром  $D$  в бак. Коэффициент сопротивления диффузора  $\xi=0,2$  (отнесен к скорости в трубе), показание манометра  $p_m$ ; высота  $h$ ;  $H$ ; плотность жидкости  $\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$ . Учесть потери на внезапное расширение, потерями на трение пренебречь, режим течения считать турбулентным.

| № вар. | $d, \text{мм}$ | $D, \text{мм}$ | $p_m, \text{кПа}$ | $h, \text{м}$ | $H, \text{м}$ |
|--------|----------------|----------------|-------------------|---------------|---------------|
| 1      | 20             | 40             | 15                | 0,5           | 3             |
| 2      | 15             | 30             | 22                | 0,2           | 2             |
| 3      | 30             | 50             | 51                | 0,3           | 3             |
| 4      | 60             | 70             | 62                | 0,1           | 4             |
| 5      | 30             | 40             | 18                | 0,2           | 5             |
| 6      | 35             | 50             | 23                | 0,3           | 5             |
| 7      | 40             | 60             | 44                | 0,4           | 6             |
| 8      | 30             | 50             | 61                | 0,1           | 4             |
| 9      | 60             | 80             | 33                | 0,2           | 5             |
| 10     | 60             | 90             | 28                | 0,3           | 4             |
| 11     | 40             | 60             | 17                | 0,1           | 3             |
| 12     | 40             | 70             | 32                | 0,1           | 2             |
| 13     | 20             | 30             | 35                | 0,2           | 3             |
| 14     | 50             | 70             | 45                | 0,3           | 4             |
| 15     | 40             | 60             | 32                | 0,6           | 6             |

| № вар. | $d, \text{мм}$ | $D, \text{мм}$ | $p_m, \text{кПа}$ | $h, \text{м}$ | $H_2, \text{м}$ |
|--------|----------------|----------------|-------------------|---------------|-----------------|
| 16     | 8              | 10             | 34                | 0,1           | 6               |
| 17     | 15             | 35             | 38                | 0,2           | 4               |
| 18     | 40             | 70             | 28                | 0,3           | 5               |
| 19     | 50             | 70             | 18                | 0,4           | 6               |
| 20     | 8              | 20             | 24                | 0,5           | 6               |
| 21     | 7              | 10             | 24                | 0,6           | 8               |
| 22     | 25             | 40             | 35                | 0,7           | 7               |
| 23     | 60             | 70             | 36                | 0,8           | 3               |
| 24     | 30             | 50             | 45                | 0,9           | 4               |
| 25     | 40             | 60             | 42                | 0,5           | 5               |
| 26     | 50             | 70             | 34                | 0,1           | 6               |
| 27     | 60             | 80             | 35                | 0,2           | 9               |
| 28     | 7              | 15             | 36                | 0,3           | 9               |
| 29     | 8              | 20             | 54                | 0,4           | 8               |
| 30     | 50             | 70             | 43                | 0,5           | 7               |

Задача 5

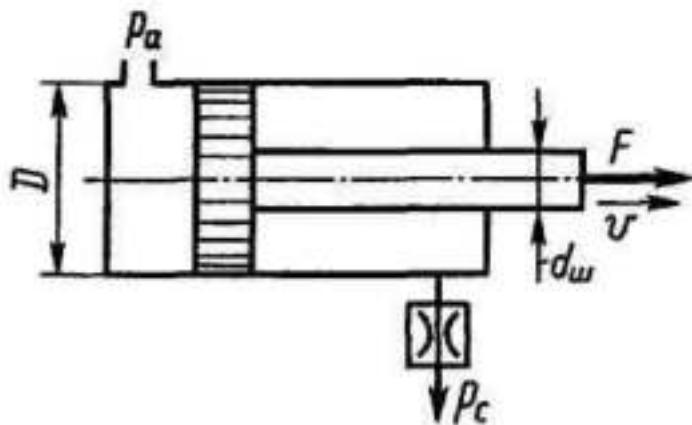


Вода по трубе подается в резервуар А, откуда через сопло диаметром  $d_1 = 8$  мм перетекает в резервуар Б. Далее через внешний цилиндрический насадок  $d_2 = 10$  мм вода попадает в резервуар В и, наконец, вытекает в атмосферу через внешний цилиндрический насадок  $d_3 = 6$  мм. При этом  $H$ ,  $b$ . Определить расход воды через систему и перепады уровней  $h_1$  и  $h_2$ . Коэффициенты истечения принять:  $\mu_1 = 0,97$ ,  $\mu_2 = \mu_3 = 0,82$

| № вар. | $d_1$ , мм | $d_2$ , мм | $d_3$ , мм | $H$ , м | $b$ , мм |
|--------|------------|------------|------------|---------|----------|
| 1      | 5          | 10         | 3          | 1,5     | 35       |
| 2      | 5          | 15         | 2          | 1,2     | 25       |
| 3      | 6          | 10         | 5          | 1,3     | 35       |
| 4      | 6          | 12         | 4          | 1,1     | 45       |
| 5      | 7          | 15         | 3          | 1,2     | 55       |
| 6      | 5          | 8          | 3          | 1,3     | 55       |
| 7      | 8          | 10         | 4          | 1,4     | 65       |
| 8      | 12         | 15         | 8          | 1,1     | 45       |
| 9      | 15         | 20         | 10         | 1,2     | 55       |
| 10     | 12         | 15         | 8          | 1,3     | 45       |
| 11     | 8          | 10         | 6          | 1,1     | 35       |
| 12     | 8          | 10         | 4          | 1,1     | 25       |
| 13     | 12         | 15         | 8          | 1,2     | 35       |
| 14     | 15         | 20         | 10         | 1,3     | 45       |
| 15     | 12         | 15         | 8          | 1,6     | 65       |

| № вар. | $d_1$ , мм | $d_2$ , мм | $d_3$ , мм | $H$ , м | $b$ , мм |
|--------|------------|------------|------------|---------|----------|
| 16     | 8          | 10         | 4          | 1,1     | 25       |
| 17     | 10         | 15         | 8          | 1,2     | 45       |
| 18     | 15         | 20         | 10         | 1,3     | 55       |
| 19     | 10         | 15         | 8          | 1,4     | 65       |
| 20     | 10         | 15         | 6          | 1,5     | 65       |
| 21     | 8          | 10         | 5          | 1,6     | 25       |
| 22     | 12         | 15         | 9          | 1,7     | 35       |
| 23     | 12         | 20         | 10         | 1,8     | 35       |
| 24     | 12         | 15         | 6          | 1,9     | 45       |
| 25     | 8          | 10         | 3          | 1,5     | 55       |
| 26     | 10         | 15         | 4          | 1,1     | 25       |
| 27     | 12         | 15         | 6          | 1,2     | 25       |
| 28     | 15         | 20         | 12         | 1,3     | 25       |
| 29     | 12         | 15         | 8          | 1,4     | 35       |
| 30     | 8          | 10         | 5          | 1,5     | 45       |

Задача 6



Определить диаметр отверстия дросселя, установленного на сливе из гидроцилиндра, при условии движения штока цилиндра под действием внешней нагрузки  $F$  со скоростью  $v$ . Диаметры: штока  $d_w$ , цилиндра  $D$ , коэффициент расхода дросселя  $\mu$ , плотность жидкости  $\rho=850$  кг/м<sup>3</sup>, давление на сливе  $p_c$ .

| № вар. | $F$ , кН | $v$ , мм/с | $d_w$ , мм | $D$ , мм | $\mu$ | $p_c$ , МПа |
|--------|----------|------------|------------|----------|-------|-------------|
| 1      | 50       | 100        | 30         | 60       | 0,35  | 0,34        |
| 2      | 50       | 150        | 20         | 40       | 0,25  | 0,38        |
| 3      | 60       | 100        | 50         | 100      | 0,35  | 0,28        |
| 4      | 60       | 120        | 40         | 80       | 0,45  | 0,18        |
| 5      | 70       | 150        | 30         | 60       | 0,55  | 0,24        |
| 6      | 50       | 280        | 30         | 60       | 0,55  | 0,24        |
| 7      | 80       | 210        | 40         | 80       | 0,65  | 0,35        |
| 8      | 120      | 215        | 80         | 160      | 0,45  | 0,36        |
| 9      | 150      | 220        | 10         | 20       | 0,55  | 0,45        |
| 10     | 120      | 215        | 80         | 150      | 0,45  | 0,42        |
| 11     | 80       | 210        | 60         | 110      | 0,35  | 0,34        |
| 12     | 80       | 210        | 40         | 90       | 0,25  | 0,35        |
| 13     | 120      | 215        | 80         | 140      | 0,35  | 0,36        |
| 14     | 150      | 220        | 10         | 30       | 0,45  | 0,54        |
| 15     | 120      | 215        | 80         | 130      | 0,65  | 0,43        |

| № вар. | $F$ , кН | $v$ , мм/с | $d_w$ , мм | $D$ , мм | $\mu$ | $p_c$ , МПа |
|--------|----------|------------|------------|----------|-------|-------------|
| 16     | 80       | 210        | 40         | 80       | 0,25  | 0,25        |
| 17     | 100      | 215        | 80         | 120      | 0,45  | 0,22        |
| 18     | 150      | 220        | 10         | 20       | 0,55  | 0,52        |
| 19     | 100      | 215        | 80         | 160      | 0,65  | 0,62        |
| 20     | 100      | 215        | 60         | 120      | 0,65  | 0,28        |
| 21     | 80       | 210        | 50         | 100      | 0,25  | 0,23        |
| 22     | 120      | 215        | 90         | 180      | 0,35  | 0,44        |
| 23     | 120      | 220        | 10         | 25       | 0,35  | 0,62        |
| 24     | 120      | 215        | 60         | 120      | 0,45  | 0,33        |
| 25     | 80       | 210        | 30         | 60       | 0,55  | 0,28        |
| 26     | 100      | 215        | 40         | 80       | 0,25  | 0,27        |
| 27     | 120      | 215        | 60         | 120      | 0,25  | 0,32        |
| 28     | 150      | 220        | 10         | 20       | 0,25  | 0,35        |
| 29     | 120      | 215        | 80         | 160      | 0,35  | 0,45        |
| 30     | 80       | 210        | 50         | 100      | 0,45  | 0,32        |

### 3. КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА №3

#### 3.1. Общие указания к контрольной работе №3

В данной контрольной работе приводятся задачи на практическое применение первого закона термодинамики, основных термодинамических процессов, основ теплопередачи. При этом студент должен усвоить и закрепить:

- Основные понятия термодинамики, теплопередачи и термодинамических процессов;
- Приобрести навыки расчетов по определению внутренней энергии, теплоты при расширении и сужении газов в определенных термодинамических процессах и научится вычислять теплопотери через стенку ограждающих конструкций.

Физическое состояние рабочего тела определяется тремя параметрами: температурой, давлением и объемом. Уравнение состояния тела устанавливает зависимость между параметрами состояния. Для идеального газа уравнение состояния, которое устанавливает зависимость между параметрами состояния, выражается законом Менделеева-Клапейрона:

$$pV = mRT \quad (3.1)$$

где  $p$  – давление газа (Па),  $V$  – объем газа ( $\text{м}^3$ ),  $m$  – масса газа (кг),  $R$  – газовая постоянная (Дж/кг·К),  $T$  – температура (К).

Изменение состояния тела при взаимодействии его с окружающей средой называется термодинамическим процессом. При осуществлении термодинамического процесса подводимая к телу теплота  $Q$  идет на изменение его внутренней энергии и совершение механической работы, что демонстрирует первый закон термодинамики:

$$Q = \Delta U + L \quad (3.2)$$

Первый закон термодинамики является частным случаем общего закона сохранения и превращения энергии применительно к процессам взаимного превращения теплоты и работы. Закон утверждает, что сумма всех видов энергии изолированной системы при любых происходящих в системе процессах остается постоянной

$$W=\text{const}; dW=0$$

В технической термодинамике рассматриваются следующие основные термодинамические процессы:

1. Изохорный – при постоянном объеме ( $V=\text{const}$ );
2. Изобарный – при постоянном давлении ( $p=\text{const}$ );
3. Изотермический – при постоянной температуре ( $T=\text{const}$ );
4. Адиабатный – без внешнего теплообмена ( $q=0$ );
5. Политропный процесс – это процесс происходящий при постоянной теплоемкости рабочего тела (теплоемкостью тела называется количество теплоты, необходимое для повышения его температуры на 1 градус, обозначается  $c$  (кДж/кг·К)).

В таблице приведены основные расчетные соотношения для указанных термодинамических процессов.

Таблица – Основные расчетные соотношения для термодинамических процессов

| Процесс        | Уравнение процесса                    | Соотношения между параметрами состояния | Механическая работа  | Теплота                            |
|----------------|---------------------------------------|---|--|------------------------------------|
| Изохорный      | $V=\text{const}$                      | $\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}$     | $L=0$  | $Q=c_V(T_2 - T_1)$                 |
| Изобарный      | $p=\text{const}$                      | $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$     | $L = p(V_2 - V_1) = R(T_2 - T_1)$                            | $Q=c_p(T_2 - T_1)$                 |
| Изотермический | $T=\text{const}$<br>$pV=\text{const}$ | $p_1V_1 = p_2V_2$                       | $L = RT \ln \frac{V_2}{V_1} = RT \ln \frac{p_1}{p_2}$        | $Q=L$                              |
| Адиабатный     | $pV^k=\text{const}^*$                 | $p_1V_1^k = p_2V_2^k$                   | $L = \frac{p_1V_1 - p_2V_2}{k-1} = \frac{R(T_1 - T_2)}{k-1}$ | $Q=0$                              |
| Политропный    | $pV^n=\text{const}$                   | $p_1V_1^n = p_2V_2^n$                   | $L = \frac{p_1V_1 - p_2V_2}{n-1} = \frac{R(T_1 - T_2)}{n-1}$ | $Q = c_V \frac{n-k}{n-1} \Delta T$ |

\* $k$  и  $n$  – показатели адиабаты и политропы соответственно

### Основы теплопередачи

Количество теплоты, передаваемо от одного теплоносителя к другому через разделяющую стенку в единицу времени, определяется уравнением:

$$Q = k(t_1 - t_2)F \quad (3.3)$$

где  $k$  – коэффициент теплопередачи,  $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ ,  $t_1$  и  $t_2$  – температуры теплоносителей.

При теплопередаче через плоскую однородную стенку:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (3.4)$$

где  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  – коэффициенты теплоотдачи на поверхностях стенки,  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности материала стенки;  $\delta$  – толщина стенки.

Для многослойной стенки коэффициент теплопередачи равен:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (3.5)$$

Термическое сопротивление  $R$  является обратной величиной коэффициента теплопередачи  $R = 1/k$ .

Температура поверхности стенки при расчете от внутренней поверхности (теплой) к внешней (холодной):

$$t_{c1} = t_1 - q \frac{1}{\alpha_1} \quad (3.6)$$

при расчете от внешней (холодной) к внутренней (теплой):

$$t_{c2} = t_2 + q \frac{1}{\alpha_2} \quad (3.7)$$

### 3.2. Задачи к контрольной работе №3

#### Задача 1

В процессе расширения с подводом теплоты  $Q$  1 кг воздуха совершают работу, равную  $L$ . Определить изменение температуры воздуха в процессе. Пренебрегая зависимостью теплоемкости от температуры. Если теплоемкость воздуха равна  $0,722 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$ .

| №<br>вар. | $Q$ ,<br>МДж | $L$ , кДж |
|-----------|--------------|-----------|
| 1         | 0,25         | 123       |
| 2         | 0,22         | 124       |
| 3         | 0,52         | 125       |
| 4         | 0,12         | 26        |
| 5         | 0,28         | 27        |
| 6         | 0,23         | 28        |
| 7         | 0,44         | 129       |
| 8         | 0,08         | 30        |
| 9         | 0,33         | 131       |
| 10        | 0,28         | 32        |
| 11        | 0,07         | 33        |
| 12        | 0,12         | 34        |
| 13        | 0,35         | 135       |
| 14        | 0,15         | 36        |
| 15        | 0,32         | 137       |

| №<br>вар. | $Q$ ,<br>МДж | $L$ ,<br>кДж |
|-----------|--------------|--------------|
| 16        | 0,14         | 45           |
| 17        | 0,18         | 44           |
| 18        | 0,28         | 143          |
| 19        | 0,18         | 42           |
| 20        | 0,24         | 141          |
| 21        | 0,24         | 140          |
| 22        | 0,35         | 139          |
| 23        | 0,36         | 138          |
| 24        | 0,15         | 37           |
| 25        | 0,12         | 36           |
| 26        | 0,14         | 35           |
| 27        | 0,05         | 39           |
| 28        | 0,06         | 54           |
| 29        | 0,14         | 35           |
| 30        | 0,23         | 134          |

## Задача 2

Определить изменение температуры нефтяного масла, массой  $m$ , при его нагревании и перемешивании, если известно, что количество подводимой теплоты равно  $Q$  и работа перемешивания равна  $L$ . Теплоемкость масла 2 кДж/(кг·К).

| №<br>вар. | $m$ , кг | $Q$ ,<br>кДж | $L$ , кДж |
|-----------|----------|--------------|-----------|
| 1         | 11       | 250          | 45        |
| 2         | 12       | 220          | 44        |
| 3         | 19       | 520          | 43        |
| 4         | 18       | 120          | 42        |
| 5         | 17       | 280          | 41        |
| 6         | 23       | 230          | 40        |
| 7         | 90       | 440          | 39        |
| 8         | 23       | 800          | 38        |
| 9         | 45       | 330          | 37        |
| 10        | 53       | 280          | 36        |
| 11        | 42       | 700          | 35        |
| 12        | 13       | 120          | 39        |
| 13        | 11       | 350          | 54        |
| 14        | 23       | 150          | 35        |
| 15        | 15       | 320          | 34        |

| №<br>вар. | $m$ , кг | $Q$ ,<br>кДж | $L$ ,<br>кДж |
|-----------|----------|--------------|--------------|
| 16        | 90       | 140          | 23           |
| 17        | 45       | 180          | 24           |
| 18        | 65       | 280          | 25           |
| 19        | 78       | 180          | 26           |
| 20        | 63       | 240          | 27           |
| 21        | 90       | 240          | 28           |
| 22        | 23       | 350          | 29           |
| 23        | 25       | 360          | 30           |
| 24        | 43       | 150          | 31           |
| 25        | 21       | 120          | 32           |
| 26        | 26       | 140          | 33           |
| 27        | 78       | 500          | 34           |
| 28        | 65       | 600          | 35           |
| 29        | 54       | 140          | 36           |
| 30        | 52       | 230          | 37           |

### Задача 3

Определить величину теоретической работы сжатия воздуха в компрессоре, изменение внутренней энергии и энтропии для следующих вариантов процесса сжатия а) по изотерме; б) по адиабате (коэффициент адиабаты для воздуха  $k=1,4$ ); в) по политропе с показателем  $n$ . Расход сжимаемого воздуха  $G$ ; начальное давление  $p_1$ ; начальная температура  $t_1$ ; степень повышения давления  $\lambda=p_2/p_1$ . Показать все процессы сжатия в p-V, T-S диаграммах. Расчеты вести при постоянном значении теплоемкости воздуха.

| №<br>вар. | $p_1$ ,<br>МПа | $G$ ,<br>кг/мин | $n$  | $\lambda=p_1/p_2$ | $t_1$ ,<br>$^{\circ}\text{C}$ |
|-----------|----------------|-----------------|------|-------------------|-------------------------------|
| 1         | 0,25           | 23              | 0,89 | 6,6               | 8                             |
| 2         | 0,22           | 24              | 1,11 | 5,6               | 9                             |
| 3         | 0,52           | 25              | 0,92 | 4,6               | 10                            |
| 4         | 0,12           | 26              | 1,26 | 4,5               | 11                            |
| 5         | 0,28           | 27              | 1,95 | 5,5               | 12                            |
| 6         | 0,23           | 28              | 1,32 | 6,5               | 13                            |
| 7         | 0,44           | 29              | 0,91 | 6,3               | 14                            |
| 8         | 0,08           | 30              | 1,12 | 5,3               | 15                            |
| 9         | 0,33           | 31              | 0,96 | 9,3               | 16                            |
| 10        | 0,28           | 32              | 1,84 | 1,2               | 17                            |
| 11        | 0,07           | 33              | 1,53 | 4,9               | 18                            |
| 12        | 0,12           | 34              | 1,24 | 2,7               | 18                            |
| 13        | 0,35           | 35              | 1,56 | 5,6               | 7                             |
| 14        | 0,15           | 36              | 1,86 | 8,9               | 17                            |
| 15        | 0,32           | 37              | 0,73 | 7,6               | 16                            |

| №<br>вар. | $p_1$ ,<br>МПа | $G$ ,<br>кг/мин | $n$  | $\lambda=p_1/p_2$ | $t_1$ ,<br>$^{\circ}\text{C}$ |
|-----------|----------------|-----------------|------|-------------------|-------------------------------|
| 16        | 0,14           | 45              | 0,75 | 5,8               | 15                            |
| 17        | 0,18           | 44              | 0,77 | 4,9               | 14                            |
| 18        | 0,28           | 43              | 1,23 | 6,6               | 13                            |
| 19        | 0,18           | 42              | 1,06 | 8,7               | 16                            |
| 20        | 0,24           | 41              | 1,12 | 7,8               | 15                            |
| 21        | 0,24           | 40              | 0,78 | 9,6               | 19                            |
| 22        | 0,35           | 39              | 1,36 | 5,9               | 18                            |
| 23        | 0,36           | 38              | 1,08 | 4,8               | 17                            |
| 24        | 0,15           | 37              | 1,09 | 2,9               | 16                            |
| 25        | 0,12           | 36              | 1,23 | 9,7               | 15                            |
| 26        | 0,14           | 35              | 1,96 | 3,6               | 14                            |
| 27        | 0,05           | 39              | 1,86 | 8,7               | 13                            |
| 28        | 0,06           | 54              | 0,89 | 1,9               | 12                            |
| 29        | 0,14           | 35              | 1,67 | 8,6               | 11                            |
| 30        | 0,23           | 34              | 1,78 | 4,3               | 10                            |

### Задача 4

Определить массу воздуха, конечный объем, температуру, работу, количество отведенной теплоты, изменение внутренней энергии и энтропии, если воздух объемом  $V_1$ , с начальным давлением  $p_1$  и начальной температурой  $t_1$  сжимается до изменения объема в  $\varepsilon$  раз. Сжатие происходит по изотерме, адиабате и политропе с показателем политропы  $n$ . Для каждого из процессов изобразить процессы сжатия в  $p$ - $V$  и  $T$ - $S$ -диаграммах. Результаты расчетов свести в таблицу.

| № вар. | $p_1$ , МПа | $V_1$ , м <sup>3</sup> | $n$  | $\varepsilon$ | $t_1$ , °C |
|--------|-------------|------------------------|------|---------------|------------|
| 1      | 0,14        | 63                     | 0,75 | 16            | 15         |
| 2      | 0,11        | 74                     | 0,77 | 36            | 14         |
| 3      | 0,20        | 85                     | 1,23 | 26            | 13         |
| 4      | 0,10        | 56                     | 1,06 | 15            | 16         |
| 5      | 0,09        | 37                     | 1,12 | 13            | 15         |
| 6      | 0,08        | 68                     | 0,78 | 15            | 19         |
| 7      | 0,07        | 79                     | 1,36 | 23            | 18         |
| 8      | 0,06        | 50                     | 1,08 | 13            | 17         |
| 9      | 0,15        | 61                     | 1,09 | 13            | 16         |
| 10     | 0,12        | 42                     | 1,23 | 22            | 15         |
| 11     | 0,14        | 53                     | 1,96 | 29            | 14         |
| 12     | 0,05        | 64                     | 1,86 | 27            | 13         |
| 13     | 0,06        | 85                     | 0,89 | 36            | 12         |
| 14     | 0,14        | 96                     | 1,67 | 29            | 11         |
| 15     | 0,23        | 47                     | 1,78 | 36            | 10         |

| № вар. | $p_1$ , МПа | $V_1$ , м <sup>3</sup> | $n$  | $\varepsilon$ | $t_1$ , °C |
|--------|-------------|------------------------|------|---------------|------------|
| 16     | 0,05        | 55                     | 0,89 | 28            | 8          |
| 17     | 0,12        | 64                     | 1,11 | 41            | 9          |
| 18     | 0,22        | 43                     | 0,92 | 26            | 10         |
| 19     | 0,12        | 52                     | 1,26 | 27            | 11         |
| 20     | 0,28        | 61                     | 1,95 | 18            | 12         |
| 21     | 0,23        | 60                     | 1,32 | 16            | 13         |
| 22     | 0,06        | 79                     | 0,91 | 29            | 14         |
| 23     | 0,08        | 88                     | 1,12 | 18            | 15         |
| 24     | 0,08        | 97                     | 0,96 | 39            | 16         |
| 25     | 0,28        | 76                     | 1,84 | 27            | 17         |
| 26     | 0,07        | 85                     | 1,53 | 16            | 18         |
| 27     | 0,12        | 79                     | 1,24 | 27            | 18         |
| 28     | 0,15        | 64                     | 1,56 | 19            | 7          |
| 29     | 0,15        | 85                     | 1,86 | 10            | 17         |
| 30     | 0,32        | 84                     | 0,73 | 11            | 16         |

### Задача 5

Поверхность теплообменного аппарата площадью  $F$  состоит из листовой стали с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_{ст}=17$  Вт/(м·К), толщиной  $\delta_{ст}$ , изолирована слоем листового асбеста толщиной  $\delta_{ac}$  ( $\lambda_{ac}=0,1163$  Вт/(м·К)), и слоем минеральной ваты толщиной  $\delta_{м.в.}$  ( $\lambda_{м.в.}=0,0465$  Вт/(м·К)). Определить тепловой поток через стенку аппарата и температуры на поверхностях слоев, если температура внутренней поверхности стенки  $t_b$ , наружной поверхности изоляции  $t_h$ . Изобразить схематически график распределения температур по толщине аппарата. Рассчитать толщину слоя стеклянной ваты ( $\lambda_{с.в.}=0,0372$  Вт/(м·К)), который необходимо положить вместо асбеста и минеральной ваты, чтобы изолирующие действия конструкции осталось без изменения.

| № вар. | $F, м^2$ | $\delta_{ст}, мм$ | $\delta_{ac}, мм$ | $\delta_{м.в.}, мм$ | $t_b, ^\circ\text{C}$ | $t_h, ^\circ\text{C}$ |
|--------|----------|-------------------|-------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1      | 14       | 6,3               | 75                | 116                 | 150                   | 40                    |
| 2      | 11       | 7,4               | 77                | 316                 | 140                   | 45                    |
| 3      | 20       | 8,5               | 53                | 126                 | 130                   | 56                    |
| 4      | 10       | 5,6               | 66                | 115                 | 160                   | 57                    |
| 5      | 90       | 3,7               | 22                | 131                 | 150                   | 40                    |
| 6      | 80       | 6,8               | 78                | 151                 | 190                   | 50                    |
| 7      | 70       | 7,9               | 36                | 231                 | 180                   | 55                    |
| 8      | 60       | 5,0               | 88                | 131                 | 170                   | 56                    |
| 9      | 15       | 6,1               | 79                | 131                 | 160                   | 60                    |
| 10     | 12       | 4,2               | 43                | 221                 | 150                   | 67                    |
| 11     | 14       | 5,3               | 96                | 291                 | 140                   | 60                    |
| 12     | 56       | 6,4               | 86                | 271                 | 130                   | 70                    |
| 13     | 46       | 8,5               | 89                | 361                 | 120                   | 80                    |
| 14     | 14       | 9,6               | 67                | 291                 | 110                   | 20                    |
| 15     | 23       | 4,7               | 78                | 361                 | 100                   | 40                    |

| № вар. | $F, м^2$ | $\delta_{ст}, мм$ | $\delta_{ac}, мм$ | $\delta_{м.в.}, мм$ | $t_b, ^\circ\text{C}$ | $t_h, ^\circ\text{C}$ |
|--------|----------|-------------------|-------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|
| 16     | 25       | 5,5               | 89                | 179                 | 180                   | 60                    |
| 17     | 12       | 6,4               | 140               | 143                 | 191                   | 67                    |
| 18     | 22       | 4,3               | 92                | 196                 | 210                   | 60                    |
| 19     | 12       | 5,2               | 26                | 186                 | 111                   | 70                    |
| 20     | 28       | 6,1               | 95                | 189                 | 112                   | 80                    |
| 21     | 23       | 6,0               | 32                | 167                 | 113                   | 45                    |
| 22     | 36       | 7,9               | 91                | 178                 | 140                   | 56                    |
| 23     | 28       | 8,8               | 32                | 179                 | 150                   | 57                    |
| 24     | 18       | 9,7               | 96                | 175                 | 160                   | 40                    |
| 25     | 28       | 7,6               | 84                | 177                 | 170                   | 40                    |
| 26     | 47       | 8,5               | 53                | 153                 | 180                   | 45                    |
| 27     | 12       | 7,9               | 24                | 166                 | 180                   | 56                    |
| 28     | 15       | 6,4               | 56                | 122                 | 170                   | 57                    |
| 29     | 15       | 8,5               | 86                | 178                 | 170                   | 40                    |
| 30     | 32       | 8,4               | 73                | 175                 | 160                   | 45                    |

### Задача 6

Определить температуру на наружной поверхности утеплителя для наружной стены при температуре в помещении  $t_b$ , на улице  $t_h$ . Толщина слоев: фактурный слой (гранит) –  $\delta_{\phi.c.}$ , утеплитель керамзитобетон плотностью  $1000 \text{ кг/м}^3$  –  $\delta_{yt}$ , штукатурка (цементно-песчаный раствор) –  $\delta_{шт}$ . Коэффициенты теплоотдачи на поверхности стенки:  $\alpha_h=23 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{°C})$  и  $\alpha_b=8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{°C})$ . Коэффициенты теплопроводности материалов брать из СП 23-101-2000.

| №<br>вар. | $\delta_{\phi.c.}$ ,<br>мм | $\delta_{yt}$ ,<br>мм | $\delta_{шт}$ ,<br>мм | $t_b$ ,<br>°C | $t_h$ ,<br>°C |
|-----------|----------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------|---------------|
| 1         | 6                          | 20                    | 6                     | 20            | -15           |
| 2         | 7                          | 25                    | 6                     | 21            | -10           |
| 3         | 5                          | 30                    | 2                     | 22            | -11           |
| 4         | 6                          | 35                    | 5                     | 20            | -16           |
| 5         | 7                          | 40                    | 3                     | 21            | -17           |
| 6         | 8                          | 45                    | 5                     | 22            | -18           |
| 7         | 7                          | 50                    | 2                     | 20            | -19           |
| 8         | 5                          | 55                    | 3                     | 21            | -12           |
| 9         | 6                          | 60                    | 3                     | 22            | -15           |
| 10        | 4                          | 25                    | 2                     | 20            | -17           |
| 11        | 3                          | 30                    | 2                     | 21            | -18           |
| 12        | 4                          | 35                    | 7                     | 22            | -19           |
| 13        | 5                          | 40                    | 6                     | 20            | -20           |
| 14        | 6                          | 25                    | 2                     | 21            | -13           |
| 15        | 7                          | 30                    | 3                     | 22            | -14           |

| №<br>вар. | $\delta_{ct}$ ,<br>мм | $\delta_{ac}$ ,<br>мм | $\delta_{M.B.}$ ,<br>мм | $t_b$ ,<br>°C | $t_h$ ,<br>°C |
|-----------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|---------------|---------------|
| 16        | 5                     | 20                    | 2                       | 20            | -12           |
| 17        | 4                     | 25                    | 7                       | 21            | -15           |
| 18        | 4                     | 30                    | 6                       | 22            | -17           |
| 19        | 5                     | 35                    | 2                       | 20            | -18           |
| 20        | 6                     | 40                    | 3                       | 21            | -19           |
| 21        | 6                     | 45                    | 2                       | 22            | -20           |
| 22        | 9                     | 50                    | 7                       | 20            | -13           |
| 23        | 8                     | 40                    | 6                       | 21            | -14           |
| 24        | 7                     | 45                    | 6                       | 22            | -12           |
| 25        | 6                     | 50                    | 6                       | 20            | -15           |
| 26        | 5                     | 55                    | 2                       | 21            | -17           |
| 27        | 9                     | 60                    | 5                       | 22            | -18           |
| 28        | 6                     | 25                    | 6                       | 20            | -19           |
| 29        | 5                     | 30                    | 6                       | 21            | -20           |
| 30        | 8                     | 70                    | 2                       | 22            | -13           |

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шейман Л.Е. Методические указания к выполнению контрольных работ по дисциплине «Гидравлика» для студентов заочного отделения специальностей направления 653500 «Строительство»: учеб.-метод. пособие / сост. Л.Е. Шейман. – 2-е изд. доп. – Ижевск: Изд-во ИжГТУ, 2007. – 38 с.
2. Задачник по гидравлике, гидромашинам и гидроприводу: Учеб. пособие для машиностроит. спец. вузов / Б.Б. Некрасов, И.В. Фатеев, Ю.А. Беленков и др.; Под ред. Б.Б. Некрасова. – М.: Высш. шк., 1989. – 192 с.
3. Ерохин В.Г., Маханько М.Г. Сборник задач по основам гидравлики и теплотехники: Учеб. пособие для техникумов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1979. – 210 с.