



Профессиональное образовательное частное учреждение среднего профессионального образования

**«Высший юридический колледж:
экономика, финансы, служба безопасности»**

Пушкинская ул., д. 268, 426008, г. Ижевск. Тел.: (3412) 32-02-32. Тел./факс: 43-62-22. E-mail: mveu@mveu.ru, mveu.ru

**Методические рекомендации
по выполнению практических работ**

по дисциплине

ОП.05 Термодинамика, теплопередача и гидравлика

Для специальности

20.02.04 «Пожарная безопасность»

Ижевск 2020 г.

Практическое занятие № 1 - Решение задач с применением основных законов гидростатики

Цель работы:

- усвоить основные расчетные зависимости гидростатики;
- научиться применять основные законы гидростатики для решения практических задач;
- обратить внимание на разные системы единиц.

1 Пример решения задачи

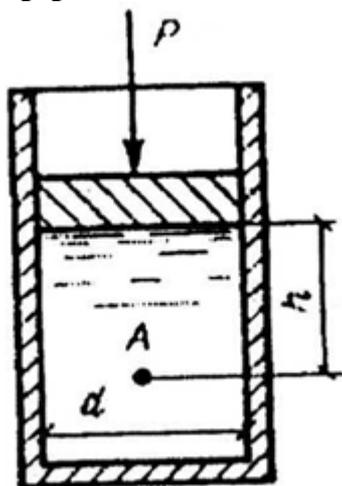


Рисунок 7

Определить абсолютное и избыточное гидростатическое давление воды ($\gamma=9790 \text{ Н/м}^3$) в точке А на глубине $h=0,5\text{ м}$ от поршня (см.рисунок), если на поршень диаметром $d=200\text{ мм}$ действует сила $P=6,2 \text{ кН}$, а атмосферное давление $p_a=0,1 \text{ МПа}$.

Решение. Избыточное гидростатическое давление на поверхности жидкости от действия поршня равно:

$$p_{\text{зб.п.}} = P/S = 4P/\pi d^2 = 4 \cdot 6200 / 3,14 \cdot 0,2^2 = 0,2 \text{ МПа}$$

Избыточное гидростатическое давление в точке А от столба жидкости равно:

$$p_{\text{зб.ж.}} = \gamma h = 9790 \cdot 0,5 = 4895 \text{ Па} = 0,005 \text{ МПа}$$

Абсолютное гидростатическое давление в точке А:

$$p_{\text{бс.}} = p_a + p_{\text{зб.п.}} + p_{\text{зб.ж.}} = 0,1 + 0,2 + 0,005 = 0,305 \text{ МПа}$$

2 Задачи для решения

2.1 Определить удельный вес γ и плотность ρ жидкости, если вес 10 л ее равен 95Н.

2.2 Манометр, установленный на паровом котле, показывает давление 1,8МПа. Найти давление пара в котле, если атмосферное давление 99 кПа (0,099МПа).

2.3 Вакууметр показывает разрежение 80кПа. Каково должно быть давление в сосуде, если атмосферное давление по барометру составляет 1 00кПа.

2.4 Жидкость с уд.весом $\gamma=8000\text{Н/м}^3$ обладает динамической вязкостью $\nu=0,002\text{Пат}$. Определить ее кинематическую вязкость.

2.5 Уровень мазута в вертикальном цилиндрическом баке диаметром 2м за некоторое время понизился на 0,5м. Определить количество израсходованного мазута (в весовых единицах), если плотность его при температуре окружающей среды 20°C равна $\rho=990\text{кг/м}^3$.

2.6 Определить показание пружинного манометра, установленного на глубине $h=3\text{м}$ от поверхности в закрытом резервуаре с бензином, плотность которого $\rho=720\text{кг/м}^3$, давление на поверхность $p_0=24,5 \cdot 10^4\text{Па}$, $p_{\text{атм}}=9,8 \cdot 10^4\text{Па}$.

2.7 Определить суммарное усилие, воспринимаемое болтами смотрового люка $d=1\text{м}$, расположенного на глубине $h_c=5\text{м}$ от свободной поверхности закрытого резервуара с водой ($p_0=p_{\text{атм}}$) $\rho=998,2\text{кг/м}^3$.

2.8 Цилиндрический бак наполнен жидкостью удельным весом $\gamma=8850\text{Н/м}^3$ до высоты $h=3\text{м}$; свободная поверхность жидкости находится под давлением p_0 сжатого до 0,2МПа воздуха. Определить гидростатический и пьезометрический напор жидкости в баке, если его дно поднято над плоскостью отсчета на высоту $z=2\text{м}$.

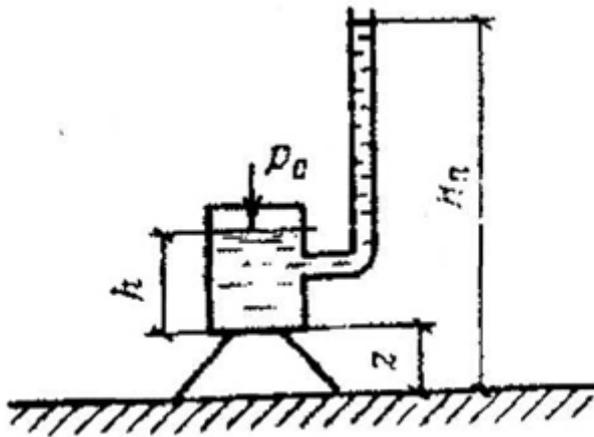


Рисунок 8

2.9 Гидравлический домкрат имеет диаметр большого поршня $D=250\text{мм}$ и диаметр малого поршня $d=25\text{мм}$. Плечи-рычага: $a=1\text{м}$ и $b=0,2\text{м}$. Определить усилие F , которое необходимо приложить на конце рычага, чтобы поднять груз $G=2 \cdot 10^4\text{Н}$.

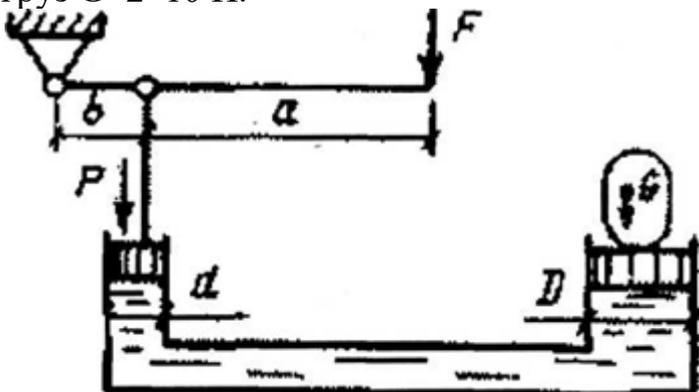


Рисунок 9

3 Контрольные вопросы

- Что такое гидростатическое давление и его единицы?
- Закон Паскаля и его практическое применение.
- Основные физические свойства жидкости.
- Вязкость жидкости и единицы ее измерения.

4. Вывод.

Практическое занятие № 2 - Решение задач с применением уравнения

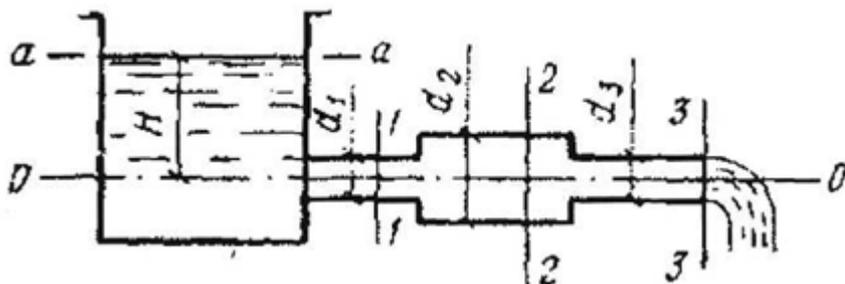
Д. Бернулли

Цель занятия:

- уметь применять уравнение Д.Бернулли для решения практических задач;
- по найденным параметрам построить диаграмму уравнения Д.Бернулли.

1 Пример решения задачи

Из отверстия в боковой стенке открытого сосуда по горизонтальной трубе переменного сечения (см.рис.) вытекает вода. Определить, пренебрегая потерями напора, расход воды Q , а также средние скорости и гидродинамические давления в сечениях трубопроводов 1-1, 2-2, если уровень воды в сосуде постоянный ($H=1\text{м}$) и $d_1=0,1\text{м}$; $d_2=0,25\text{м}$; $d_3=0,15\text{м}$. истечение происходит в атмосферу.



Решение. Выбирают плоскость сравнения по оси трубы 0-0 и составляют уравнение Д.Бернулли для сечений а-а и 3-3:

$$H + p_a / \gamma + v_a^2 / 2g = p_a / \gamma + v_3^2 / 2g \quad (10)$$

Учитывая, что при постоянном уровне жидкости в сосуде $\chi_a = 0$, находят среднюю скорость потока в сечении 3-3 и 2-2:

$$v_3 = \sqrt{2gH}, \quad 2 \quad (11)$$

$$v_3 = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 1} = 4,43$$

Используя уравнение неразрывности, находят средние скорости в сечении 1-1

$$v_1 = \frac{v_3 S_3}{S_1} = \frac{v_3 d_3^2}{d_1^2}, \quad (12)$$

$$v_1 = \frac{4,43 \cdot 0,15^2}{0,1^2} = 10 \text{ м/с}$$

$$v_2 = \frac{v_3 d_3^2}{d_2^2}, \quad (13)$$

$$v_2 = \frac{4,43 \cdot 0,15^2}{0,25^2} = 1,6 \text{ м/с}$$

Составляют уравнение Д.Бернулли для сечений 1-1 и 3-3:

$$p_1/\gamma + v_1^2/2g = p_3/\gamma + v_3^2/2g, \quad (14)$$

$$p_1 = p_3 + \gamma/2g(v_3^2 - v_1^2), \quad (15)$$

$$0,1 \cdot 10^6 + 9790/(2 \cdot 9,87)(4,43^2 - 1,6^2) = 59000 \text{ Па} = 59 \text{ Кпа}$$

Составляют уравнение Д.Бернулли для сечений 2-2 и 3-3 откуда:

$$p_2/\gamma + v_2^2/2g = p_3/\gamma + v_3^2/2g \quad (16)$$

$$p_2 = p_3 + \gamma/2g(v_3^2 - v_2^2), \quad (17)$$

$$P_2 = 0,1 \cdot 10^6 + 9790/(2 \cdot 9,87)(4,43^2 - 1,6^2) = 108700 \text{ Па} = 108,7 \text{ кПа}$$

Определяют объемный расход:

$$Q = v_1 S_1 = v_1 \pi d_1^2/4, \quad (18)$$

$$Q = 10 \cdot 3,14 \cdot 0,1^2/4 = 0,0786 \text{ м}^3/\text{с}.$$

2 Применяя уравнение Д.Бернулли

Найти параметры характеризующие движение- жидкости.

Из отверстия в боковой стенке сосуда по горизонтальной трубе переменного сечения (см.рис.выше) вытекает вода. Определить расход воды Q, а также средние скорости и давления в сечениях трубопровода 1-1, 2-2, 3-3, предполагая уровень . воды в сосуде постоянным и пренебрегая гидравлическими сопротивлениями, при # ' следующих данных: H=2м, d₁=7,5см, d₂=25см, d₃=10см.

3 Контрольные вопросы

- Написать уравнение Д.Бернулли для струйки идеальной жидкости и реального потока.
 - Знать физический и энергетический смысл каждого члена уравнения; Д.Бернулли.
 - Знать, как строится диаграмма уравнения Д.Бернулли.
- Оформить вывод.

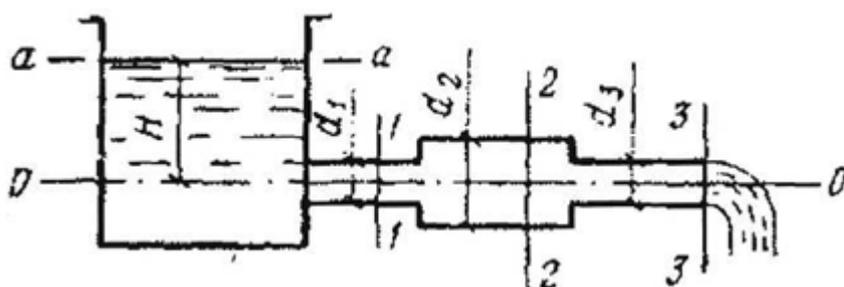
Практическое занятие № 3- Решение задач с применением уравнения Д.Бернулли

Цель занятия:

уметь применять уравнение Д.Бернулли для решения практических задач; ознакомиться с диаграммой уравнения Д.Бернулли.

1 Пример решения задачи

Из отверстия в боковой стенке открытого сосуда по горизонтальной трубе переменного сечения (см.рис.) вытекает вода. Определить, пренебрегая потерями напора, расход воды Q , а также средние скорости и гидродинамические давления в сечениях трубопроводов 1-1, 2-2, если уровень воды в сосуде постоянный ($H=1\text{м}$) и $d_1=0,1\text{м}$; $d_2=0,25\text{м}$; $d_3=0,15\text{м}$. истечение происходит в атмосферу.



Решение. Выбирают плоскость сравнения по оси трубы 0-0 и составляют уравнение Д.Бернулли для сечений а-а и 3-3:

$$H + p_a/\gamma + u_a^2/2g = p_a/\gamma + u_3^2/2g \quad (10)$$

Учитывая, что при постоянном уровне жидкости в сосуде $\chi_a=0$, находят среднюю скорость потока в сечении 3-3 и 2-2:

$$u_3 = \sqrt{2gH}, \quad (11)$$

$$u_3 = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 1} = 4$$

Используя уравнение неразрывности, находят средние скорости в сечении 1-1

$$u_1 = \frac{u_3 S_3}{S_1} = \frac{u_3 d_3^2}{d_1^2}, \quad (12)$$

$$u_1 = \frac{4,43 \cdot 0,15^2}{0,1^2} = 10 \text{ м/с}$$

$$u_2 = \frac{u_3 d_3^2}{d_2^2}, \quad (13)$$

$$u_2 = \frac{4,43 \cdot 0,15^2}{0,25^2} = 1,6 \text{ м/с}$$

Составляют уравнение Д.Бернулли для сечений 1-1 и 3-3:

$$p_1/\gamma + u_1^2/2g = p_a/\gamma + u_3^2/2g, \quad (14)$$

$$p_1 = p_a + \gamma/2g(u_3^2 - u_1^2), \quad (15)$$

$$0,1 \cdot 10^6 + 9190/(2 \cdot 9,81) \cdot (4,43^2 - 10^2) = 59000 \text{ Па} = 59 \text{ Кпа}$$

Составляют уравнение Д.Бернулли для сечений 2-2 и 3-3 откуда:

$$p_2/\gamma + u_2^2/2g = p_a/\gamma + u_3^2/2g \quad (16)$$

$$p_2 = p_a + \gamma/2g(u_3^2 - u_2^2), \quad (17)$$

$$P_2 = 0,1 \cdot 10^6 + 9790/(2 \cdot 9,87) (4,43^2 - 1,6^2) = 108700 \text{ Па} = 108,7 \text{ кПа}$$

Определяют объемный расход:

$$Q = u_1 S_1 = u_1 \pi d^2 / 4, \quad (18)$$

$$Q = 10 \cdot 3,14 \cdot 0,1^2 / 4 = 0,0786 \text{ м}^3/\text{с}.$$

Q

2 Диаграмма уравнения Бернулли является графическим представлением изменения различных слагаемых уравнения Бернулли по длине трубопровода. Диаграмма характеризует удельную механическую энергию потока и включает в себя три линии: линию полного напора, пьезометрическую линию и линию геометрического напора.

Линия полного напора характеризует полную удельную механическую энергию, то есть сумму кинетической и потенциальной энергий:

$$\frac{\alpha V_{cp}^2}{2g} + \frac{p - p_a}{\rho g} + z,$$

$$\frac{p - p_a}{\rho g}$$

при этом удельная потенциальная энергия давления $\frac{p - p_a}{\rho g}$ при построении диаграммы определяется не абсолютным давлением, а избыточным.

Пьезометрическая линия характеризует удельную потенциальную энергию потока и представляет сумму двух слагаемых

$$\frac{p - p_a}{\rho g} + z.$$

Геометрическая линия, или линия геометрического напора характеризует уклон трубопровода, т. е. изменение координаты z оси трубопровода.

На рис.47 приведена диаграмма Бернулли для трубы переменного сечения. В первом сечении (1-1) полная удельная механическая энергия характеризуется величиной O_1A_1 . По мере движения жидкости в трубе ее энергия расходуется, вследствие чего линия полного напора A_1A_2 всегда понижается. Если бы жидкость была невязкой, то полная удельная механическая энергия потока не менялась бы (линия A_1B) из-за отсутствия потерь. Расстояние между линиями полного напора A_1A_2 и

$$\frac{\alpha V_{cp}^2}{2g}$$

пьезометрической C_1C_2 равно $\frac{\alpha V_{cp}^2}{2g}$ и увеличивается по потоку, так как сечение трубы уменьшается, а это приводит к увеличению средней скорости и, следовательно, кинетической энергии. В сечении 2-2 полная удельная механическая энергия потока характеризуется величиной O_2A_2 и она меньше, чем полная энергия в сечении 1-1 на величину потерь h (A_2B).

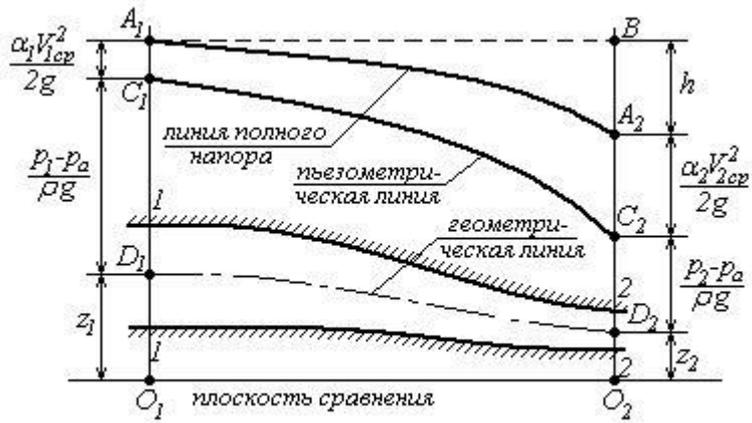


Рис. 47

Показанная на диаграмме

Бернулли линия геометрических напоров D_1D_2 характеризует изменение удельной потенциальной энергии положения z , являясь, по существу осью трубопровода.

3 Контрольные вопросы

- Написать уравнение Д.Бернулли для струйки идеальной жидкости и реального потока.
- Знать физический и энергетический смысл каждого члена уравнения; Д.Бернулли.
- Знать, как строится диаграмма уравнения Д.Бернулли.

4.Вывод.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА № 4

Тема: Указание на чертеже требуемой шероховатости поверхности

ЗАДАНИЕ: Указать на чертеже необходимую шероховатость поверхностей.

Методические указания к выполнению задания

Перед выполнением чертежа необходимо изучить задание (Приложение 1 и Приложение 2).

Работа выполняется в рабочей тетради с конспектами по данной дисциплине.

Согласно своему варианту выполнить по размерам изображение детали, на котором в последующем указать необходимую шероховатость поверхностей А, Б и все остальные (Таблица 1) (см. Эталон выполнения задания).

Образец выполнения задания

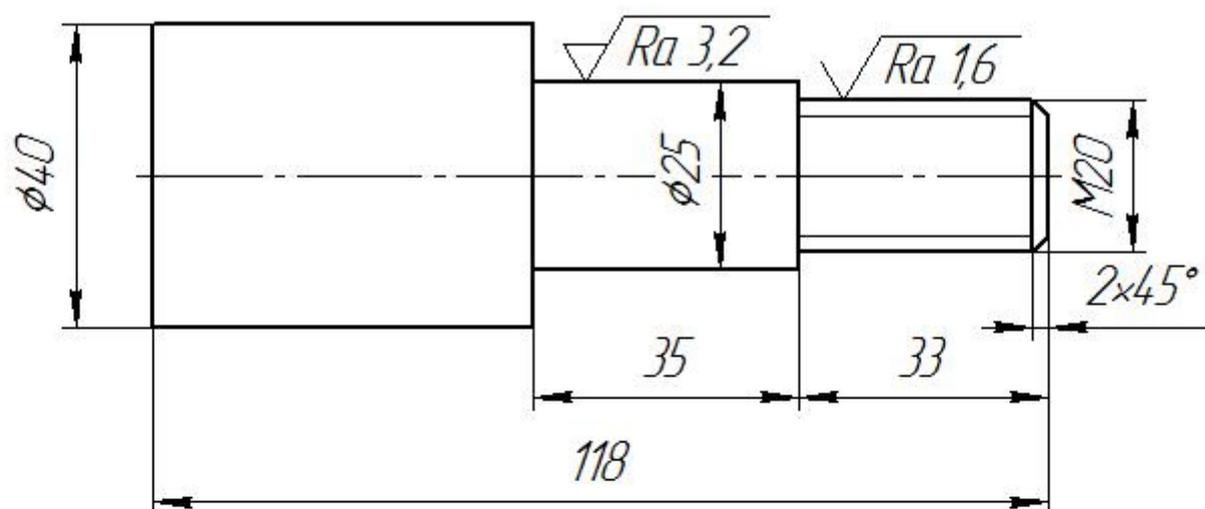
Вариант ХХ

Задание: Поверхность А – $Ra\ 3,2$ мкм со снятием
слоя материала;

Поверхность Б – $Ra\ 1,6$ мкм;

Все остальные поверхности – $Rz\ 50$ мкм

$\sqrt{Rz\ 50}$ ($\sqrt{\quad}$)



Приложение 1. Варианты заданий

Таблица 1

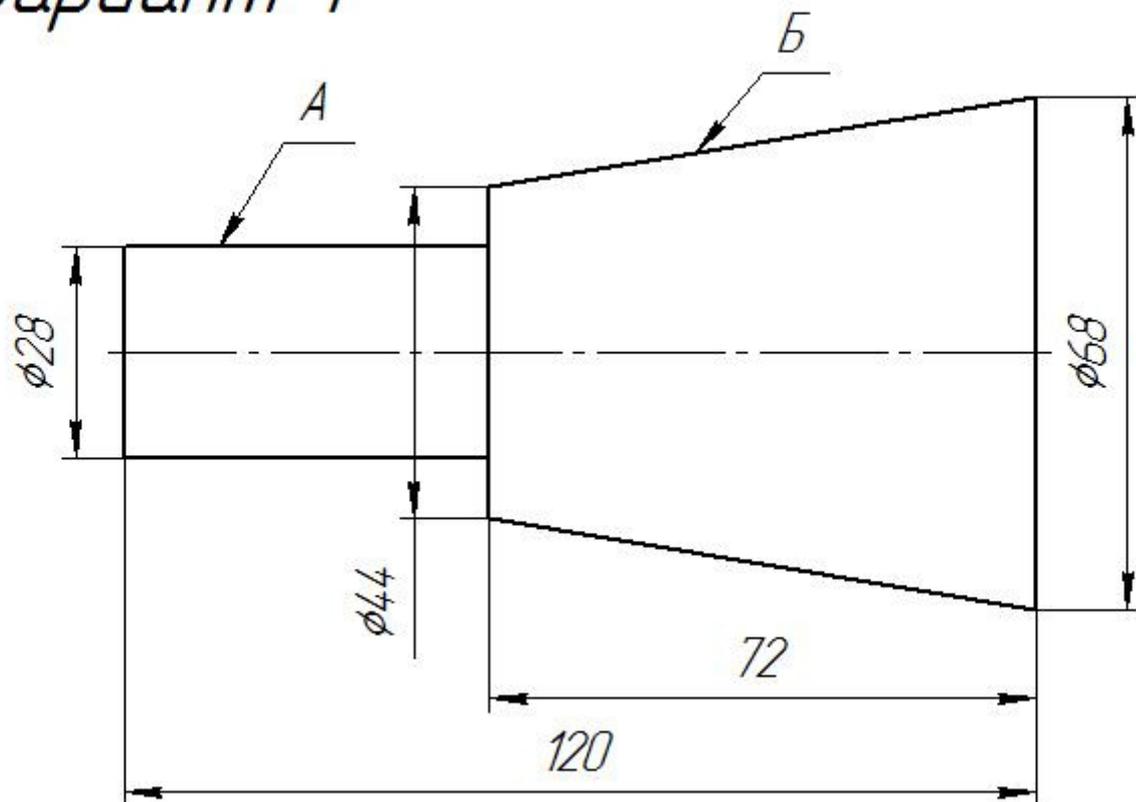
Вариант	Поверхность А	Поверхность Б	Все остальные поверхности
1	Ra 1,6 мкм	Ra 3,2 мкм	Ra 6,3 мкм (без указания способа обработки)
2	Rz 25 мкм	Rz 40 мкм	Rz 60 мкм (без указания способа обработки)
3	Ra 2,5 мкм	Ra 1,6 мкм	Rz 12,5 мкм (без указания способа обработки)
4	Rz 6,3 мкм	Rz 3,2 мкм	Rz 30 мкм (без указания способа обработки)
5	Rz 32 мкм	Rz 25 мкм	Rz 40 мкм (без указания способа обработки)
6	Ra 12,5 мкм	Ra 6,3 мкм	Ra 6,3 мкм (со снятием слоя материала)
7	Rz 25 мкм	Rz 12,5 мкм	Rz 80 мкм (со снятием слоя материала)
8	Rz 12,5 мкм	Rz 3,2 мкм	Rz 20 мкм (со снятием слоя материала)

9	Ra 0,125 мкм	Ra 0,25 мкм	Ra 0,50 мкм (со снятием слоя материала)
10	Ra 0,63 мкм	Ra 1,6 мкм	Ra 2,0 мкм (со снятием слоя материала)
11	Ra 50 мкм	Ra 25 мкм	Ra 100 мкм (без снятия слоя материала)
12	Ra 0,025 мкм	Ra 0,012 мкм	Ra 0,32 мкм (без снятия слоя материала)
13	Ra 0,32 мкм	Ra 0,20 мкм	Ra 1,6 мкм (без снятия слоя материала)
14	Ra 0,8 мкм	Ra 0,4 мкм	Ra 1,0 мкм (без снятия слоя материала)
15	Ra 0,16 мкм	Ra 0,2 мкм	Ra 0,32 мкм (без снятия слоя материала)
16	Rz 3,2 мкм	Rz 6,3 мкм	Rz 10 мкм (без указания способа обработки)
17	Rz 2,5 мкм	Rz 1,6 мкм	Rz 10 мкм (без указания способа обработки)
18	Rz 25 мкм	Rz 40 мкм	Rz 60 мкм (без указания способа обработки)

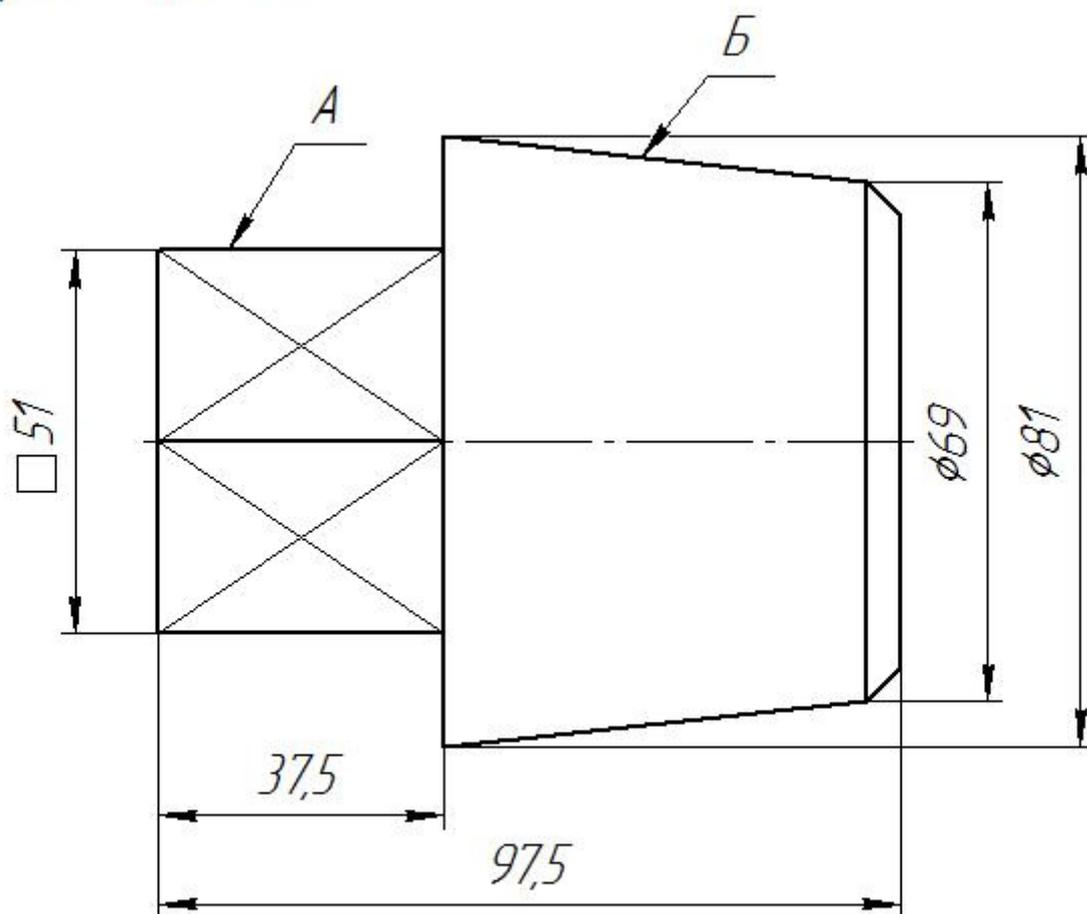
19	Rz 20 мкм	Rz 25 мкм	Rz 30 мкм (без указания способа обработки)
20	Ra 1,25 мкм	Rz 20 мкм	Rz 60 мкм (без указания способа обработки)
21	Ra 1,0 мкм	Rz 20 мкм	Rz 40 мкм (со снятием слоя материала)
22	Rz 40 мкм	Rz 25 мкм	Без обработки
23	Rz 40 мкм	Rz 80 мкм	Без обработки
24	Ra 2,0 мкм	Ra 3,2 мкм	Ra 20 мкм (со снятием слоя материала)
25	Rz 20 мкм	Rz 40 мкм	Без обработки
26	Rz 20 мкм	Rz 1,6 мкм	Rz 40 мкм (без снятия слоя материала)
27	Ra 1,25 мкм	Rz 20 мкм	Rz 60 мкм (без снятия слоя материала)
28	Rz 80 мкм		Без обработки
29	Ra 2,5 мкм	Rz 20 мкм	Без обработки
30	Ra 2,0 мкм	Rz 10 мкм	Rz 40 мкм (без снятия слоя материала)

Приложение 2. Варианты заданий

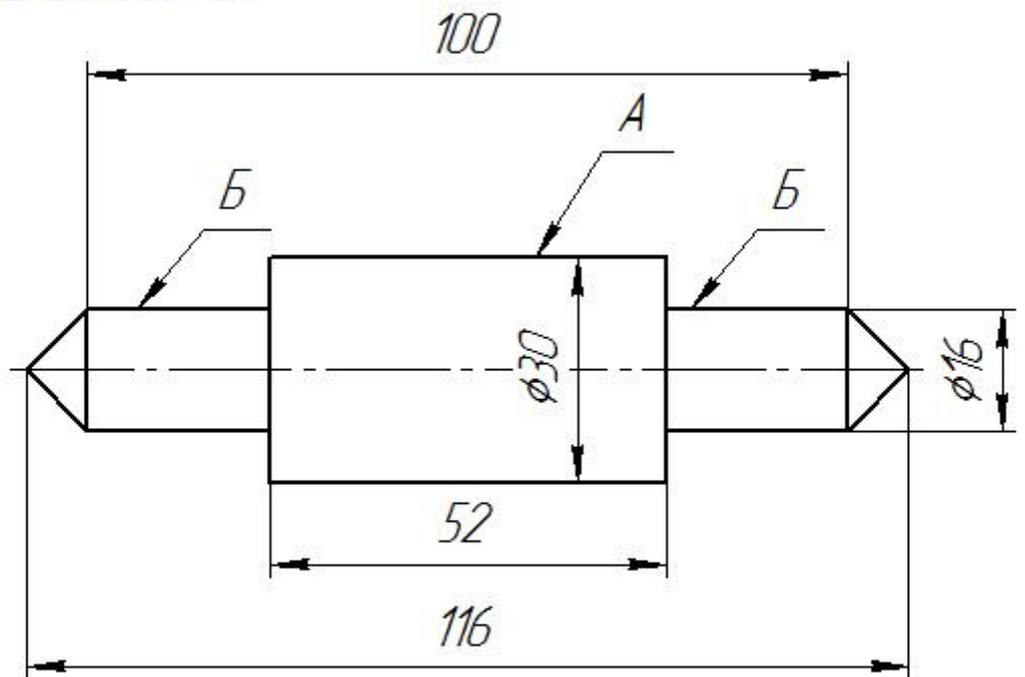
Вариант 1



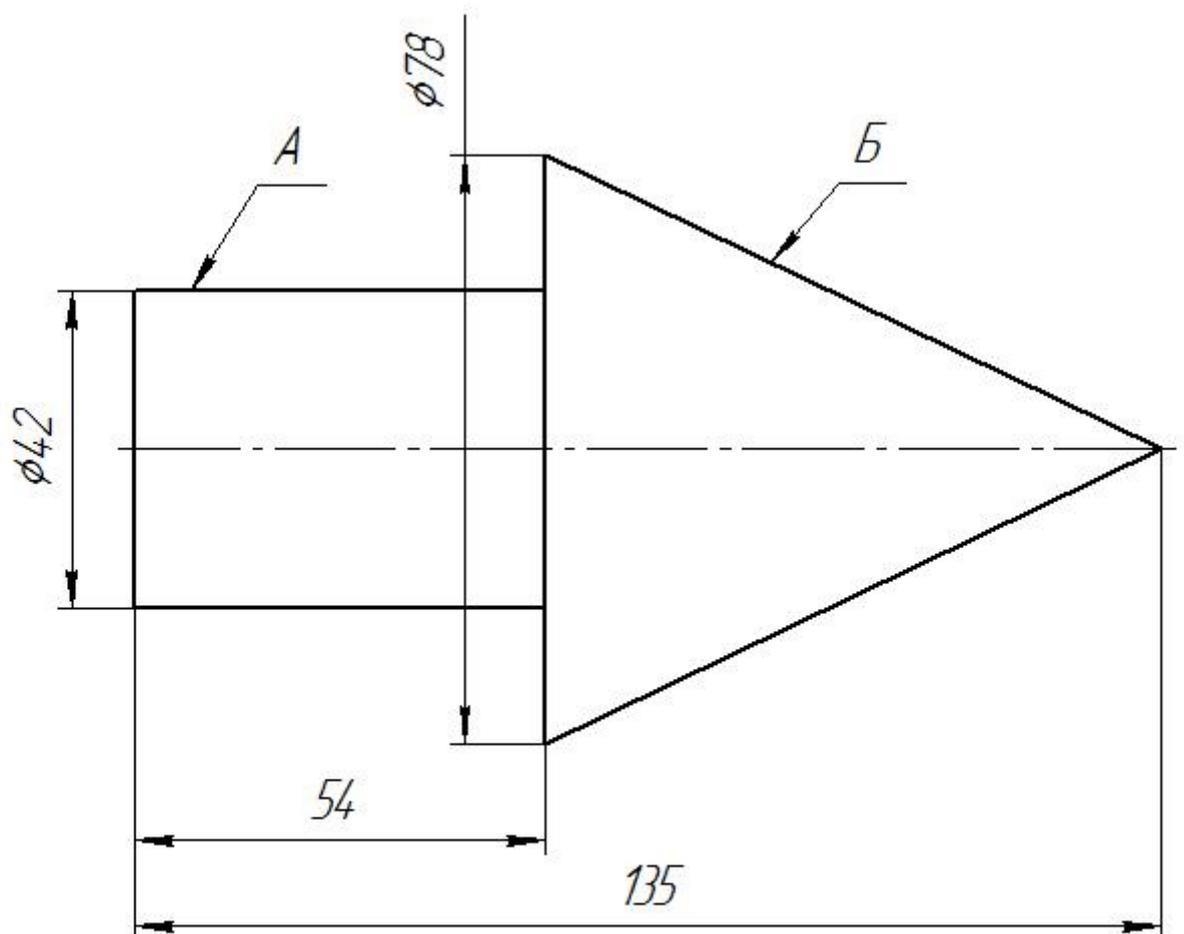
Вариант 2



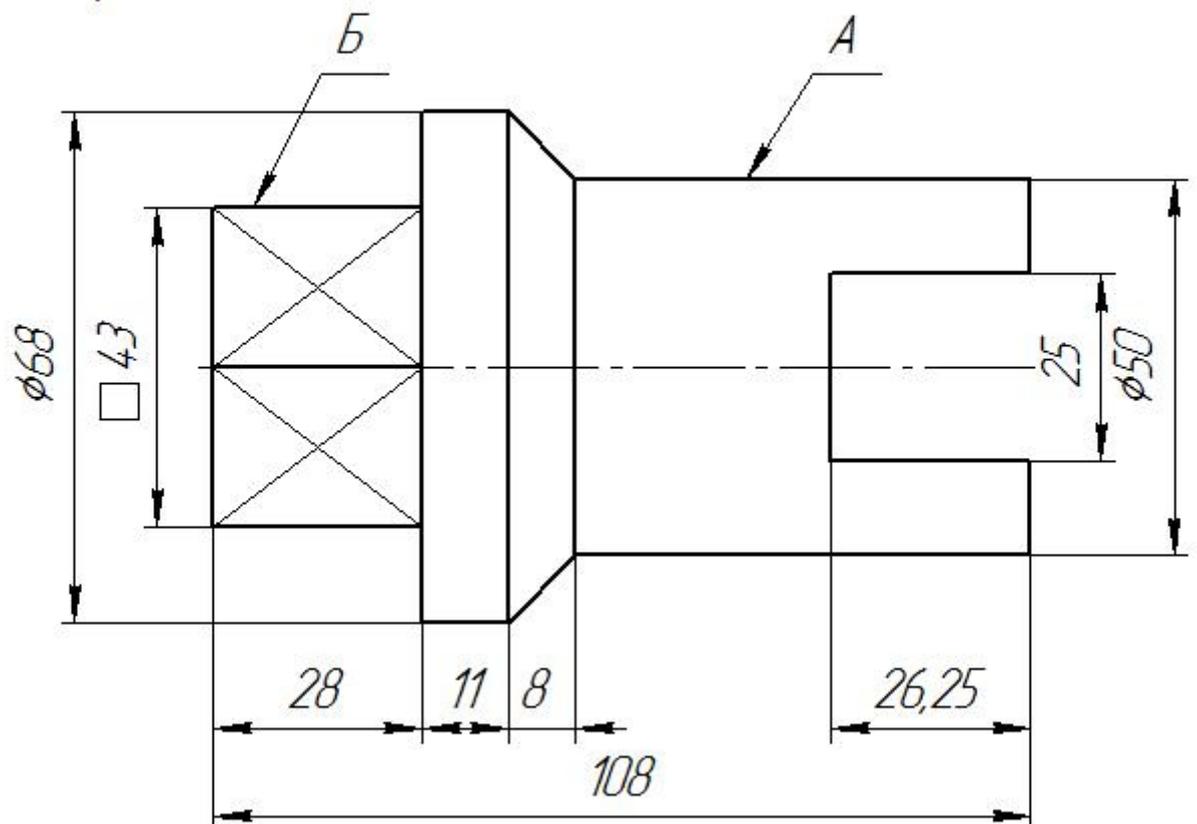
Вариант 3



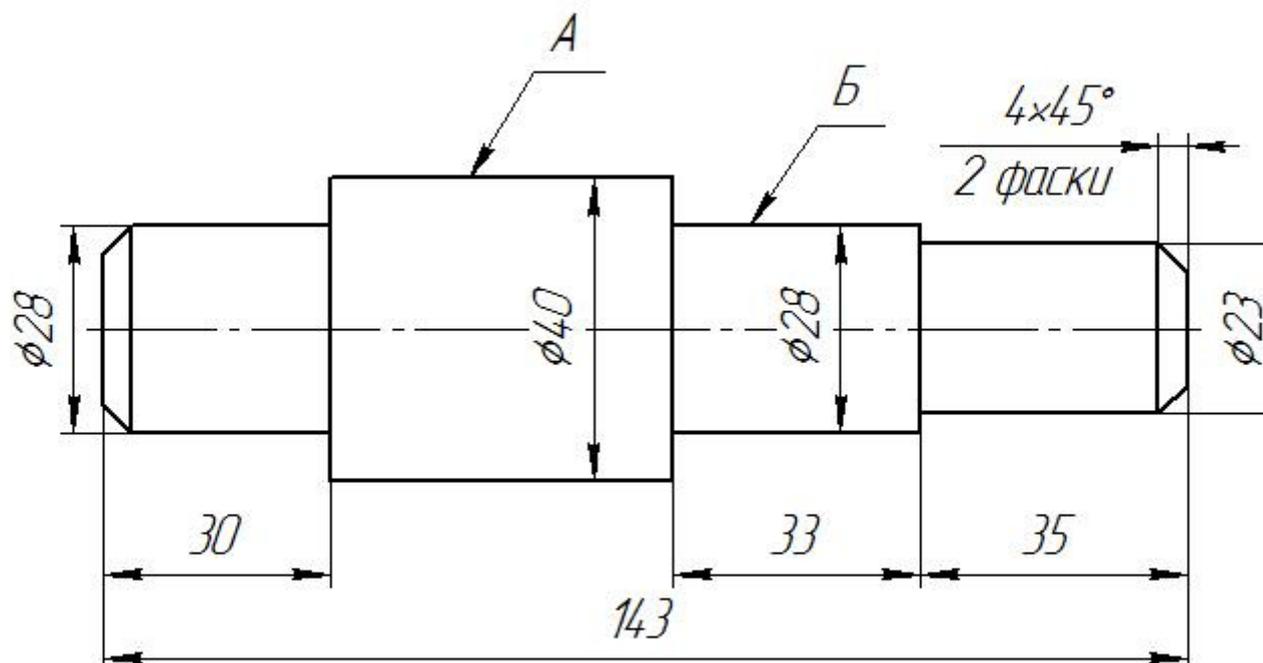
Вариант 4



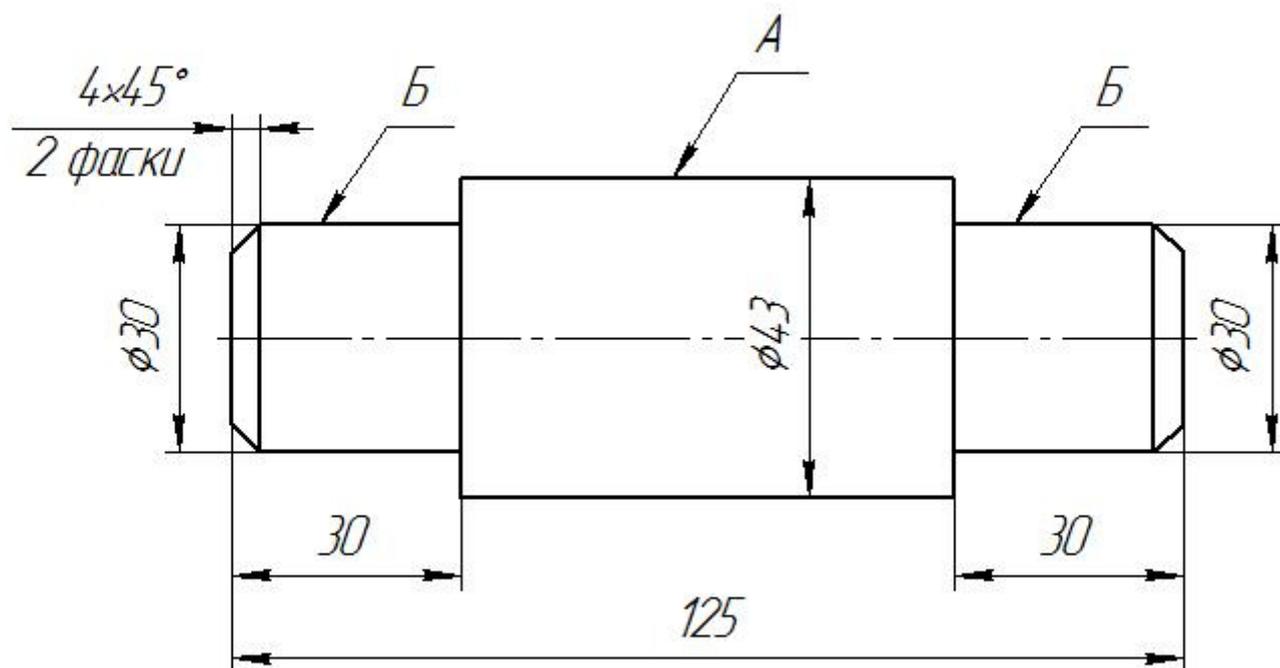
Вариант 5



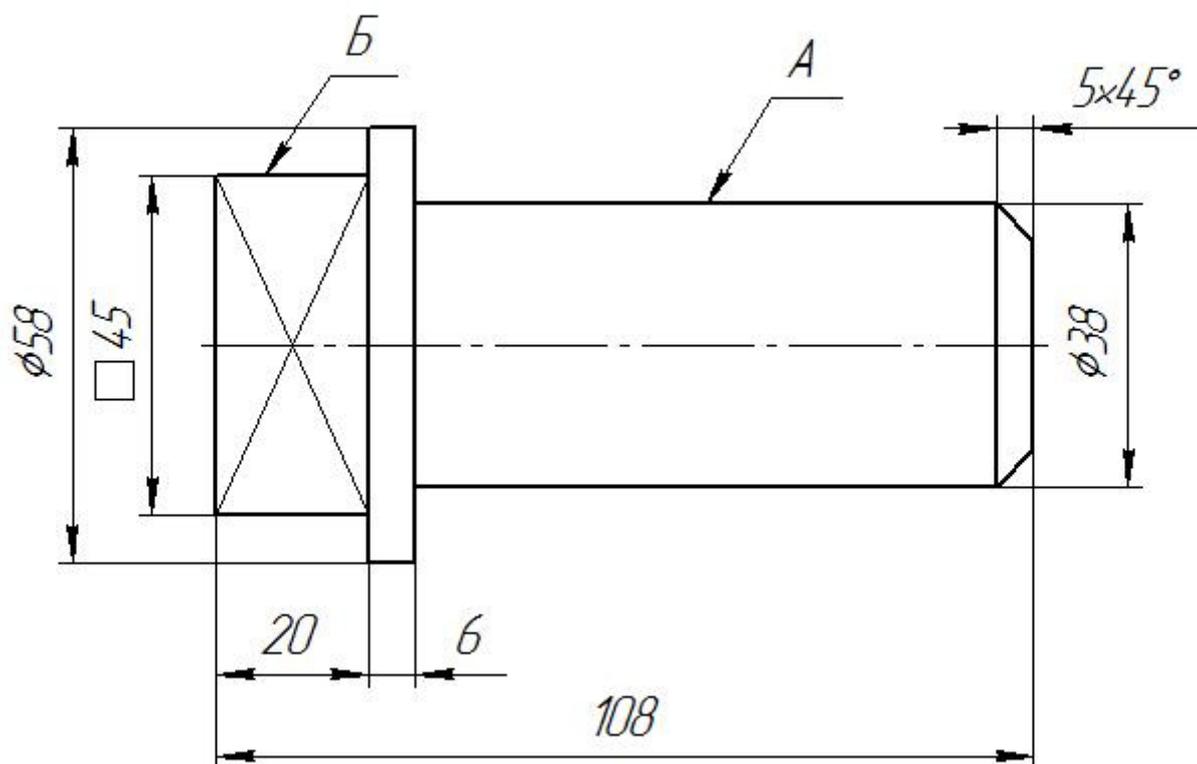
Вариант 6



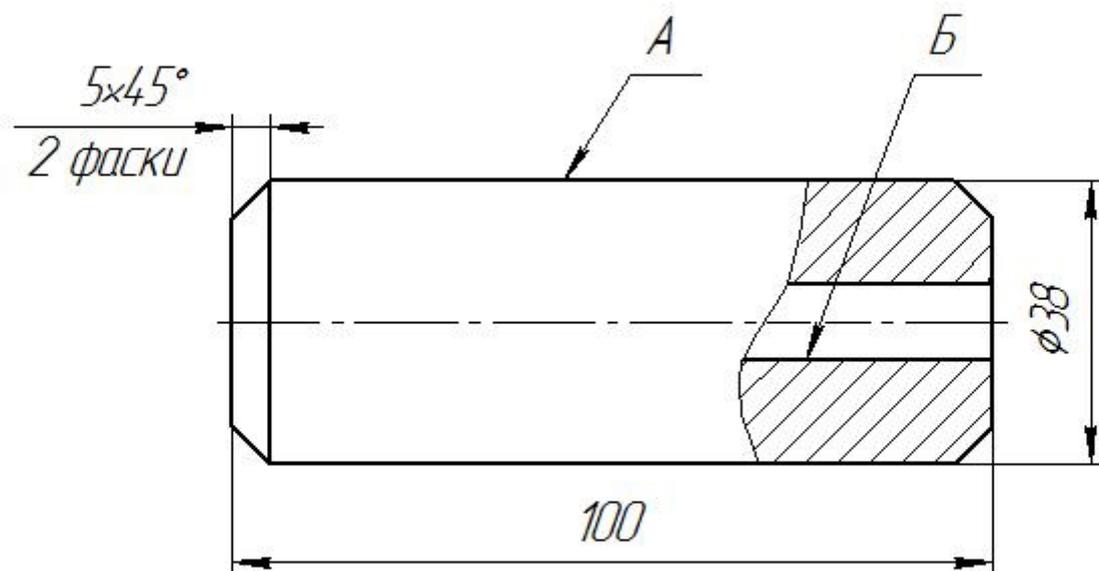
Вариант 7



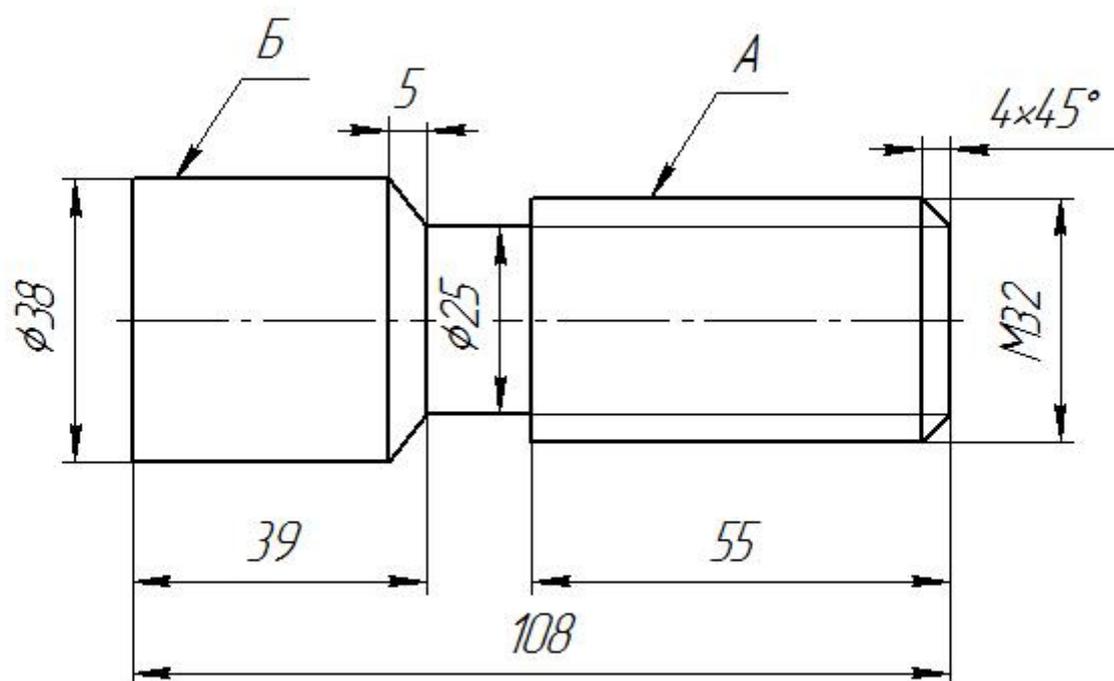
Вариант 8



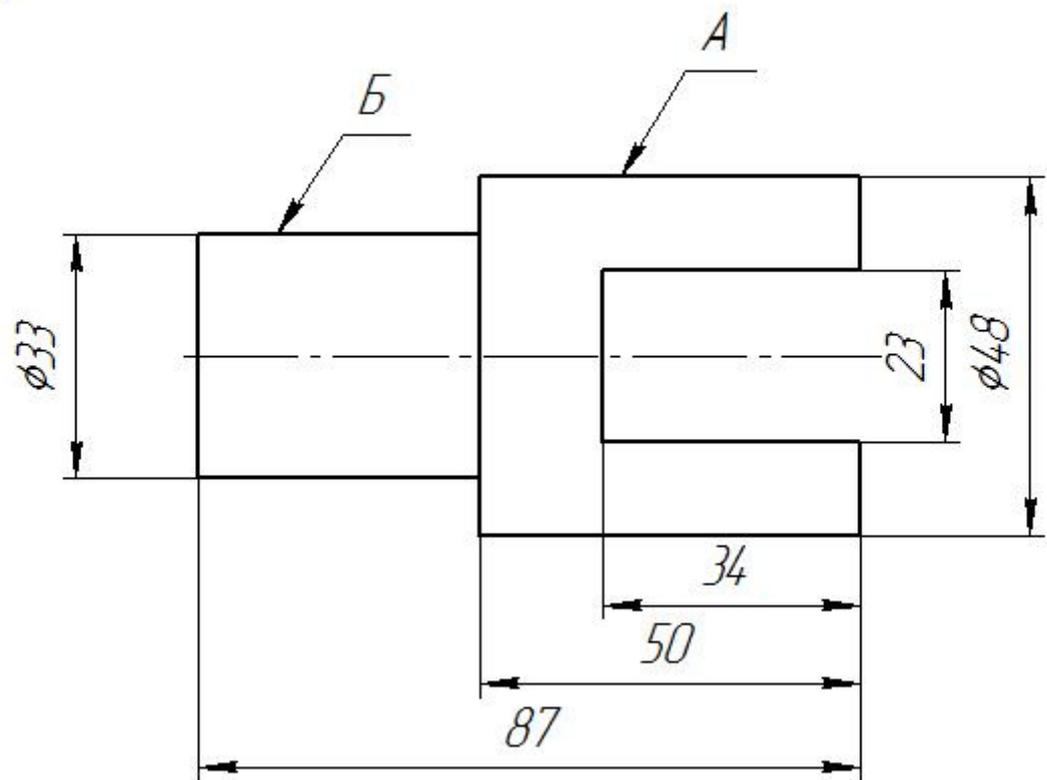
Вариант 9



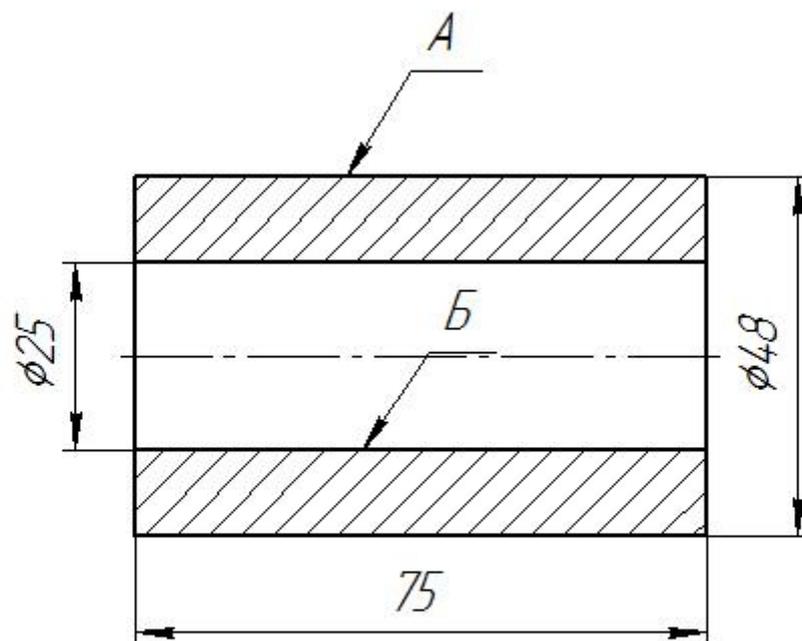
Вариант 10



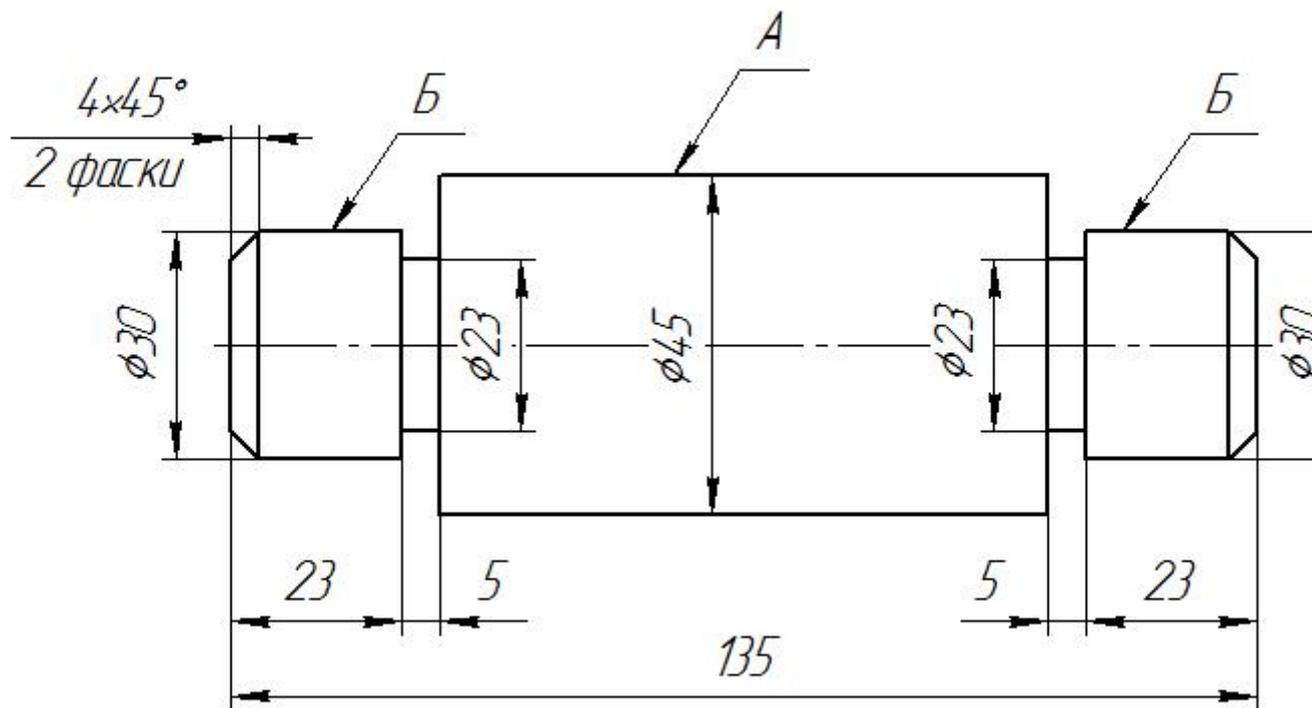
Вариант 11



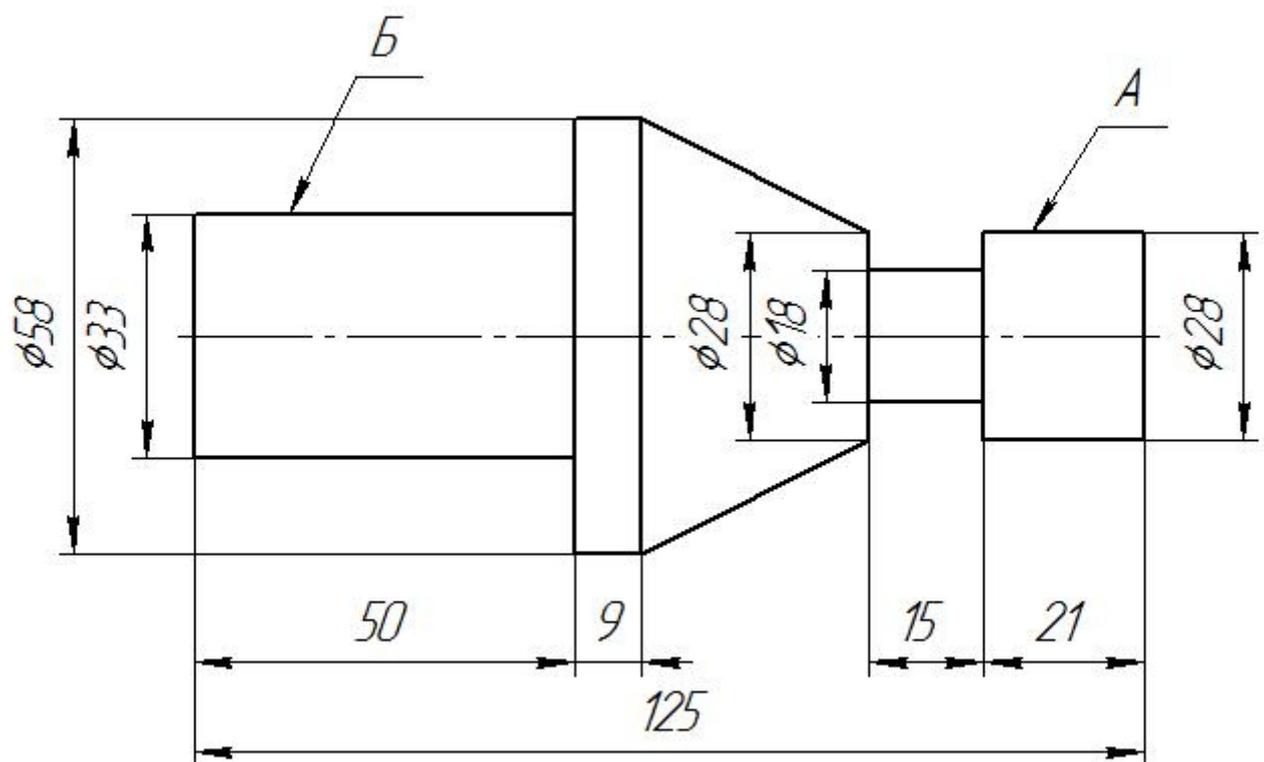
Вариант 12



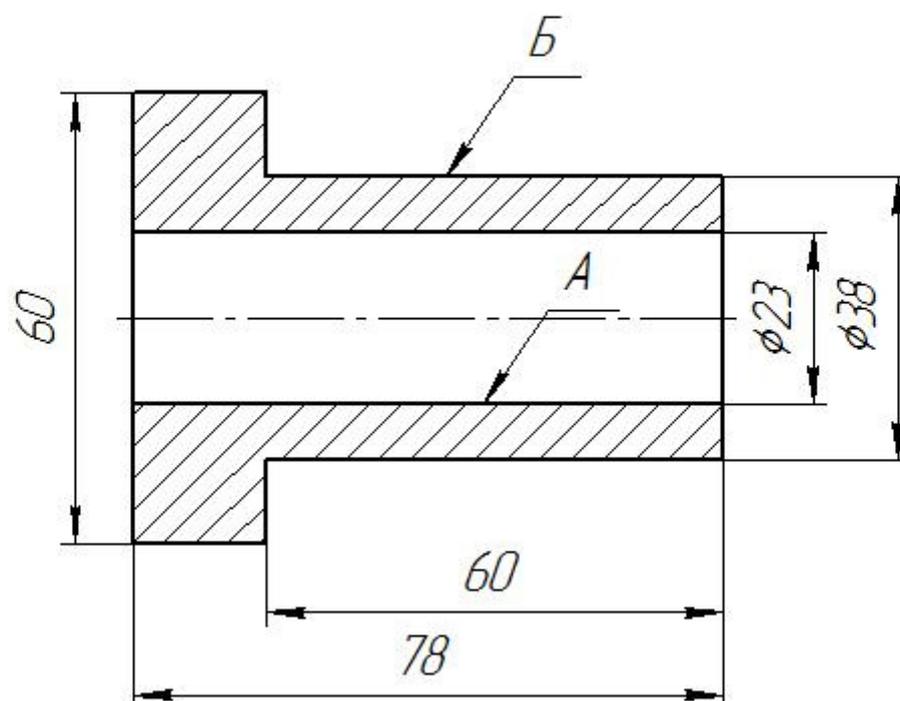
Вариант 13



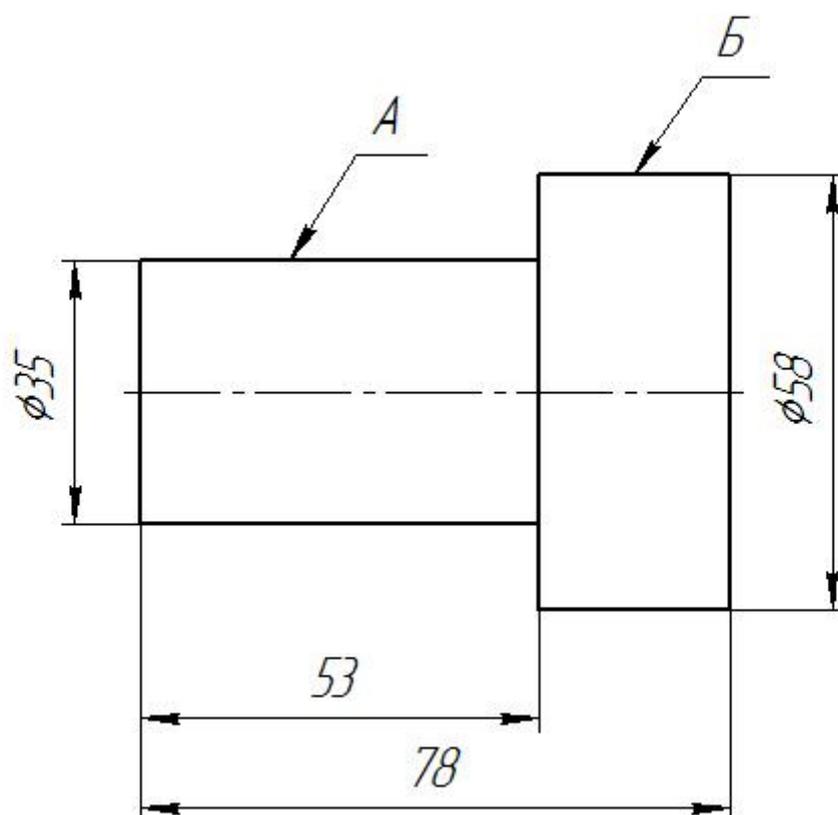
Вариант 14



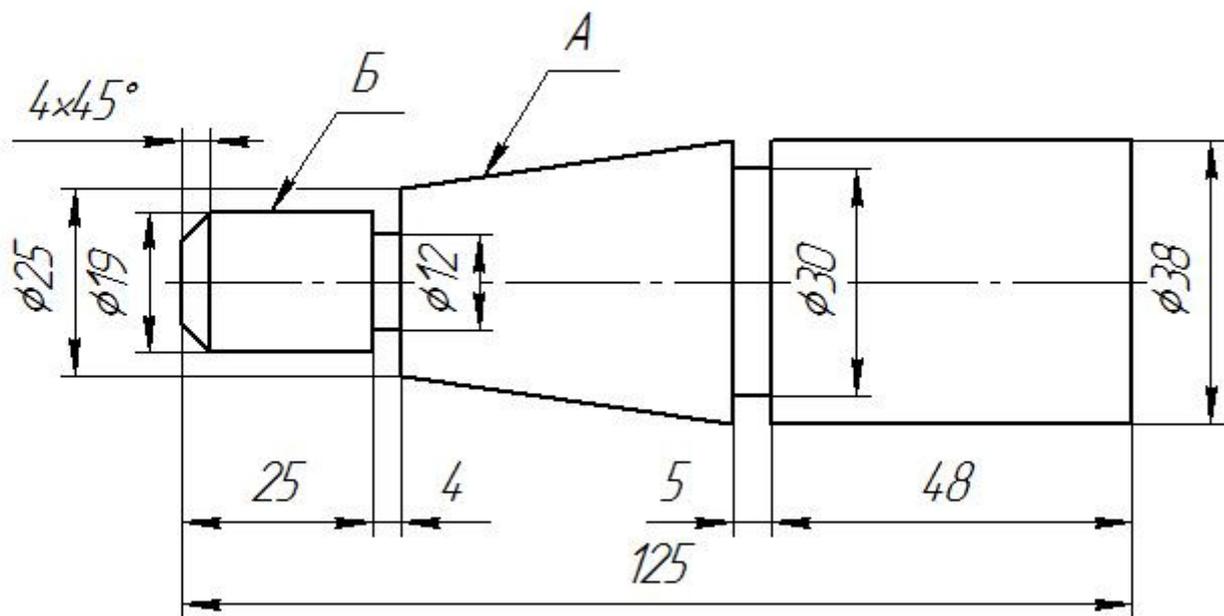
Вариант 15



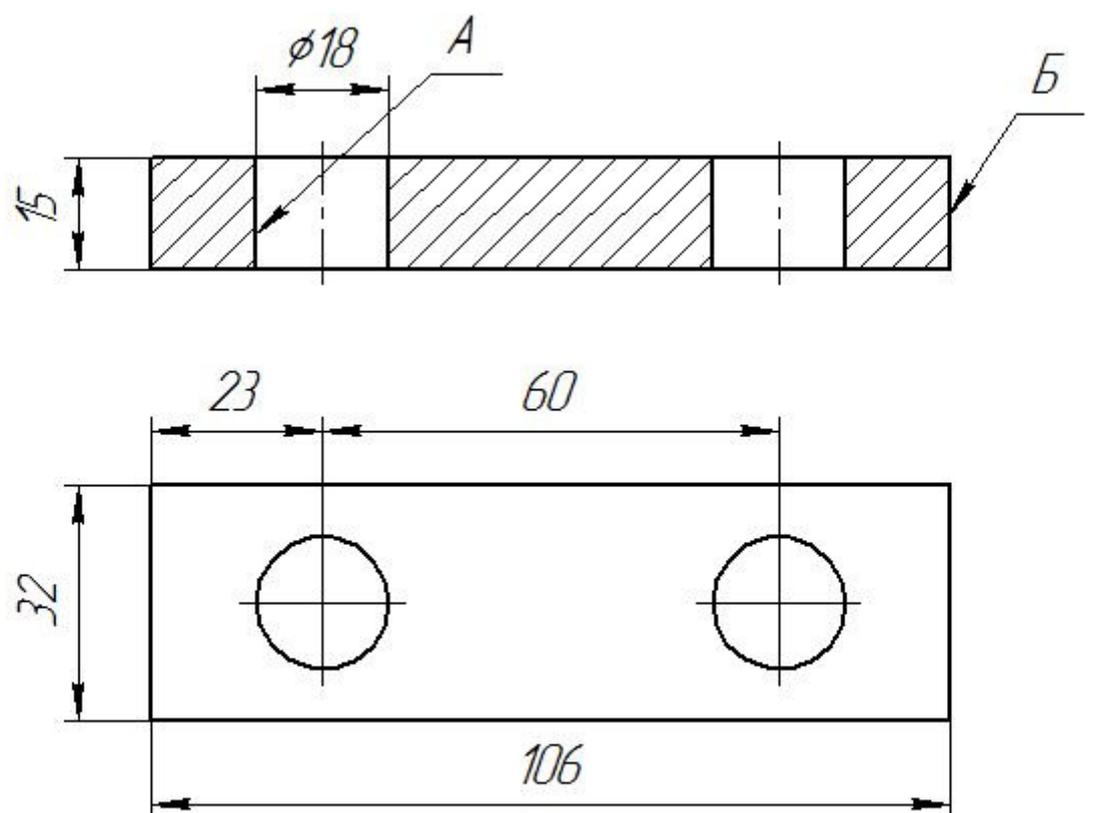
Вариант 16



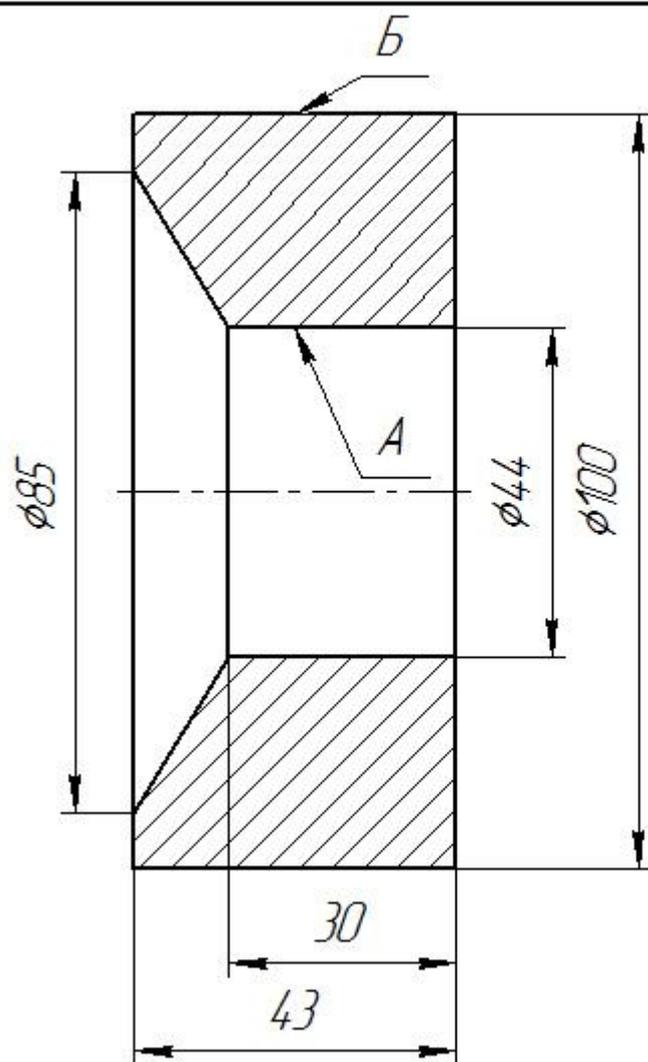
Вариант 17



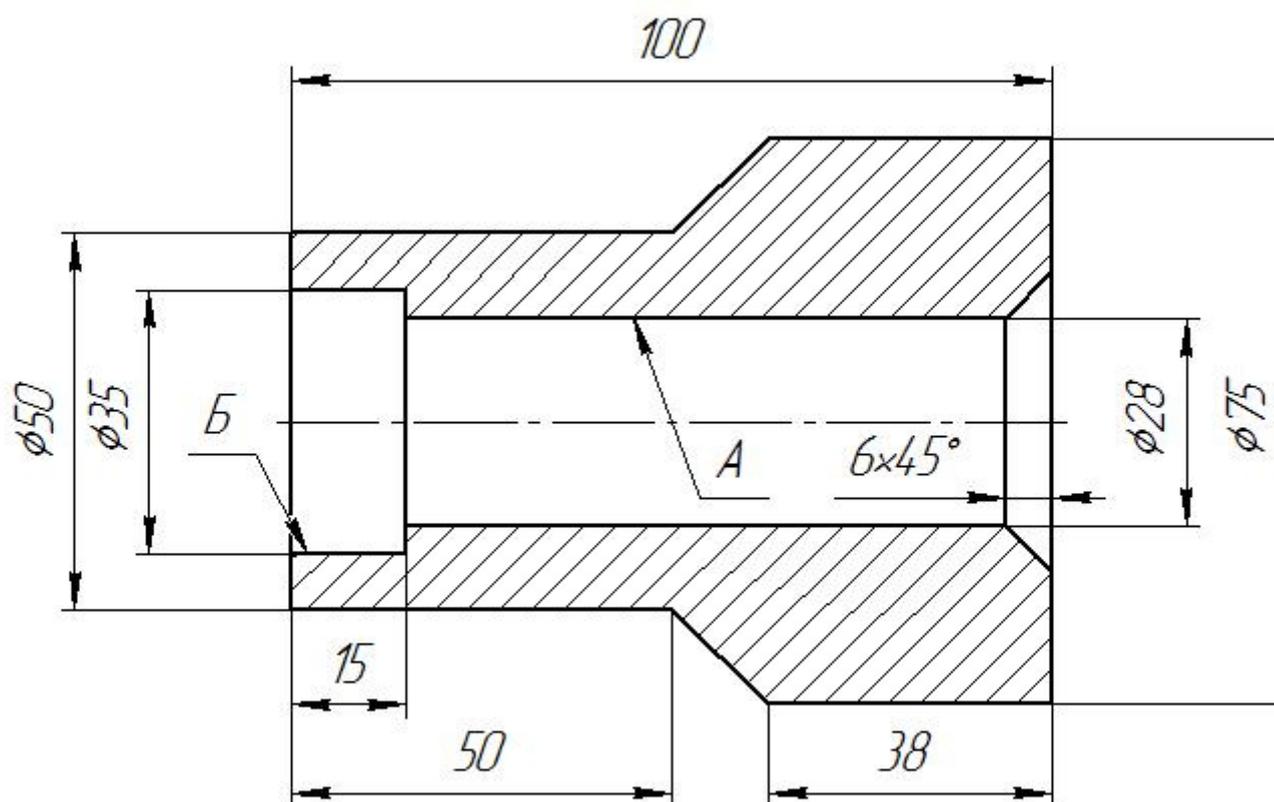
Вариант 18



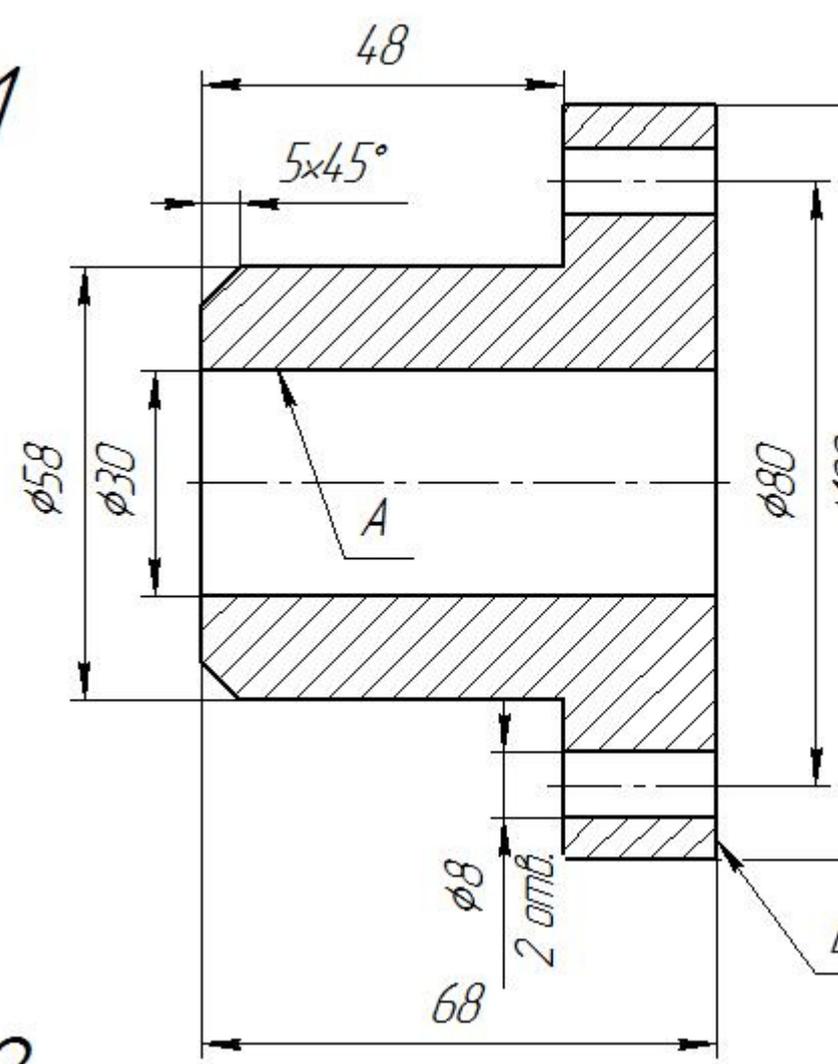
Вариант 19



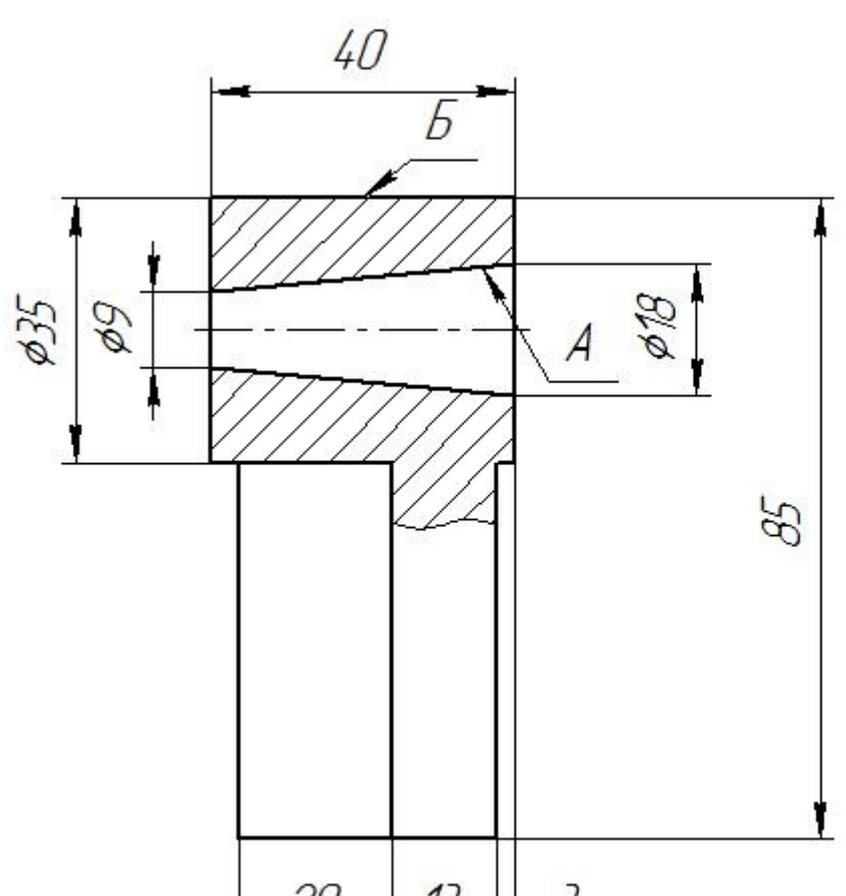
Вариант 20



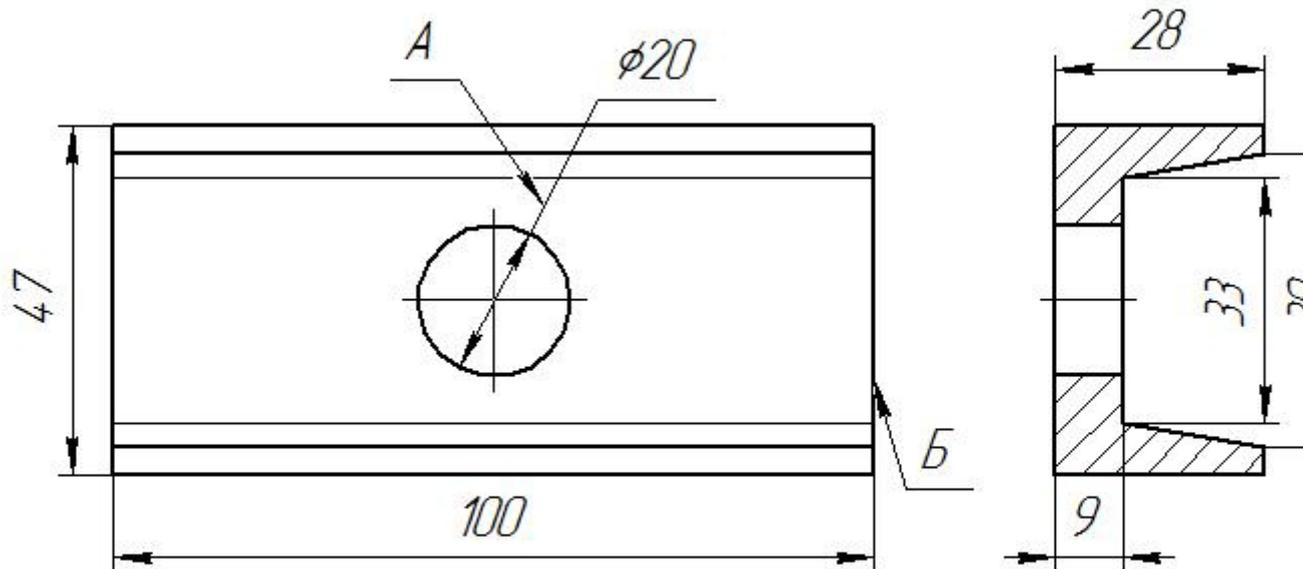
Вариант 21



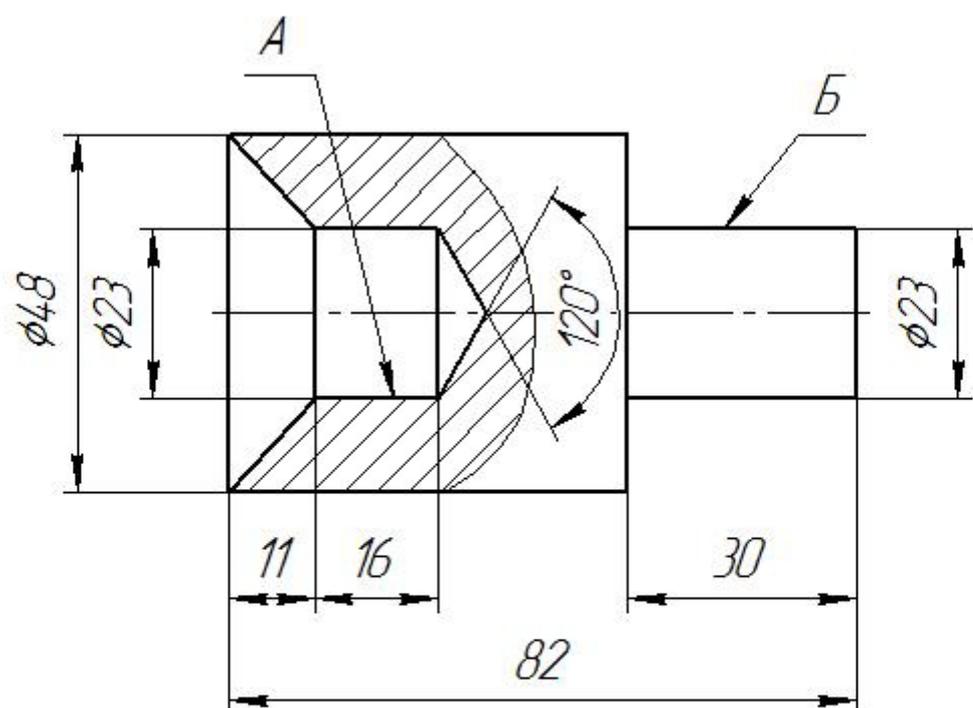
Вариант 22



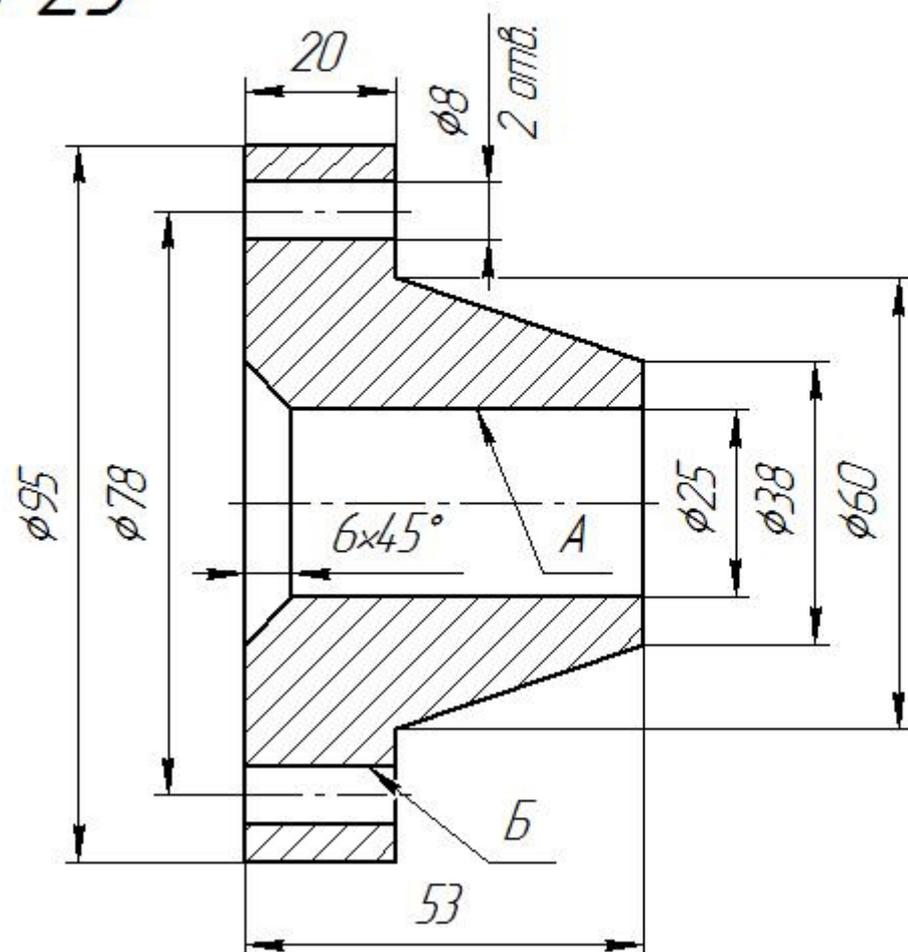
Вариант 23



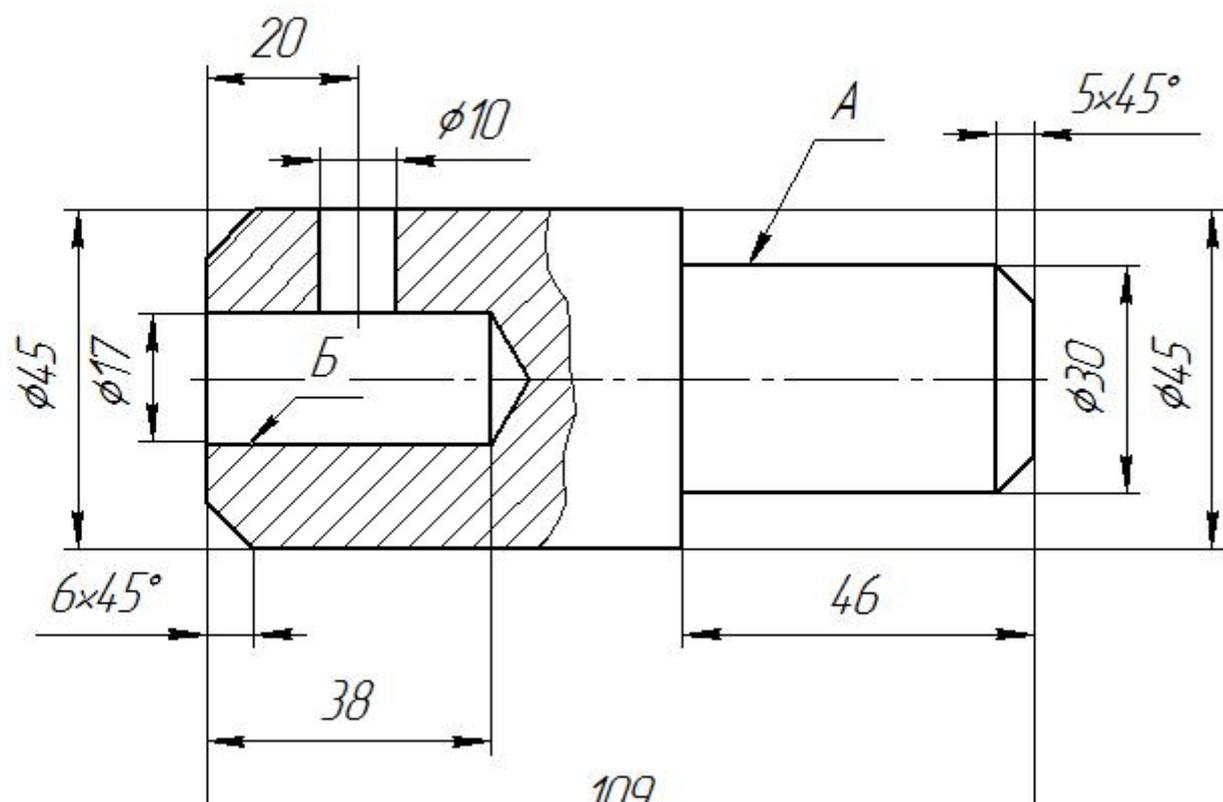
Вариант 24



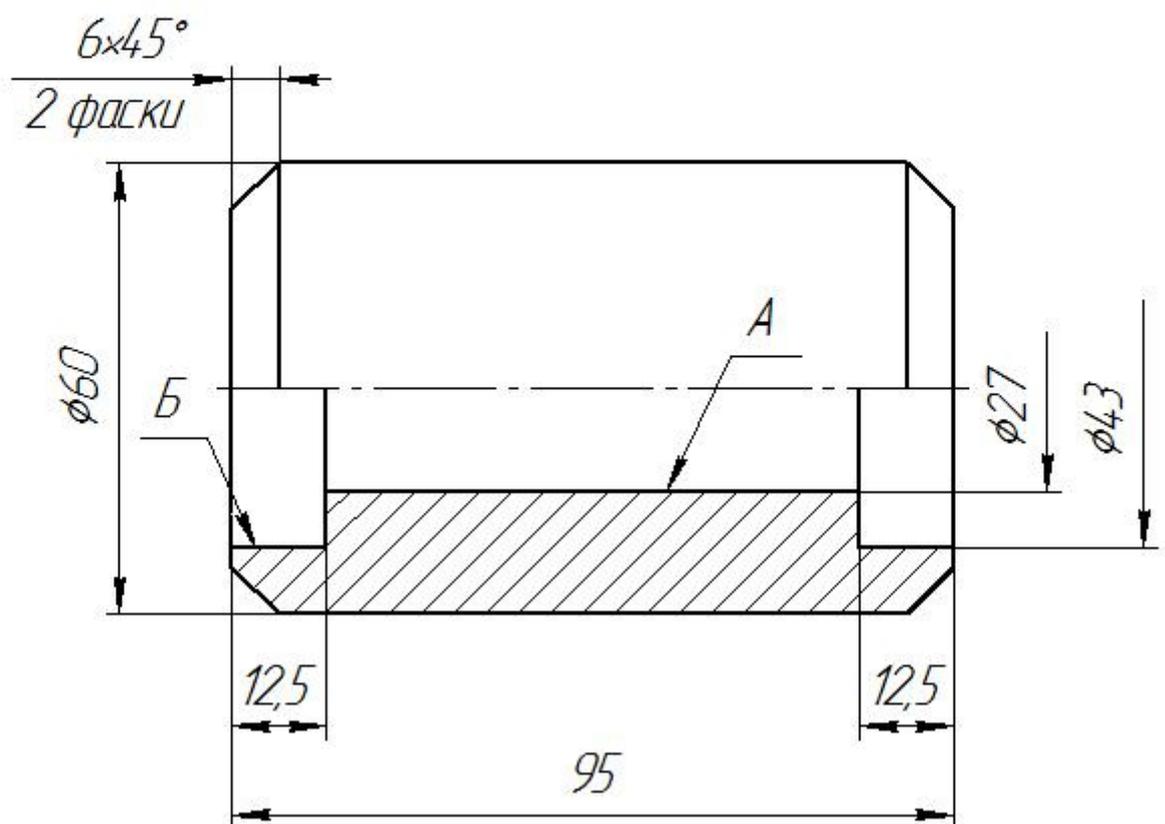
Вариант 25



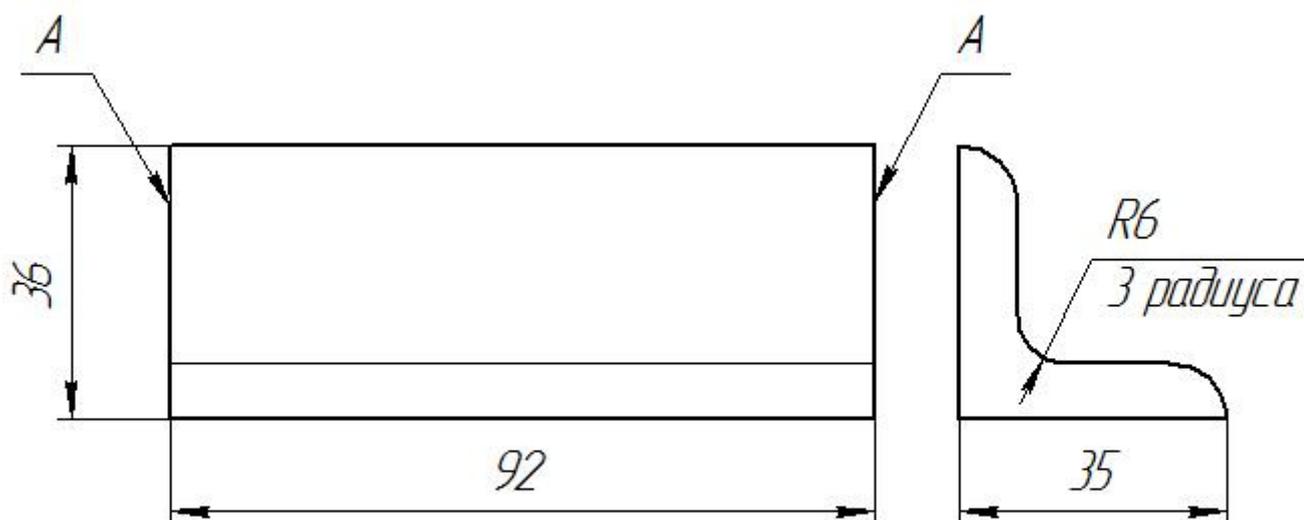
Вариант 26



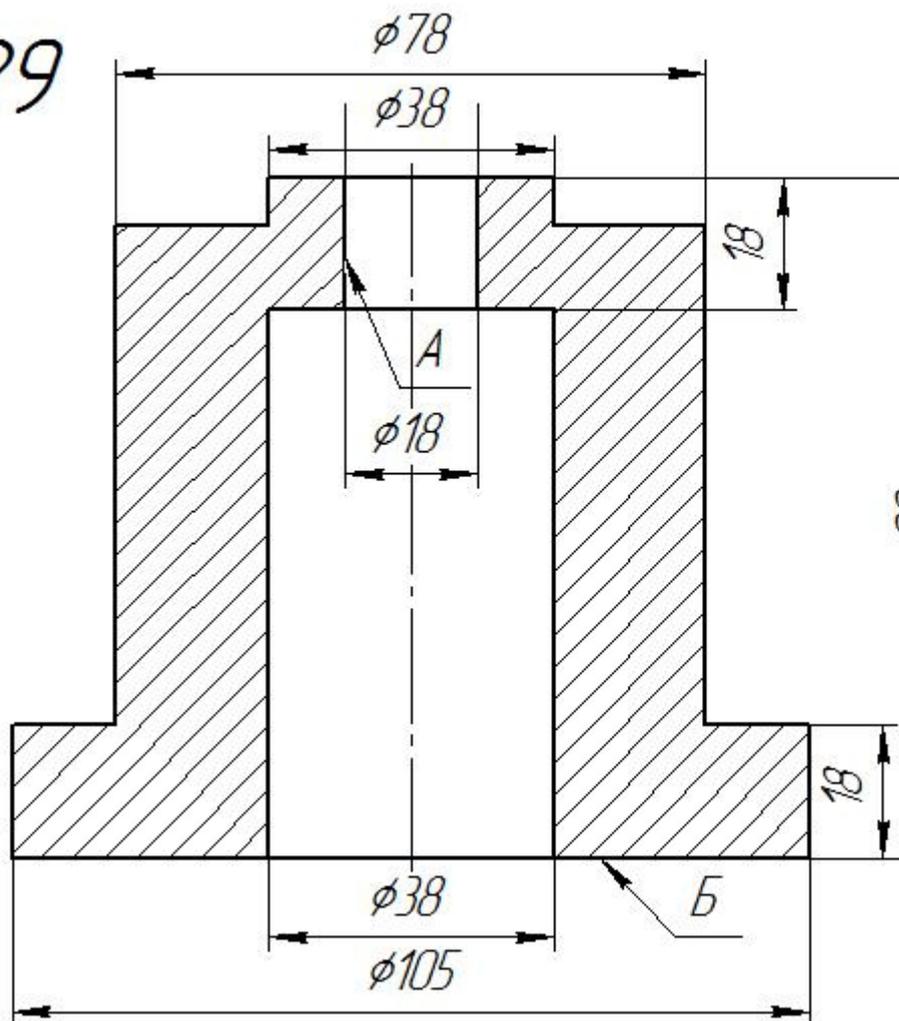
Вариант 27



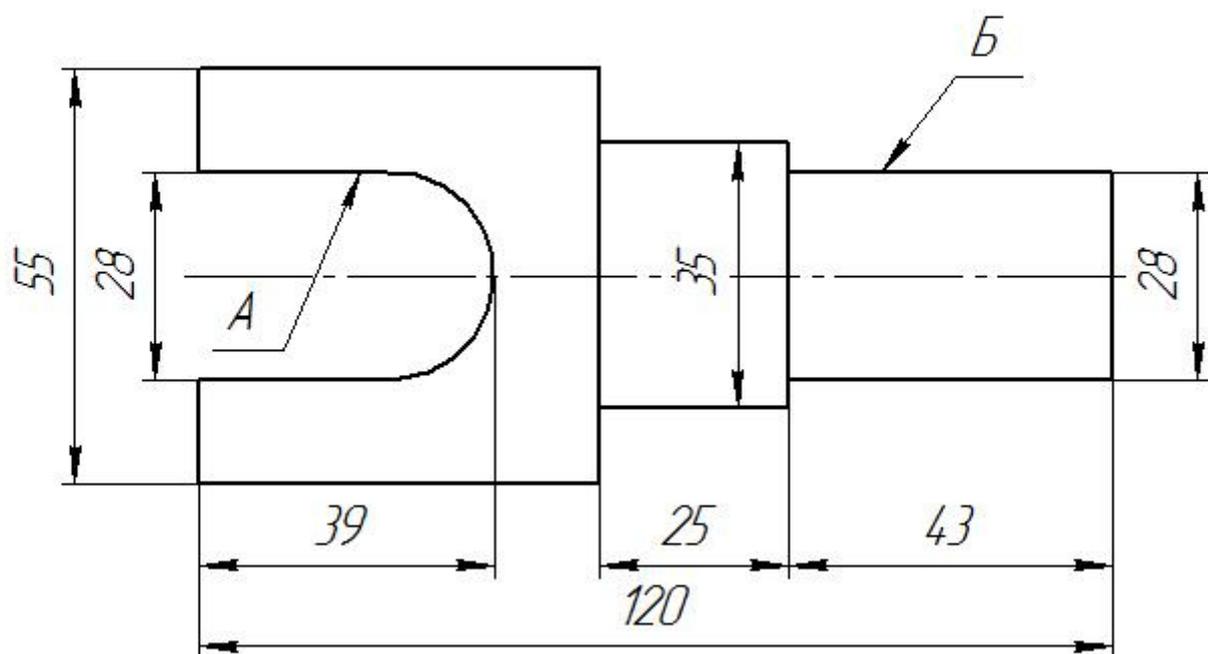
Вариант 28



Вариант 29



Вариант 30



ПРИЛОЖЕНИЕ 8

Физические характеристики воды на линии насыщения

$t, ^\circ\text{C}$	$p, \text{МПа}$	$c_p, \text{кДж/(кг}\cdot\text{К)}$	$\lambda \cdot 10^3, \text{Вт/(м}\cdot\text{К)}$	$\mu \cdot 10^6, \text{Н}\cdot\text{с/м}^2$	Pr	$\nu \cdot 10^6, \text{м}^2/\text{кг}$
0,01	0,00061	4,218	55,13	1786,5	13,67	1,0002
10	0,00123	4,193	57,56	1304,4	9,52	1,0004
20	0,00234	4,182	59,9	1003,5	7,02	1,0018
30	0,00424	4,178	61,8	800,7	5,42	1,0044
40	0,00738	4,179	63,4	652,7	4,31	1,0079
50	0,01234	4,181	64,8	548,8	3,54	1,0121
60	0,01992	4,184	65,9	469,4	2,98	1,0171
70	0,03117	4,189	66,8	405,7	2,55	1,0228
80	0,04736	4,196	67,5	354,8	2,21	1,0290
90	0,07011	4,205	68,0	314,6	1,95	1,0359
100	0,10132	4,217	68,3	282,2	1,75	1,0435
110	0,14326	4,230	68,5	258,7	1,60	1,0515
120	0,19854	4,245	68,6	237,6	1,47	1,0603
130	0,27011	4,264	68,6	217,6	1,36	1,0697
140	0,3614	4,286	68,5	200,9	1,26	1,0798
150	0,4760	4,311	68,4	186,2	1,17	1,0906
160	0,6180	4,346	68,3	173,5	1,10	1,1021
170	0,7920	4,372	67,9	162,7	1,04	1,1144
180	1,0027	4,409	67,5	152,9	1,00	1,1275
190	1,2553	4,451	67,0	144,1	0,96	1,1415
200	1,5551	4,498	66,3	136,2	0,93	1,1565
210	1,9080	4,552	65,5	130,3	0,91	1,1726
220	2,3201	4,614	64,5	124,5	0,89	1,1900
230	2,7979	4,686	63,7	119,6	0,88	1,2087
240	3,3480	4,769	62,8	114,7	0,87	1,2291
250	3,9776	4,866	61,8	108,8	0,86	1,2512
260	4,694	4,981	60,5	105,8	0,87	1,2755
270	5,505	5,118	59,0	101,9	0,88	1,3023
280	6,419	5,28	57,5	98,0	0,90	1,3321
290	7,445	5,49	55,8	94,1	0,93	1,3655
300	8,592	5,75	54,0	91,1	0,97	1,4036
310	9,870	6,10	52,3	88,2	1,03	1,447
320	11,290	6,56	50,6	85,3	1,11	1,499
330	12,865	7,21	48,4	81,3	1,22	1,562
340	14,608	8,16	45,7	77,4	1,39	1,639
350	16,537	9,80	43,0	72,5	1,60	1,741
360	18,674	13,98	39,5	66,6	2,35	1,894
370	21,053	40,32	33,7	56,8	6,79	2,22

Практическая работа №5

Тема: «Определение числа Рейнольдса, расчет потери напора в трубопроводах по длине»

Цель: Приобретение практических навыков решения задач на определение числа Рейнольдса, расчет потери напора в трубопроводах по длине.

1. Общие сведения

Гидравлические потери существенным образом зависят от того, как организовано движение жидкости в потоке, т.е. от режима движения жидкости.

Из физики известно, что существует два режима движения жидкости: ламинарный и турбулентный. Эти термины в науку ввел Д.И. Менделеев.

Слово «ламинарный» - от латинского «ламина», что означает «слой», т.е. ламинарный режим это слоистое течение без перемешивания частиц и пульсации скорости.

Слово «турбулентный» - от латинского «турбулус», означает беспорядочный, хаотичный, т.е. турбулентный режим движения жидкости сопровождается интенсивным перемешиванием жидкости, пульсациями скоростей и давлений.

Более полно режимы движения жидкости исследованы английским физиком Осборном Рейнольдсом.

Визуальное наблюдение за режимами движения жидкости и их количественная оценка были выполнены на установке (рис.1), представляющей собой резервуар 1, из которого жидкость по прозрачной трубе 2 с краном может вытекать в мерное устройство 3. над резервуаром помещен сосуд 4 с подкрашенной жидкостью, для подачи последней по капилляру в прозрачную трубу.

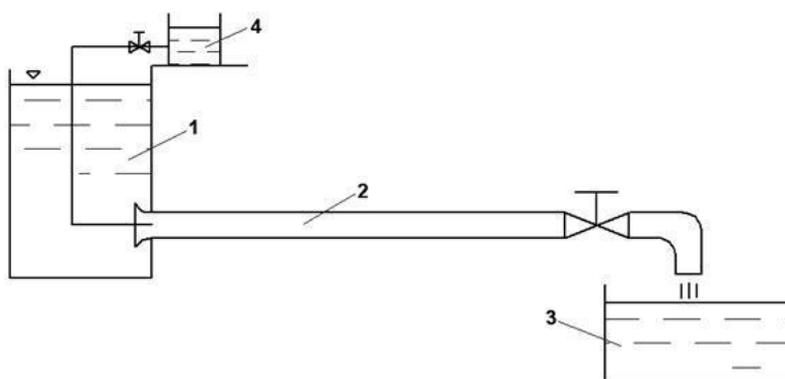


Рисунок 1

Рейнольдс установил факторы, влияющие на режим движения жидкости: скорость, диаметр трубки, плотность и вязкость жидкости, на основании чего ему удалось определить критерий (критерий Рейнольдса), по которому можно судить о режиме движения жидкости:

$$Re = \frac{Vd\rho}{\mu} \text{ или } Re = \frac{Vd}{\nu} \quad (1)$$



Рисунок 2

Возьмем ось чисел Рейнольдса (рис. 2) и повторим его опыты сначала в сторону увеличения этих чисел, одновременно визуально наблюдая за режимами движения жидкости. При достижении так называемого верхнего критического числа $Re_{кр}^B$ режим ламинарный перейдет в турбулентный. В зависимости от условий эксперимента это число может лежать в довольно больших пределах: от $4 \cdot 10^3$ до $(40 \dots 50) \cdot 10^3$. После этого числа режим становится турбулентным устойчивым.

Затем повторим опыт в сторону уменьшения чисел Рейнольдса. В этом случае турбулентный режим перейдет в ламинарный при достижении так называемого нижнего критического числа $Re_{кр}^H$. Оно окажется равным 2320. Ниже этого числа режим всегда будет ламинарный устойчивый. Нижнее критическое число принимают вообще за критическое число. в гидравлических расчетах при получении $Re \geq 2320$ - турбулентным.

Физический смысл этого критерия заключается в том, что он показывает отношение сил инерции к силам трения. Число Рейнольдса может быть подсчитано для потоков любого геометрического сечения, в том числе для круглого по гидравлическому радиусу, или по другому характерному размеру, например, по зазору в сопрягаемых деталях.

Задание:

1. Изучите установку для проведения опыта по определению режима движения жидкости.
2. Используя изученные формулы, решите следующие задачи:

	на оценку «3»	на оценку «4»	на оценку «5»
Номер задачи	1	1,2	1,2,3

1. Для целей горячего водоснабжения к потребителям подается вода в количестве $V = (200 + \text{вариант}) \text{ м}^3/\text{ч}$ при температуре $t = (70 + \text{вариант})^\circ\text{C}$. Длина трубопровода $l = (1000 + \text{вариант}) \text{ м}$, внутренний диаметр $d_{\text{в}} = (259 + \text{вариант}) \text{ мм}$, давление воды в начале линии $p_1 = 5 \text{ кгс}/\text{см}^2$. Отметка оси трубопровода в конечной точке на 2 м выше начальной. Определить полный напор и давление в начале и конце трубопровода, если шероховатость труб $k = 5 \cdot 10^{-4} \text{ м}$, а потеря напора в местных сопротивлениях равна 10% линейных потерь.
 2. По трубопроводу с внутренним диаметром $d_{\text{в}} = (150 + \text{вариант}) \text{ мм}$ протекает пар с давлением $p_{\text{абс}} = (100 + \text{вариант}) \text{ кгс}/\text{см}^2$ и температурой $t = (150 + \text{вариант})^\circ\text{C}$. Скорость пара $v = (40 - \text{вариант}) \text{ м}/\text{с}$. Определить часовой расход пара и критерий Рейнольдса.
 3. Определить потерю напора в прямом трубопроводе длиной $l = 1000 \text{ м}$, по которому прокачивается нефтепродукт с плотностью $\rho = (900 + \text{вариант}) \text{ кг}/\text{м}^3$ в количестве $V = (31,4 + \text{вариант}) \text{ л}/\text{с}$. Внутренний диаметр трубопровода $d_{\text{в}} = (200 + \text{вариант}) \text{ мм}$, коэффициент гидравлического сопротивления $\lambda = 0,04$.
1. **Пример решения задачи:** Для целей горячего водоснабжения к потребителям подается вода в количестве $V = 200 \text{ м}^3/\text{ч}$ при температуре $t = 70^\circ\text{C}$. Длина трубопровода $l = 1000 \text{ м}$, внутренний диаметр $d_{\text{в}} = 259 \text{ мм}$, давление воды в начале линии $p_1 = 5 \text{ кгс}/\text{см}^2$. Отметка оси трубопровода в конечной точке на 2 м выше начальной. Определить полный напор и давление в начале и конце трубопровода, если шероховатость труб $k = 5 \cdot 10^{-4} \text{ м}$, а потеря напора в местных сопротивлениях равна 10% линейных потерь.

Решение. Полный напор в начальной точке определяется по уравнению Бернулли

$$H_1 = z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g}.$$

Напор в конце трубопровода

$$H_2 = H_1 - h_{\text{пот.}}$$

Потери напора определим по уравнению (1-33)

$$h_{\text{пот}} = h_{\text{л}} + h_{\text{м}} = 1,1h_{\text{л}} = 1,1\lambda_{\text{тр}} \frac{l}{d} \frac{v^2}{2} \rho.$$

Определим характер движения жидкости в трубопроводе

$$v_{\text{пред}} = 568 \frac{v}{k}.$$

При $t = 70^\circ\text{C}$ коэффициент кинематической вязкости

$$\nu = 0,416 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с};$$

$$v_{\text{пред}} = 568 \cdot \frac{0,416 \cdot 10^{-6}}{5 \cdot 10^{-4}} = 0,472 \text{ м/с}.$$

Скорость воды в трубопроводе

$$v = \frac{4V}{3600\pi d^2} = \frac{4 \cdot 200}{3600 \cdot 3,14 \cdot 0,259^2} = 1,055 \text{ м/с}.$$

28

Так как $v > v_{\text{пред}}$, то $\lambda_{\text{тр}}$ следует определять по формуле Шифринсона (1-46)

$$\lambda_{\text{тр}} = 0,11 \left(\frac{k}{d} \right)^{0,25} = 0,11 \left(\frac{0,0005}{0,259} \right)^{0,25} = 0,024.$$

Наконец найдем потери напора по формуле (1-40) при условии $t_{\text{в}} = 70^\circ\text{C}$ ($\rho_{\text{в}} = 977,81 \text{ кг/м}^3$) с учетом местных потерь, которые по условию задачи составляют 0,1 линейных

$$h_{\text{пот}} = 1,1 \cdot 0,024 \frac{1000 \cdot 1,055^2}{0,259} \frac{1}{2} 977,81 = 64534,8 \text{ Па}.$$

Если принять за начало отсчета $z_1 = 0$,

то

$$H_1 = 0 + \frac{5 \cdot 9,81 \cdot 10^4}{977,81 \cdot 9,81} + \frac{1,055^2}{2 \cdot 9,81} = 51,186 \text{ м};$$

$$H_2 = 51,185 - 6,45 = 44,645 \text{ м}.$$

Давление в конце трубопровода

$$p_2 = p_1 - h_{\text{пот}} - (z_2 - z_1) \rho g = 5 \cdot 98066,5 - 64534,8 - (2 - 0) 977,81 \cdot 9,81 = 408210 \text{ Па};$$

1. Контрольные вопросы

- 1) От чего зависят гидравлические потери?
- 2) Какой режим называют турбулентным?
- 3) Какой режим называют ламинарным?
- 4) Что является критерием для определения режима движения жидкости?
- 5) Значение критического числа Рейнольдса.

Вывод: В ходе выполнения практической работы мы изучили, приобрели практические навыки определения

Приложения

Температура, °C	Плотность, кг/м ³	Температура, °C	Плотность, кг/м ³	Температура, °C	Плотность, кг/м ³
0	999.87	57	984.75	79	972.45
4	1000	58	984.25	80	972.83
10	999.73	59	983.75	81	971.23
20	998.23	60	983.24	82	970.57
30	995.67	61	982.72	83	969.94
40	992.24	62	982.20	84	969.30
41	991.86	63	981.67	85	968.65
42	991.47	64	981.13	86	968.00
43	991.07	65	980.59	87	967.24
44	990.66	66	980.05	88	966.68
45	990.25	67	979.50	89	966.01
46	989.82	68	978.94	90	965.34
47	989.40	69	978.38	91	964.67
48	988.96	70	977.81	92	963.99
49	988.52	71	977.23	93	963.30

50	988.07	72	976.66	94	962.61
51	987.62	73	976.07	95	961.92
52	987.15	74	975.48	96	961.22
53	986.69	75	974.89	97	960.51
54	986.21	76	974.29	98	959.81
55	985.73	77	973.68	99	959.09
56	985.25	78	973.07		

Практическая работа №6 «Определение режима течения»

Цель работы: Освоение расчетного метода определения режима течения.

Порядок выполнения работы.

1. Создать в канале 4 течение жидкости при произвольном наклоне устройства №3 от себя.
2. Измерить время t перемещения уровня воды в баке на некоторое расстояние S и снять показания термометра T , находящегося в устройстве №1.
3. Подсчитать число Рейнольдса по порядку указанному в таблице.
4. Повернуть устройство в его плоскости на 180° и выполнить операции по н.п. 2,3.
5. Сравнить полученные значения чисел Рейнольдса между собой, и затем на основе сравнения с критическими значениями, сделать вывод о режиме течения.

№ п/п	Наименование величин	Обозначения, формулы	№ опыта	
			1	2
1	Изменение уровня воды в баке, см	S	6	6,3
2	Время наблюдения за уровнем, с	t	17	7
3	Температура воды, $^\circ\text{C}$	T	24	24
4	Кинематический коэффициент	$\nu = 17,9 / (100 + 34T + 0,22T^2)$	0,0092	0,0092

	вязкости воды, см ² /с			
5	Объем воды, поступающей в бак за время t, см ³	$W=ABS$	504	529,2
6	Расход воды, см ³ /с	$Q=W/t$	29,6	75,6
7	Средняя скорость течения в канале, см/сек	$V=Q/\omega$	11,84	30,24
8	Число Рейнольдса	$Re=Vd/\nu$	1801,7	4601,7
9	Название режима течения	$Re(<,>)Re_k=2300$	Ламин.	Турб.

$A=21$ см, $B=4$ см, $d=1.4$ см; $\omega=2.5$ см².

$\nu=17.9/(1000+34\cdot 24+0.22\cdot 24^2)=0.0092$ см²/с;

$W_1=21\cdot 4\cdot 6=504$; $W_2=21\cdot 4\cdot 6.3=529.2$ см³;

$Q_1=504/17=29.6$ см³/с; $Q_2=529.2/7=75.6$ см³/с

$V_1=29.6/2.5=11.84$ см/с; $V_2=75.6/2.5=30.24$ см/с;

$Re=11.84\cdot 1.4/0.0092=1801.7$; $Re=30.24\cdot 1.4/0.0092=4601.7$

Вывод: Освоили расчетные методы определения режима течения жидкости.
На основе полученных данных можно сделать вывод, что в первом случае т.к.
 $Re=1801.7 < Re_k=2300$ режим течения ламинарный, а во втором

$Re > Re_k=2300$ режим течения турбулентный.

Практическая работа №7 по теме «Определить потери давления на трение Дртр в стальной трубе квадратного сечения»

Пример № 10.1. Определить потери давления на трение $Dp_{тр}$ в стальной трубе квадратного сечения. Длина трубы $l = 80$ м, площадь живого сечения $w = 2,25 \times 10^{-2}$ м², средняя скорость движения воды $v = 5$ м/с, температура воды 20 °С.

Справочные данные

- плотность воды $r = 998,2$ кг/м³;
- абсолютная эквивалентная шероховатость $k_э = 0,05$ мм;
- кинематический коэффициент вязкости $\nu = 1,01 \cdot 10^{-6}$ м²/с.

Решение

Потери давления на трение определяем по формуле Дарси-Вейсбаха:

$$Dp_{тр} = l \times \frac{\lambda}{d_{эКВ}} \times r \times \frac{v^2}{2},$$

где $d_{эКВ}$ – эквивалентный диаметр рассматриваемого участка трубы, м;

λ – коэффициент гидравлического трения (коэффициент Дарси), безразмерный;

l – длина трубопровода, м;

d – диаметр трубопровода, м;

r – плотность жидкости, кг/м³;

v – средняя скорость течения жидкости в сечении потока, м/с.

Диаметр эквивалентный $d_{эКВ}$ равен отношению четырёх площадей живого сечения потока w к смоченному периметру s . Для

трубопровода квадратного сечения со стороной a диаметр эквивалентный равен:

$$d_{\text{ЭКВ}} = \frac{4 \cdot \omega}{\chi} = \frac{4 \cdot a^2}{4 \cdot a} = a.$$

Величину a определяем из площади квадрата

$$(w = a^2). a = \sqrt{\omega} = \sqrt{0,0225} = 0,15 \text{ м.}$$

Определяем режим течения жидкости в трубопроводе:

$$Re = \frac{v \cdot d_{\text{ЭКВ}}}{\nu} = \frac{5 \cdot 0,15}{1,01 \cdot 10^{-6}} = 742574,26.$$

Значение числа Рейнольдса больше критического ($Re_{\text{кр}} = 2320$), следовательно, режим течения жидкости турбулентный.

Определяем значение критерия зоны турбулентности:

$$Re \times \frac{k_s}{d_{\text{ЭКВ}}} = 742574,26 \times \frac{0,05 \times 10^{-3}}{0,15} = 247,86.$$

Значение критерия зоны сопротивления находится в пределах от 10 до 500, следовательно движение происходит в области смешанного сопротивления, для которой справедлива формула Альтшуля:

$$l = 0,11 \times \left(\frac{68}{Re} + \frac{k_s}{d_{\text{ЭКВ}}} \right)^{0,25} = 0,11 \times \left(\frac{68}{742574,26} + \frac{0,05 \cdot 10^{-3}}{0,15} \right)^{0,25} = 0,0158.$$

Потери давления на трение равны:

$$Dp_{\text{тр}} = 0,0158 \times \frac{80}{0,15} \times 998,2 \times \frac{(5)^2}{2} = 105143,73 \text{ Па.}$$

Пример № 10.2. Определить потери напора и гидравлический уклон при подаче воды со скоростью $v = 0,2$ м/с через умеренно заржавленную стальную трубку диаметром $d = 50$ мм и длиной $l = 60$ м при температуре воды 10 °С.

Справочные данные

- кинематический коэффициент вязкости $\nu = 1,31 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$;
- абсолютная эквивалентная шероховатость $k_{\text{э}} = 0,45 \text{ мм}$.

Решение

Потери напора на трение определяем по формуле Дарси-Вейсбаха:

$$Dh_{\text{тр}} = l \times \frac{\lambda}{d} \times \frac{v^2}{2 \times g} ;$$

где λ - коэффициент гидравлического трения (коэффициент Дарси), безразмерный;

l - длина трубопровода, м;

d - диаметр трубопровода, м;

v - средняя скорость течения жидкости в сечении потока, м/с.

Определяем режим течения жидкости в трубопроводе:

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu} = \frac{0,2 \cdot 0,05}{1,31 \cdot 10^{-6}} = 7633,59.$$

Значение числа Рейнольдса больше критического ($Re_{\text{кр}} = 2320$), следовательно, режим течения жидкости турбулентный.

Определяем значение критерия зоны турбулентности:

$$Re \times \frac{k_{\text{э}}}{d_{\text{эф}}} = 7633,59 \times \frac{0,06 \cdot 10^{-3}}{0,05} = 9,16.$$

Значение критерия зоны сопротивления меньше 10, следовательно движение происходит в области «гидравлически гладких» труб, для которой справедлива формула Блазиуса:

$$l = \frac{0,3164}{(Re)^{0,25}} = \frac{0,3164}{(7633,59)^{0,25}} = 0,0338.$$

$$Dh_{тр} = 0,0338 \times \frac{60}{0,05} \times \frac{(0,2)^2}{2 \times 9,81} = 0,083 \text{ м.}$$

Гидравлическим уклоном i называется отношение потерь напора $Dh_{тр}$ к длине участка l , на котором эти потери происходят:

$$i = \frac{\Delta h_{тр}}{l} = \frac{0,083}{60} = 0,00138 \text{ м/м.}$$

Оформить выводы.

Практическая работа 8 по теме: «Гидравлический расчет трубопроводов»

Цель: рассмотреть алгоритм решения задач на расчет трубопроводов.

Пример 1. Трубопровод диаметром $d = 500$ мм и длиной $L = 1000$ м наполнен водой при давлении 400 кПа, и температуре воды 5°C . Определить, пренебрегая деформациями и расширением стенок труб, давление в трубопроводе при нагревании воды в нем до 15°C , если коэффициент объемного сжатия $\beta_w = 5,18 \cdot 10^{-10} \text{ Па}^{-1}$, а коэффициент температурного расширения $\beta_t = 150 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

Решение. Находим объем воды в трубе при $t = 5^\circ\text{C}$

$W = 0,785 \cdot d^2 \cdot L = 0,5 \cdot \pi \cdot 1000 = 196,25 \text{ м}^3$ при изменении температуры Δt ; находим увеличение объема

$$\beta_t = \frac{\Delta W}{W \cdot \Delta t} ; \Delta W = W \cdot \Delta t \cdot \beta_t ;$$

$\Delta W = 150 \cdot 10^{-6} \cdot 196,25 \cdot 10 = 0,29 \text{ м}^3$; находим приращение давления в связи с увеличением объема воды

$\Delta p = \frac{\Delta W}{W \cdot \beta_w} = 0,29 / (196,25 \cdot 5,18 \cdot 10^{-10}) = 2850 \text{ кПа}$; давление в трубопроводе после увеличения температуры

$400 \text{ кПа} + 2850 \text{ кПа} = 3250 \text{ кПа} = 3,25 \text{ МПа}$.

Пример 2. Вязкость нефти, определенная по вискозиметру Энглера, составляет $8,5^\circ = 850 \text{ кг/м}^2\text{с}$. Определить динамическую вязкость нефти, если ее плотность $\rho = 850 \text{ кг/м}^3$.

Решение. Находим кинематическую вязкость по формуле Убеллоде

$$\nu = \left(0,0731 \cdot 10^{-4} - \frac{0,0631}{8,5} \right) 10^{-4} ;$$

$$\nu = 10^{-4} \cdot 8,5 - 0,0631/8,5 \cdot 10^{-4} = (0,0731 - 0,0074) \cdot 10^{-4} = 6,57 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2/\text{с};$$

находим динамическую вязкость нефти

$$\mu = \nu \cdot \rho = 6,57 \cdot 10^{-5} \cdot 850 = 0,056 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Пример 3 $\rho = 1,2 \rho_0$. Определить коэффициент динамической и кинематической вязкости воды, если шарик $d = 2 \text{ мм}$ из эбонита с $\rho = 10 \rho_0$ падает в воде с постоянной скоростью $u = 0,33 \text{ м/с}$. Плотность воды $\rho_0 = 1000 \text{ кг/м}^3$.

Решение. При движении шарика в жидкости с постоянной скоростью сила сопротивления равняется весу шарика. Сила сопротивления определяется по формуле Стокса:

$$F = 3 \cdot \pi \cdot \mu \cdot u \cdot d$$

Вес шарика определяется по формуле

$$G = \rho \cdot g \cdot \pi \cdot d^3 / 6$$

Так как $G = F$, то

$$\rho \cdot g \cdot \pi \cdot d^3 / 6 = 3 \cdot \pi \cdot \mu \cdot u \cdot d$$

Следовательно, коэффициент динамической вязкости определится

$$\mu = \frac{\rho \cdot g \cdot d^2}{18 \cdot u} ; \mu = 10^3 \cdot 9,81 \cdot (2 \cdot 10^{-3})^2 / (18 \cdot 0,33) = 0,008 \text{ Па} \cdot \text{с}$$

Коэффициент кинематической вязкости

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

$$\nu = 0,008 / 10^3 = 8 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$$

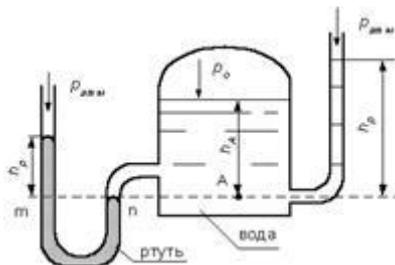
Пример 4. W при испытании системы вместимостью $W = 80 \text{ мдр} = 4,97104 \text{ Па}$. Определить допустимую утечку Δ При гидравлическом испытании системы объединенного внутреннего противопожарного водоснабжения допускается падение давления в течение 10 мин. на 3% .

β_w Коэффициент объемного сжатия $\beta_w = 5 \cdot 10^{-10} \text{ Па}^{-1}$.

W определяем из формулы $\Delta W = \beta_w \cdot W \cdot \Delta p$. Допустимую утечку

$$\beta_w = -\frac{\Delta W}{W \cdot \Delta p}; \Delta W = \beta_w \cdot W \cdot \Delta p;$$

$$10 \cdot W = 5 \cdot 10^{-10} \cdot 10 \cdot 4,9 \cdot 80 \cdot 10^4 = 1,96 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3.$$



Пример 5 Определить абсолютное и избыточное гидростатическое давление

в точке А (рис. 2.8), расположенной в воде на глубине $h_A = 2,5 \text{ м}$, и пьезометрическую высоту для точки А, если абсолютное гидростатическое давление на поверхности $p_0 = 147,2 \text{ кПа}$.

Решение:

Согласно основного уравнения гидростатики абсолютное гидростатическое давление в точке А определится:

$$p_{абс} = p_0 + \rho \cdot g \cdot h_A.$$

Избыточное давление в точке А равно:

$$p_{изб} = p_{абс} - p_{атм} = 171,7 - 98,1 = 73,6 \text{ кПа}.$$

Пьезометрическая высота для точки А равна:

$$h_p = \frac{p_{изб}}{\rho \cdot g} = \frac{73,6 \text{ кН/м}^2}{1 \text{ т/м}^3 \cdot 9,8 \text{ м/с}^2} = 7,5 \text{ м}.$$

Можно отметить, что пьезометром удобно измерять только относительно малые давления, в противном случае требуется большая высота пьезометра, что неудобно в эксплуатации.

Определить эти же величины U – образным манометром, заполненным ртутью. По поверхности раздела $m - n$ ртути и воды давления со стороны резервуара и открытого конца манометра будут одинаковы:

$$p_0 + \rho \cdot g \cdot h_A = p_{атм} + \rho_{рт} \cdot g \cdot h_{рт}$$

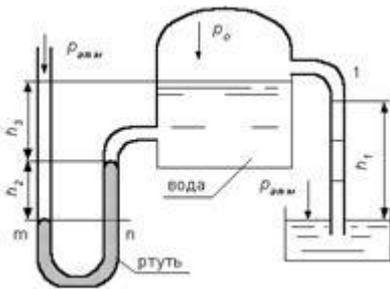
Следовательно, избыточное давление в точке А уравнивается весом столба ртути высотой h_p над поверхностью раздела $m - n$:

$$\begin{aligned} \rho \cdot g \cdot h_{рт} &= p_0 + \rho \cdot g \cdot h_A - p_{атм} = \\ &= 147,2 + 1 \cdot 9,81 \cdot 2,5 - 98,1 = 73,6 \text{ кН/м}^2 \end{aligned}$$

Находим высоту ртутного столба h_p :

$$h_p = \frac{p_{изб}}{\rho_{рт} \cdot g} = \frac{73,6}{13,6 \cdot 9,81} = 0,55 \text{ м}$$

где $\rho_{рт} = 13,6 \text{ т/м}^3$ – плотность ртути.



Пример 5. Определить давление в

резервуаре p_0 и высоту подъема уровня h_1 в трубке 1, если показания ртутного манометра $h_2 = 0,15 \text{ м}$, $h_3 = 0,8 \text{ м}$, $\rho_{рт} = 13,6 \text{ т/м}^3$, $\rho_в = 1 \text{ т/м}^3$.

Решение:

Запишем условия равновесия для ртутного манометра для плоскости

а) со стороны резервуара $p = p_0 + \rho_в \cdot g \cdot h_3 + \rho_{рт} \cdot g \cdot h_2$

б) со стороны манометра $p = p_{атм}$,

тогда $p_{атм} = p_0 + \rho_в \cdot g \cdot h_3 + \rho_{рт} \cdot g \cdot h_2$

$$\begin{aligned} p_0 &= 98,1 - 1 \cdot 9,81 \cdot 0,8 - 13,6 \cdot 9,81 \cdot 0,15 = \\ &= 70,24 \text{ кН/м}^2 = 70,24 \text{ кПа} \end{aligned}$$

Таким образом, в резервуаре – вакуум, величина которого равна:

$$p_e = p_{атм} - p_0 = 98,1 - 70,24 = 27,86 \text{ кПа}$$

Условия равновесия трубки 1

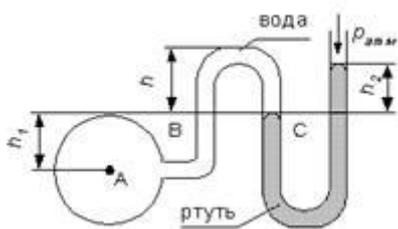
$$p_0 + \rho_e \cdot g \cdot h_1 = p_{атм}$$

$$h_1 = \frac{p_{атм} - p_0}{\rho_e \cdot g} = \frac{27,86}{1 \cdot 9,81} = 2,84 \text{ м}$$

Пример 6.

Рис.2.10.

Определить манометрическое давление в трубопроводе А ,



если высота столба ртути по пьезометру $h_2 = 25$ см. Центр трубопровода расположен на $h_1 = 40$ см ниже линии раздела между водой и ртутью.

Решение: Находим давление в точке В. Точка В расположена выше точки А на величину h_1 , следовательно, давление в точке В будет равно

$$p_B = p_A - \rho_e \cdot g \cdot h_1 .$$

В точке С давление будет такое же, как в точке В, то есть

$$p_C = p_B = p_A - \rho_e \cdot g \cdot h_1 .$$

Определим давление в точке С, подходя, справа

$$p_C = p_{атм} + \rho_{рт} \cdot g \cdot h_2 .$$

Приравнивая оба уравнения, получаем

$$p_A - \rho_e \cdot g \cdot h_1 = p_{атм} + \rho_{рт} \cdot g \cdot h_2 .$$

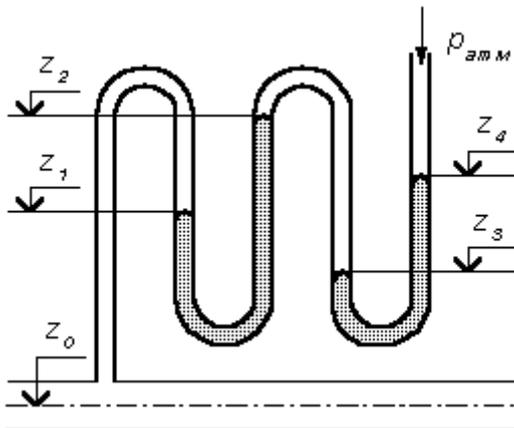
Отсюда манометрическое давление

$$p_A - p_{атм} = p_M = \rho_{рт} \cdot g \cdot h_2 - \rho_v \cdot g \cdot h_1$$

$$p_M = 13,6 \cdot 9,81 \cdot 0,25 - 1 \cdot 9,81 \cdot 0,4 =$$

$$= 29,43 \text{ кН/м}^2 = 29,43 \text{ кПа}$$

Пример 7. Определить избыточное давление воды в трубе по показаниям батарейного ртутного манометра



Отметки уровней ртути от оси

трубы: $z_1 = 1,75 \text{ м}$; $z_2 = 3 \text{ м}$; $z_3 = 1,5 \text{ м}$; $z_4 = 2,5 \text{ м}$. Плотность ртути $\rho_{рт} = 13,6 \text{ т/м}^3$,
 плотность воды $\rho_v = 1 \text{ т/м}^3$.

Решение: Батарейный ртутный манометр состоит из двух последовательно соединенных ртутных манометров. Давление воды в трубе уравнивается перепадами уровней ртути, а так же перепадами уровней воды в трубках манометра. Суммируя, показания манометра от открытого конца до присоединения его к трубе получим:

$$p_{изб} = \rho_{рт} \cdot g (z_4 - z_3) - \rho_v \cdot g (z_2 - z_3) +$$

$$+ \rho_{рт} \cdot g (z_2 - z_1) + \rho_v \cdot g (z_1 - z_0)$$

$$p_{изб} = 13,6 \cdot 9,81 (2,5 - 1,5) - 1 \cdot 9,81 (3 - 1,5) +$$

$$+ 13,6 \cdot 9,81 (3 - 1,75) + 1 \cdot 9,81 \cdot 1,75 = 0,3 \cdot 10^3 \text{ кПа} = 0,3 \text{ МПа}$$

Оформить выводы.

Практическая работа №9 «Задачи по термодинамике»

В данном типе задач рассматривается конкретный газ (или смесь, состав которой задан в массовых или объемных долях) как рабочее тело, с которым происходят различные процессы (нагревание, сжатие и т.д.). Требуется найти изменение энергии (теплота, работа). Решение данной задачи основано на уравнении состояния $pV = mRT$ и I законе термодинамики $Q = \Delta U + L$.

Пример. Газовую смесь массой 2 кг, состоящую из 10% N_2 и 90% CO_2 нагревают от $30^\circ C$ до $80^\circ C$ в закрытом сосуде. Начальное давление 10 атм. Сколько теплоты нужно затратить для данного процесса? Как изменится количество теплоты, если вместо CO_2 будет CO ? Найти конечное давление.

Решение:

1. Записываем Дано в системе СИ:
 $g_{N_2}; g_{CO_2}; m = 2 \text{ кг}$
 $t_1 = 30^\circ C; T_1 = 30 + 273 = 303 \text{ K}$
 $t_2 = 80^\circ C; T_2 = 80 + 273 = 353 \text{ K}$

2. Найти: Q, Q', p_2

3. Анализ задачи
 Требуется найти теплоту, затраченную при нагревании. В различных процессах эта величина имеет разное значение. В данном случае процесс изохорный (закрытый сосуд, $V = const$).
 $Q = m \cdot C_V \cdot (T_2 - T_1)$

У нас известна теплоемкость. Обычно в данных задачах теплоемкость принимается независимой от температуры величиной (если не сказано иное). Теплоемкость при постоянном объеме:

$$C_{Vi} = \frac{i}{2} \cdot R_i \cdot m_i$$

$$R_i = \frac{R}{M_i} \text{ — газовая постоянная для каждого газа}$$

$$M_i \text{ — молярная масса газа}$$

$$i \text{ — число степеней свободы (зависит от атомности газа)}$$

При решении обязательно обращать внимание на химическую формулу газа. Также в задаче применяется закон Шарля (требуется найти конечное давление).

4. Оформление

1. Массы газов $m_i = m \cdot g$

2. Газовые постоянные

$$R_i = \frac{R}{M_i} \text{ Дж/(кг·К)}$$

$$R_{CO_2} = \frac{8.314}{44 \cdot 10^{-3}} = 188.95$$

$$R_{CO} = R_{N_2} = \frac{8.314}{28 \cdot 10^{-3}} = 297 \text{ Дж/(кг·К)}$$

3. Изохорные теплоемкости: $C_{Vi} = \frac{i}{2} \cdot R_i \cdot m_i$
 $i = 5$ (N_2 , CO – двухатомные газы)
 $i = 6$ (CO_2 – трехатомный газ)
 $Q = m \cdot (g_{N_2} C_{VN_2} + g_{CO_2} C_{VCO_2}) \cdot (T_2 - T_1) =$

$$2 \cdot (0,1 \cdot 2,5 \cdot 297 + 0,9 \cdot 3 \cdot 188,95) \cdot (353 - 303) = 58441,5 \text{ Дж};$$

Если заменить CO_2 на CO:

$$Q' = m \cdot (g_{N_2} C_{VN_2} + g_{CO} C_{VCO}) \cdot (T_2 - T_1) =$$

$$2 \cdot (0,1 \cdot 2,5 \cdot 297 + 0,9 \cdot 2,5 \cdot 297) \cdot (353 - 303) = 74250 \text{ Дж};$$

$Q' > Q$ за счет большей теплоемкости CO по сравнению с CO_2 .

5. Согласно закону Шарля при $V = const$

$$p_2 = p_1 \cdot \frac{T_2}{T_1} = 1013250 \frac{353}{303} = 1180453 \text{ Па}$$

Ответ: $p_2 = 1.18 \cdot 10^6 \text{ Па}$; $Q = 58.4 \text{ кДж}$; $Q' = 74.25 \text{ кДж}$.

Часто в разделе «Термодинамика» рассматривают задачи по нагреванию влажного воздуха.

Пример

Влажный воздух при давлении 1 бар и температуре 20 °C имеет влажность 30%. Определить количество теплоты, требуемое для нагревания при постоянном давлении до 70 °C и влажности 10%.

Решение:

1. Записываем Дано:

$$p = 1 \text{ бар} = 10^5 \text{ бар}$$

$$t_1 = 20 \text{ °C}; T_1 = 20 + 273 = 293 \text{ K}$$

$$t_2 = 70 \text{ °C}; T_2 = 70 + 273 = 443 \text{ K}$$

$$\varphi_1 = 30\% = 0.3; \varphi_2 = 10\% = 0.1$$

2. Найти: Q

3. Анализ задачи. Влажный воздух – смесь воздуха с водяным паром, характеризуется влагосодержанием, которое зависит от температуры и влажности ($d = f(T; \varphi)$). По найденному значению d ищем энтальпию при двух состояниях. Т.к. процесс нагрева изобарный, то количество теплоты = изменение энтальпии. Обычно воздух рассматривают при давлении 1 бар. Для этой величины применяют формулы давления насыщенного пара.

$$\lg p_s = 5,9778 - \frac{2224,4}{T}$$

Парциальное давление паров воды: $p_n = p_s \cdot \varphi$

$$d = \frac{0,622 p_n}{1 - p_n}$$

Влагосодержание:

$$\text{Энтальпия: } h = t + d \cdot (2501 + 1,97t)$$

4. Оформление

1. Парциальное давление паров воды: $p_n = p_s \cdot \varphi$, парциальное давление насыщенного пара:

$$\lg p_s = 5,9778 - \frac{2224,4}{T}$$

$$\lg p_{s1} = 5,9778 - \frac{2224,4}{293} = -1,614$$

$$p_{s1} = 0,024 \text{ бар}$$

$$\lg p_{s2} = 5,9778 - \frac{2224,4}{343} = -0,507$$

$$p_{s1} = 0,311 \text{ бар}$$

$$p_{n1} = 0,024 \cdot 0,3 = 7,2 \cdot 10^{-3} \text{ бар}$$

$$p_{n2} = 0,311 \cdot 0,1 = 0,0311 \text{ бар}$$

2. Удельное

влажностное содержание:

$$d = \frac{0,622 p_n}{1 - p_n}$$

$$d_1 = 4,51 \cdot 10^{-3} \text{ кг / кг}$$

$$d_2 = 20 \cdot 10^{-3} \text{ кг / кг}$$

3. Энтальпия:

$$h = t + d \cdot (2501 + 1,97t)$$

$$h_1 = 20 + 4,51 \cdot 10^{-3} \cdot (2501 + 1,97 \cdot 20) = 31,457 \text{ кДж / кг}$$

$$h_2 = 70 + 20 \cdot 10^{-3} \cdot (2501 + 1,97 \cdot 70) = 122,778 \text{ кДж / кг}$$

4. Количество теплоты: $Q = h_2 - h_1 = 91,32 \text{ кДж / кг}$

Ответ: $Q = 91,32 \text{ кДж/кг}$

Оформить выводы.

Практическое занятие №10

Изучение организации и проведения работ регламентному техническому обслуживанию установок охранной, пожарной и охранно – пожарной сигнализации

Цель занятия:

- изучить организацию и проведения работ регламентному техническому обслуживанию установок.

1 Теоретическая часть

Общие положения

Техническое обслуживание представляет собой комплекс работ для поддержания исправности или только работоспособности изделия при подготовке и использовании по назначению, при хранении и транспортировке.

Техническое обслуживание системы, комплекса следует проводить периодически по установленной форме.

В процессе технического обслуживания следует проверять: состояние монтажа, крепление и внешний вид аппаратуры; срабатывание извещателей и работоспособность приборов приемно-контрольных устройств;

состояние гибких соединений (переходов);

работоспособность основных и резервных источников электропитания;

работоспособность световых и звуковых оповещателей;

общую работоспособность системы, комплекса в целом.

Организация технического обслуживания и ремонта систем или комплексов объектов всех форм собственности должна соответствовать требованиям ГОСТ 18322 — 78, действующей ведомственной нормативной документации в данной области.

Право проведения данного вида работ предоставляется организациям и физическим лицам в соответствии с действующим законодательством.

Оформить выводы.

Практическое занятие №11 «Теплообмен при вынужденной конвекции»

Рекомендуемая литература

Основная учебная литература:

1. Бухарова, Г. Д. Физика. Молекулярная физика и термодинамика. Методика преподавания : учебное пособие для СПО / Г. Д. Бухарова. — 2-е изд., испр. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2016. — 221 с. - <https://www.biblio-online.ru>

2. Гусев, А. А. Основы гидравлики : учебник для СПО / А. А. Гусев. — 2-е изд., испр. и доп. — М. : Издательство Юрайт, 2016. — 285 с. - <https://www.biblio-online.ru>

Дополнительная учебная литература:

1. Староверов В.Д. История развития стандартизации, метрологии и подтверждения соответствия [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Староверов В.Д., Аубакирова И.У.— Электрон. текстовые данные.— СПб.: Санкт-Петербургский государственный

архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2012.— 101 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/19004.html>.— ЭБС «IPRbooks»

2. Мигачёв Б.С. Подтверждение соответствия продукции и услуг [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Мигачёв Б.С., Лемешева О.И., Павлов В.Е.— Электрон. текстовые данные.— М.: Академия стандартизации, метрологии и сертификации, 2009.— 98 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/44283.html>.— ЭБС «IPRbooks»-

Интернет-ресурсы

<http://www.teplotehnika.com/>

<http://teplotehniki.ru/>

<http://www.pnevmolux.ru/>

<http://www.gurauto.ru/>

<http://www.techgidravlika.ru/>

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ И ЗАДАНИЯ

1. Что называется конвективным теплообменом?
2. Сформулируйте основной закон теплоотдачи конвекцией.
3. Дайте определения динамического и теплового пограничного слоев и объясните их физический смысл.
4. Назовите виды движения жидкости или газа. Объясните их физический смысл.
5. Какими числами подобия характеризуется конвективный теплообмен?
6. Что называется коэффициентом теплоотдачи? Функцией каких параметров он является?
7. Каков механизм передачи теплоты при ламинарном и турбулентном движениях жидкости?
8. Что характеризуют числа Рейнольдса, Нуссельта, Прандтля, Грасгофа и как они определяются?
9. До какого значения числа Рейнольдса поток жидкости не может переходить из ламинарного в турбулентный режим?
10. Какие уравнения подобия рекомендуется при исследовании ламинарного и турбулентного движения жидкости?
11. Какая температура является определяющей при вынужденном движении жидкости?
12. Какой размер является характерным при вынужденном движении жидкости в трубе?

Примеры решения задач

Задача 2.1. По горизонтально расположенной стальной трубе с диаметрами $d_в=110$ мм, $d_н=130$ мм и коэффициентом теплопроводности материала трубы $\lambda_1=50$ Вт/(м·К) со скоростью $W=2$ м/с течет вода с температурой $t_{ж1}=100^\circ\text{C}$. Снаружи труба

охлаждается окружающим воздухом, температура которого равна 2 °С, а коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности трубы к воздуху $\alpha_2 = 10 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Определить коэффициент теплоотдачи α_1 от воды к внутренней поверхности трубы, коэффициент теплопередачи k и тепловой поток, отнесенный к 1 м длины трубы.

Решение. По таблице (П. «А») определим физические параметры воды при $t_{ж1} = 100^\circ\text{С}$: $\lambda_{ж1} = 0,683 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$; $\nu_{ж1} = 0,295 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$; $\text{Pr}_{ж1} = 1,75$.

Определим число Рейнольдса по формуле:

$$\text{Re}_{ж1} = \frac{wl}{\nu}, \quad (5)$$

где l - характерный размер.

Для данного случая:

$$\text{Re}_{ж1} = \frac{wd_B}{\nu_{ж1}} = \frac{2 \cdot 0,11}{0,295 \cdot 10^{-6}} = 7,46 \cdot 10^5$$

Так как $\text{Re}_{ж1} > 10^4$, то режим движения – турбулентный.

Для определения среднего коэффициента теплоотдачи при развитом турбулентном движении может быть использована формула [1]:

$$\text{Nu}_{ж1} = 0,021 \text{Re}_{ж1}^{0,8} \text{Pr}_{ж1}^{0,43} \left[\frac{\text{Pr}_{ж1}}{\text{Pr}_{cm1}} \right]^{0,25} \quad (6)$$

Учитывая, что коэффициент теплоотдачи от воды к внутренней поверхности трубы будет значительно больше коэффициента теплоотдачи от наружной поверхности трубы к воздуху, примем $t_{cm1} \approx t_{ж1}$ и, следовательно, $\text{Pr}_{ж1} \approx \text{Pr}_{cm1}$, тогда:

$$\text{Nu}_{ж1} = 0,021 \text{Re}_1^{0,8} \text{Pr}_1^{0,43} = 0,021 \cdot (7,46 \cdot 10^5)^{0,8} \cdot 1,76^{0,43} = 1336,5$$

Коэффициент теплоотдачи определяется по формуле::

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda_{жс}}{l} \quad (7)$$

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_{жс1}}{d_в} = \frac{1336,5 \cdot 0,683}{0,11} = 8298,4 \quad \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Теплоотдача от внешней поверхности к воздуху осуществляется за счет естественной конвекции и по условию задачи $\alpha_2 = 10 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Линейный коэффициент теплопередачи равен:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{жс1} d_в} + \frac{1}{2\lambda_1} \ln \frac{d_н}{d_в} + \frac{1}{\alpha_{жс2} d_н}} \quad (8)$$

После подстановки:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{8298,4 \cdot 0,11} + \frac{1}{2 \cdot 50} \ln \frac{130}{110} + \frac{1}{10 \cdot 0,13}} = 1,295 \quad \text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К}).$$

Тепловой поток, отнесенный к 1 м длины трубы, составляет:

$$q = k\pi(t_{жс1} - t_{жс2}) = 1,295 \cdot 3,14 \cdot (100 - 2) = 398,7 \quad \text{Вт}/\text{м}.$$

Ответ: $\alpha_1 = 8298,4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; $k = 1,295 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$; $q = 398,7 \text{ Вт}/\text{м}$.

Задача 2.2. Цилиндрическая труба с наружным диаметром 100 мм покрыта однослойной изоляцией с коэффициентом теплопроводности $\lambda_{из} = 0,2 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$. Коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности изоляции к окружающей среде $\alpha_2 = 5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Целесообразно ли применять в данном случае изоляционный материал с заданными свойствами для уменьшения потерь теплоты?

Решение. Для эффективного использования изоляции с целью снижения потерь теплоты необходимо, чтобы критический диаметр изоляции был

меньше внешнего диаметра оголенного трубопровода: $d_{кр} < d_H$. Условие уменьшения теплотерь выражается соотношением:

$$\lambda_{из} \leq \frac{\alpha_2 \cdot d_H}{2} \quad (9)$$

Определяем критический диаметр изоляции:

$$d_{кр} = \frac{2 \cdot \lambda_{из}}{\alpha_2} = \frac{2 \cdot 0,2}{5} = 0,08 \text{ м} = 80 \text{ мм.}$$

Ответ: в данном случае $d_{кр} < d_H$ и применение изоляционного материала с $\lambda_{из} = 0,2 \text{ Вт/(м·К)}$ целесообразно.

Задача 2.3. Определить коэффициент теплоотдачи и количество переданной теплоты при течении воды со скоростью $W = 0,08 \text{ м/с}$ в горизонтальной трубе диаметром $d = 0,008 \text{ м}$ и длиной 3 м , если температура воды $t_{жс} = 90^\circ\text{C}$, а температура внутренней поверхности трубы $t_{ст} = 30^\circ\text{C}$.

Решение. При температуре воды $t_{жс} = 90^\circ\text{C}$ по таблице (П. «А») находим физические характеристики воды:

$$\lambda_{жс} = 0,68 \text{ Вт/(м·К)}; \quad \nu_{жс} = 0,326 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}; \quad \text{Pr}_{жс} = 1,95.$$

При температуре стенки $t_{ст} = 30^\circ\text{C}$ число Прандтля: $\text{Pr}_{ст} = 5,42$.

С учетом полученных значений определяем режим движения трубы в

$$\text{Re}_{жс} = \frac{wd}{\nu_{жс}} = \frac{0,08 \cdot 0,008}{0,325 \cdot 10^{-6}} = 1963,2$$

горизонтальной трубе:

Т.к. $\text{Re}_{жс} < 2300$, то режим движения – ламинарный.

При ламинарном режиме движения в трубе для определения коэффициента теплоотдачи используем формулы:

$$Nu_{жс} = 0,15 \text{Re}_{жс}^{0,33} \text{Pr}_{жс}^{0,43} Gr_{жс}^{0,1} \left(\frac{\text{Pr}_{жс}}{\text{Pr}_{ст}} \right)^{0,25} \quad (10)$$

$$\alpha = \frac{Nu_{жс} \lambda_{жс}}{d} \quad (11)$$

Число Грасгофа:

$$Gr_{жс} = \frac{gd^3}{\nu_{жс}^2} \beta_2 \cdot \Delta t, \quad (12)$$

где $\Delta t = t_{жс} - t_{см} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$.

$$Gr_{жс} = \frac{9,81 \cdot 0,008^3}{(0,0326 \cdot 10^{-6})^2} \cdot 6,95 \cdot 10^{-4} \cdot 60 = 1,97 \cdot 10^8$$

По формулам (10) и (11) определяем число Нуссельта и коэффициент теплоотдачи от воды к поверхности трубы:

$$Nu_{жс2} = 0,15 \cdot (1963,2)^{0,33} \cdot (1,95)^{0,43} \cdot (1,97 \cdot 10^8)^{0,1} \cdot \left[\frac{1,95}{5,42} \right]^{0,25} = 12,76$$

$$\alpha = \frac{12,76 \cdot 0,68}{0,008} = 1085 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}).$$

Поправку на длину трубы вводить не следует, т.к. $\frac{l}{d} = \frac{3}{0,008} = 375 > 50$.

Количество передаваемой теплоты через всю поверхность трубы:

$$Q = \pi \cdot d \cdot l \cdot \alpha \cdot (t_{жс} - t_{см}) = 3,14 \cdot 0,008 \cdot 8 \cdot 1085 \cdot 60 = 13082 \text{ Вт}.$$

Ответ: $\alpha = 1085 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}); Q = 13082 \text{ Вт}$.

задачи для самостоятельного решения

Задача 2.4. Определить коэффициент теплоотдачи и количество переданной теплоты при течении воды в горизонтальной трубе диаметром 0,02 м., длиной 10 м и со скоростью $W = 0,3 \text{ м/с}$, если температура воды 80°C , температура стенки трубы 30°C .

Ответ: $\alpha = 1879 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}); Q = 59 \text{ Вт}$.

Задача 2.5. Гладкая пластина шириной 1,5 м и длиной $l = 2,0 \text{ м}$ обтекается продольным потоком воздуха с температурой $t_{жс} = 20^\circ\text{C}$ и со скоростью $W = 4,0 \text{ м/с}$. Определить коэффициент теплоотдачи α и тепловой поток Q , если температура поверхности плиты $t_{см} = 80^\circ\text{C}$.

Ответ: $\alpha = 13,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; $Q = 2430 \text{ Вт}$.

Теплотехника – общетехническая дисциплина, которая занимает центральное место в инженерной подготовке специалистов. Решение прикладных задач основано на основных законах термодинамики и теплообмена.

Перед решением конкретной задачи необходимо ознакомиться с соответствующим разделом учебной литературы, выписать формулы и понять взаимосвязь между величинами, входящими в нее.

Общие правила для решения задач:

1. Все величины, данные в задаче, должны быть записаны в системе СИ

а. Давление $P =$ Па

Производные величины:

$1 \text{ бар} = 10^5 \text{ Па}$; $1 \text{ атм} = 101325 \text{ Па}$; $1 \text{ мм рт.ст.} = 133.322 \text{ Па}$

или соответственно приставки: $1 \text{ МПа} = 10^6 \text{ Па}$; $1 \text{ кПа} = 10^3 \text{ Па}$

б. Температура $T =$ К°

Производные величины: если $t = x \text{ °С}$, то $T = x + 273 \text{ К}$

в. Объем $V =$ м³

Производные величины:

$1 \text{ л} = 10^{-3} \text{ м}^3$; $1 \text{ дм}^3 = 10^{-3} \text{ м}^3$; $1 \text{ см}^3 = 10^{-6} \text{ м}^3$;

д. Энергия (внутренняя энергия – ΔU ; изменение энтальпии – ΔH теплота – Q ; работа – L)

Единица измерения – Дж

е. Энтропия – ΔS – Дж/К

ф. Теплоемкость – C – Дж/К

г. Кинематическая вязкость – ν — м²/с

Производные:

$1 \text{ сСт} = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$;

з. Коэффициент теплопроводности – λ — Вт/(м·К)

Производные:

$1 \text{ сСт} = 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$;

2. Решение производится с указанием конкретного закона, все величины подписываются

Теплотехника состоит из нескольких разделов: термодинамика, теплообмен (теплопроводностью, конвекцией, излучением), массообмен. Общим для них является то, что при любом рассматриваемом процессе должен выполняться закон сохранения энергии – всеобщий закон природы: энергия не возникает ниоткуда и нигде не исчезает, а лишь один вид переходит в другой.

Практическое занятие №12

«Составление схем расположения и подключения»

Цель занятия:

- научиться составлять схемы расположения и подключения схемы.

1 Теоретическая часть

Схемы соединений показывают соединение составных частей объекта и определяют провода, щиты, кабели или трубопроводы с помощью которых осуществляются эти соединения, а так же места их присоединения и ввода.

Схемы подключения показывают внешние подключения объекта.

Схемы расположения определяют относительное расположение составных частей объекта, а при необходимости - проводов, жгутов, кабелей, трубопроводов.

2 Выполнение практической работы

2.1 На формате А-4 выполнить план здания, на нем показать расположение и соединение оповещателей, извещателей
Оформить выводы.

Практическая работа №13 «Тепловой расчет котельного агрегата»-2 часа.

Тема: Топочные устройства и котельные агрегаты.

Цель: Получить информацию о топочных устройствах и котельных агрегатах. Ответить на вопросы. Сделать вывод.

Общие сведения:

Котельные установки

Котельный агрегат и его элементы

Как уже указывалось, устройства, в которых непосредственно вырабатывается пар и нагревается вода, называют паровыми или водогрейными котлами. Если котлы в отопительных котельных вырабатывают пар давлением P

В производственных и энергетических котельных по давлению получаемого пара котельные агрегаты разделяются на следующие: низкого давления (0,8-

1,6 МПа), среднего (2,4-4 МПа), высокого (10-14МПа) и сверхвысокого давления (25-31Мпа). Паровые котельные агрегаты стандартизированы (ГОСТ 3619-76) по параметрам вырабатываемого пара (Р и Т) и мощности.

Котельные агрегаты производительностью 0,01-5,5 кг/с относятся к котлам малой мощности, производительностью до 30 кг/с к котлам средней мощности и более 30 кг/с (до 500-1000 кг/с) – к котлам большой мощности.

Водогрейные котлы унифицированы по теплопроизводительности на восемь типов: 4, 6,5, 10, 20, 30, 50, 100 и 180 Гкал/ч. Котлы теплопроизводительностью ниже 30Гкал/ч предназначаются для работы только в одном режиме (основном). Котлы теплопроизводительностью 30 Гкал/ч и выше допускают возможность работы как в основном, так и в пиковом режимах, т.е. в период максимального теплоснабжения при наиболее низких температурах наружного воздуха.

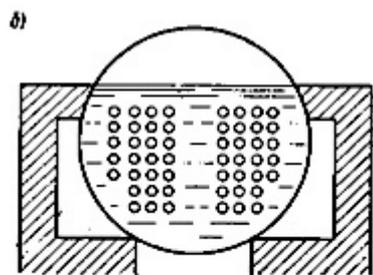
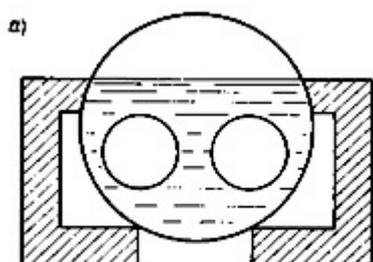


Рис. 14.1. Схемы котлов
а – с жаровыми трубами; б – с дымогарными трубами

Для котлов теплопроизводительностью до 30 Гкал/ч температура воды на выходе принимается 432 К, а давление воды на входе в котел – 1,6 МПа. Для котлов теплопроизводительностью 30 Гкал/ч и выше максимальная температура воды на выходе принимается 450-470 К, а давление воды на входе – 2,5 МПа.

По конструкции паровые котлы можно разделить на два типа – *газотрубные* и *водотрубные*. В газотрубных котлах основные поверхности нагрева находятся внутри цилиндрического сосуда большого диаметра в виде так называемых жаровых или дымогарных труб или различных их комбинаций, по которым движутся продукты сгорания топлива. На рис. 14.1 показаны схемы котлов с жаровыми и дымогарными трубами.

Более совершенными являются водотрубные паровые котлы. Они имеют развитые поверхности нагрева, состоящие из труб, заполненных внутри водой и пароводяной смесью, а снаружи обогреваемых продуктами сгорания топлива. Котлы относятся к горизонтально-водотрубным, если трубы расположены под углом к горизонту не более 25° , и к вертикально-

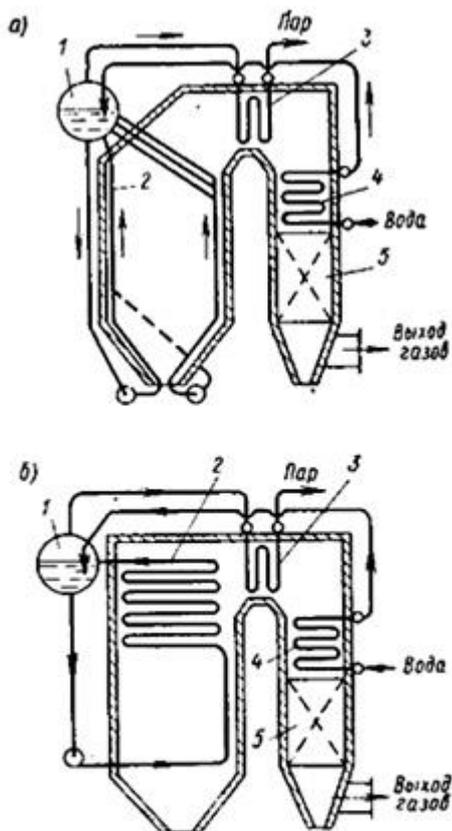


Рис. 14.2. Схемы котлов
а — с естественной циркуляцией; *б* — с принудительной циркуляцией; 1 — барабан; 2 — испарительные поверхности; 3 — пароперегреватель; 4 — экономайзер; 5 — воздухоподогреватель

водотрубным, если трубы идут более круто или вертикально. В этих котлах путем изменения числа труб в пучках и числа самых пучков удалось увеличить площадь поверхности нагрева, не увеличивая диаметр их барабанов, что в свою очередь дало возможность получить в этих котлах пар высокого давления. При работе парового котла очень важно обеспечить надежное охлаждение поверхностей нагрева, в которых происходит парообразование. Для этого необходимо соответствующим образом организовать движение воды и пароводяной смеси в испарительных поверхностях нагрева. По характеру организации движения рабочего тела в испарительных поверхностях котельные агрегаты делятся на три типа:

с естественной циркуляцией (рис 14.2,а);

с принудительной циркуляцией (рис 14.2,б);

Принципиальная схема прямоточного котла показана на рис. 14.3. Питательная вода подается в конвективный экономайзер *б*, подогревается за счет тепла поступающего в экранные трубы *2*, выполненные в виде параллельно включенных расположенных на стенах камеры. В нижней части вода нагревается до температуры насыщения. Парообразование до степени 75% происходит в змеевиках уровня расположения.

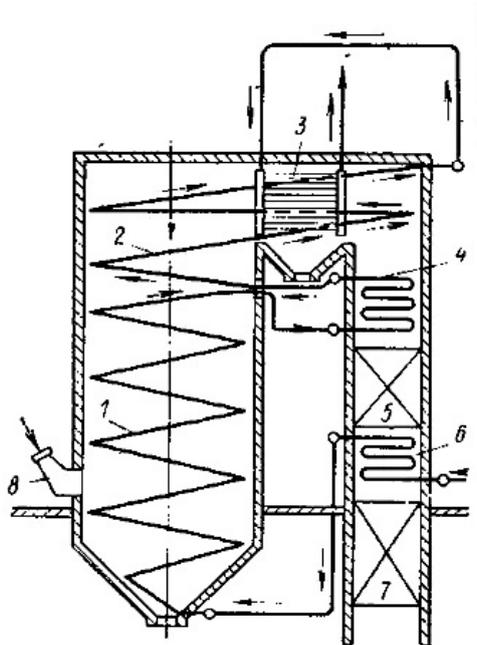


Рис. 14.3. Схема прямоточного котлоагрегата

1 — нижняя радиальная часть испарительной поверхности нагрева; 2 — радиальный перегреватель; 3 — конвективная часть пароперегревателя; 4 — поверхность нагрева переходной зоны; 5, 7 — первая и вторая ступени воздухоподогревателя; 6 — конвективный экономайзер; 8 — горелка

прямоточные.

на рис 14.3.

где она газов, и

змеевиков, топочной змеевиков

сухости 70-среднего

Пароводяная смесь затем поступает в переходную конвективную зону⁴, где происходит окончательное испарение воды и частичный перегрев пара. Из переходной зоны пар направляется в радиационный перегреватель², затем доводится до заданной температуры в конвективном перегревателе³ и поступает на турбину. В опускной шахте котлоагрегата расположены первая (по ходу газов) и вторая ступени⁵ и ⁷ воздухоподогревателя.

К основным элементам котельных агрегатов относятся пароперегреватели, экономайзеры и воздухоподогреватели. **Пароперегреватель** представляет собой змеевиковую поверхность теплообмена, предназначенную для перегрева пара, полученного в испарительной части котельного агрегата. Пар движется внутри трубок, омываемых снаружи дымовыми газами. Пароперегреватель – неотъемлемый элемент энергетических котельных агрегатов. Если для некоторых технологических процессов требуется перегретый пар, то котельные агрегаты малой и средней мощности также снабжают пароперегревателями.

Водяные экономайзеры предназначены для подогрева питательной воды до поступления ее в испарительную часть котельного агрегата. Предварительный подогрев воды за счет теплоты дымовых газов существенно увеличивает КПД котельного агрегата .

В зависимости от применяемого материала экономайзеры делятся на чугунные и стальные, по типу поверхности – на ребристые и гладкотрубные, по степени подогрева воды – на не кипящие и кипящие.

Воздухоподогреватели. В отличие от водяного экономайзера и пароперегревателя воздухоподогреватель, отнимая теплоту от уходящих дымовых газов и уменьшая таким образом потери ее с этими газами, непосредственно отнятую теплоту не передает рабочему телу (воде или пару). Горячий воздух, направляемый в топку котла, улучшает условия сгорания топлива, уменьшает потери теплоты от химической и механической неполноты сгорания топлива, повышает температуру его горения, интенсифицирует теплообмен, что в итоге повышает КПД установки. В среднем понижение температуры уходящих газов на каждые 20-25 К повышает КПД примерно на 1%.

Вспомогательное оборудование котельной установки

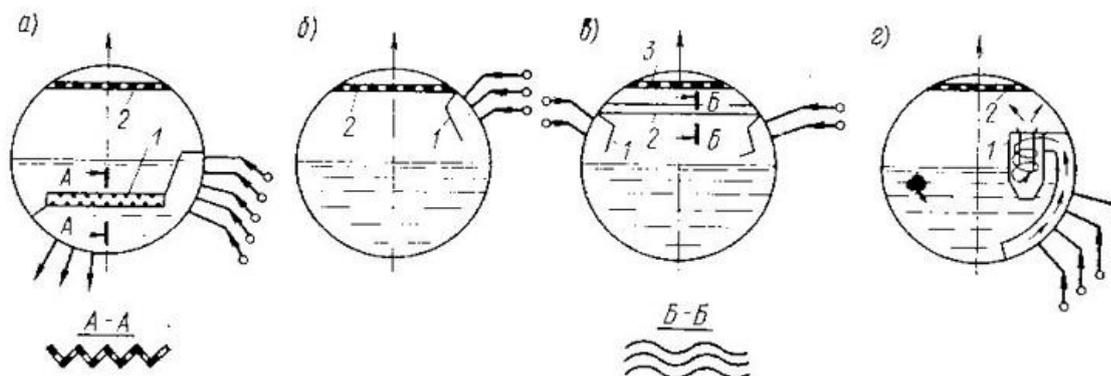


Рис. 14.4. Схемы сепарационных устройств

а — погружной дырчатый щит; 1 — дырчатый щит; 2 — пароприемный дырчатый щит; б — отбойные и распределительные щиты; 1 — отбойный щит; 2 — пароприемный дырчатый щит; в — жалюзийный сепаратор; 1 — отбойный щит; 2 — жалюзийный сепаратор; 3 — пароприемный дырчатый щит; г — циклонный сепаратор; 1 — циклон; 2 — пароприемный дырчатый щит

Сепарационные устройства. Влажный насыщенный пар, получаемый в барабане

котлоагрегатов низкого и среднего давлений, может уносить с собой капли котловой воды, содержащей растворенные в ней соли. В котлоагрегатах высокого и сверхвысокого давлений загрязнение пара обуславливается еще и дополнительным уносом солей кремниевой кислоты и соединений натрия, которые растворяются в паре. Примеси, уносимые с паром, откладываются в пароперегревателе, что крайне нежелательно, так как может привести к пережогу труб пароперегревателя. Поэтому пар перед выходом из барабана котла подвергается *сепарации*, в процессе которой капли котловой воды отделяются и остаются в барабане. Сепарация пара осуществляется в специальных сепарирующих устройствах, в котором создаются условия для естественного или механического разделения воды и пара. Естественная сепарация происходит вследствие большой разности плотностей воды и пара. Механический инерционный принцип сепарации основан на различии инерционных свойств водяных капель и пара при резком увеличении скорости и одновременном изменении направления или закручивании потока влажного пара. На рис 14.4 показаны принципиальные схемы сепарирующих устройств. **Тягодутьевые устройства.** Для нормальной работы котельного агрегата необходимы непрерывная подача воздуха для горения топлива и непрерывное удаление продуктов сгорания.

В современных котельных установках широко распространена схема с разрежением по газоходам. К недостаткам этой схемы следует отнести наличие присосов воздуха в газоотходы через неплотности в ограждениях и работу дымососов на запыленных газах. Достоинство такой схемы — отсутствие выбивания и утечек дымовых газов в помещение котельной, так как воздух в топку нагнетает вентилятор, а дымовые газы удаляет дымосос. В последнее время в мощных энергетических котельных установках широко применяется схема с наддувом. Топка и весь газовый тракт находятся под давлением 3-5 кПа. Давление создается мощными вентиляторами; дымосос отсутствует. Основной недостаток этой схемы — трудности, связанные с

обеспечением надлежащей герметичности топки и газоходов котельного агрегата.

Для получения тяги необходимо увеличивать высоту трубы или температуру уходящих газов. Однако при использовании любого из этих способов необходимо иметь в виду, что высота трубы ограничена ее стоимостью и прочностью, а температура газов – оптимальным значением КПД котельной установки. Поэтому большинство современных котельных установок оборудуют искусственной тягой, для создания которой применяют дымосос, преодолевающий сопротивление газового тракта. В этом случае высоту трубы выбирают в соответствии с санитарно-техническими требованиями.

βНапор воздуха, создаваемый вентилятором, также следует определять на основании аэродинамического расчета воздушного тракта (воздуховодов, воздухоподогревателя, горелочного устройства и т.д.) Максимальный напор вентилятора должен быть на 10% больше ($\eta = 1,1$) потерь напора в воздушном тракте котельного агрегата.

Основы водоподготовки. Одной из основных задач безопасной эксплуатации котельных установок является организация рационального водного режима, при котором не образуется накипь на стенках испарительных поверхностей нагрева, отсутствует их коррозия и обеспечивается высокое качество вырабатываемого пара. Пар, вырабатываемый в котельной установке, возвращается от потребителя в конденсированном состоянии; при этом количество возвращаемого конденсата обычно бывает меньше, чем количество выработанного пара.

Потери конденсата и воды при продувке восполняются за счет добавки воды из какого-либо источника. Эта вода должна быть соответствующим образом подготовлена до поступления в котельный агрегат. Вода, прошедшая предварительную подготовку, называется *добавочной*, смесь возвращаемого конденсата и добавочной воды – *питательной*, а вода, которая циркулирует в контуре котла, *котловой*.

От качества питательной воды зависит нормальная работа котельных агрегатов. Физико-химические свойства воды характеризуют следующие показатели: прозрачность, содержание взвешенных веществ, сухой остаток, солесодержание, окисляемость, жесткость, щелочность, концентрация растворенных газов (CO_2 и O_2).

Прозрачность характеризуется наличием взвешенных механических и коллоидных примесей, а содержание взвешенных веществ определяет степень загрязнения воды твердыми нерастворимыми примесями. **Топливоподача.** Для нормальной и бесперебойной работы котельных установок требуется, чтобы топливо к ним подавалось непрерывно. Процесс подачи топлива складывается из двух основных этапов: 1) подача

топлива от места его добычи на склады, расположенные вблизи котельной; 2) подача топлива со складов непосредственно в котельные помещения.

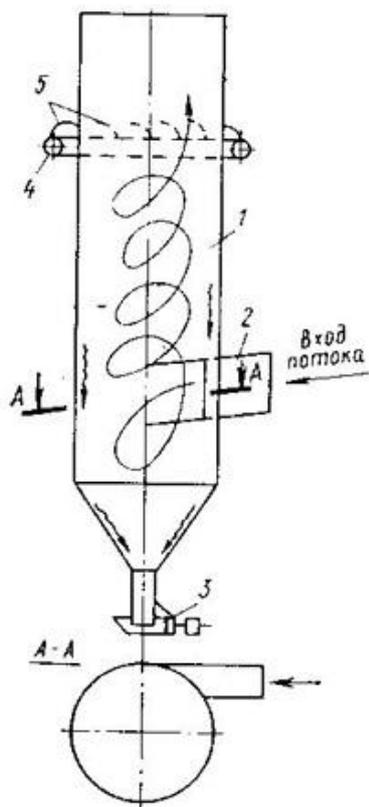


Рис.14.5. Схема центробежного скруббера конструкции ВТИ
1-корпус; 2-выходной патрубок;
3-клапан; 4-коллектор подвода воды; 5-оросительные сопла.

Очистка дымовых газов и удаление золы и шлака. При сгорании твердого топлива образуется много золы. При слоевом процессе сжигания основная часть минеральных примесей топлива (60-70%) превращается в шлак и проваливается через колосниковые решетки в зольник. В пылеугольных топках большая часть (75-85%) золы уносится из котлоагрегатов с дымовыми газами.

В настоящее время в котельных применяют следующие типы золоуловителей: 1) инерционные механические; 2) мокрые; 3) электрофильтры; 4) комбинированные.

Инерционные (механические) золоуловители работают по принципу выделения золовых частиц из газового потока под влиянием сил инерции.

В настоящее время широко применяются золоулавители мокрого типа. На рис.14.5 показана схема мокрого золоулавителя (скруббера) с нижним тангенциальным подводом запыленного газа.

Принцип действия электрофильтров заключается в том, что запыленные газы проходят через электрическое поле, образуемое между стальным цилиндром (положительный полюс) и проволокой, проходящей по оси цилиндра (отрицательный полюс). Основная масса частиц золы получает отрицательный заряд и притягивается к стенкам цилиндра, незначительная часть частиц золы получает положительный заряд и притягивается к проволоке. При периодическом встряхивании электрофильтра электроды освобождаются от золы. Электрофильтры применяют в котельных с расходом дымовых газов более $70000 \text{ м}^3/\text{ч}$, отнесенных к нормальным условиям.

Комбинированные золоуловители являются двухступенчатыми, при этом работа каждой ступени основана на различных принципах. Чаще всего комбинированный золоуловитель состоит из батарейного циклона (первая ступень) и электрофильтра (вторая ступень).

Процесс золошлакоудаления можно разделить на две основные операции: очистка шлаковых и зольных бункеров и транспортировка золы и шлака на золоотвалы или шлакобетонных изделий.

Тепловой баланс котельного агрегата.

Тепловой баланс котельного агрегата устанавливает равенство между поступающим в агрегат количеством теплоты и его расходом. На основании теплового баланса определяют расход топлива и вычисляют коэффициент полезного действия, эффективность работы котельного агрегата.

В котельном агрегате химически связанная энергия топлива в процессе горения преобразуется в физическую теплоту горючих продуктов сгорания. Эта теплота расходуется на выработку и перегрев пара или нагревания воды. Вследствие неизбежных потерь при передаче теплоты и преобразования энергии вырабатываемый продукт (пар, вода и т.д.) воспринимает только часть теплоты. Другую часть составляют потери, которые зависят от эффективности организации процессов преобразования энергии (сжигания топлива) и передачи теплоты вырабатываемому продукту.

Уравнение теплового баланса для установившегося теплового состояния агрегата записывают в следующем виде:

$$Q_p = Q_1 + Q_f$$

или

$$Q_{\delta} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 \quad (14.1)$$

где Q_p – теплота, которой располагают; Q_1 – использованная теплота; $Q_{\text{п}}$ – общие потери; Q_2 – потери теплоты с уходящими газами; Q_3 – потери теплоты от химического недожога; Q_4 – потери теплоты от механической неполноты сгорания; Q_5 – потери теплоты в окружающую среду; Q_6 – потери теплоты с физической теплотой шлаков.

Левая приходная часть уравнения теплового баланса (14.1) является суммой следующих величин:

$$Q_{\delta} = Q_{\text{в.вн}} + Q_{\text{а.а}} + Q_{\text{т.а}} + Q_{\text{физ.т.}} \quad (14.2)$$

где $Q_{\text{в.вн}}$ – теплота, вносимая в котлоагрегат с воздухом на 1 кг топлива; эта теплота учитывается тогда, когда воздух нагревается вне котельного агрегата (например, в паровых или электрических калориферах, устанавливаемых до воздухоподогревателя); если воздух нагревается только в воздухонагревателе, то, теплота не учитывается, так как она возвращается в топку агрегата; $Q_{\text{пар}}$ – теплота, вносимая в топку с дутьевым (форсуночным) паром на 1 кг топлива; $Q_{\text{физ.т.}}$ – физическая теплота 1 кг или 1 м³ топлива.

Теплоту, вносимую с воздухом, рассчитывают по равенству:

$$Q_{\dot{a},\dot{a}i} = \frac{b' V^0 \tilde{n}_o}{(T_{\dot{a},\dot{a}c} - \dot{O}_{\dot{o},\dot{a}c})}, \quad (14.3)$$

где b' – отношение количества воздуха на входе в воздухоподогреватель к теоретически необходимому; $c_p' = 1,33$ кДж/(м³·К), при температуре воздуха до 600К; $T_{г.вз}$, $T_{х.вз}$ – температуры горячего и холодного воздуха, обычно $T_{х.вз} = 300$ К.

Теплоту, вносимую с паром для распыления мазута (форсуночный пар), находят по формуле:

$$Q_{i,\dot{o}\delta} = W_{\dot{o}} (i_{\dot{o}} - r), \quad (14.4)$$

где $W_{\dot{o}}$ – расход форсуночного пара, равный 0,3-0,4 кг/кг; $i_{\dot{o}}$ – энтальпия форсуночного пара, кДж/кг; r – теплота парообразования, кДж/кг.

Физическая теплота 1 кг топлива:

$$Q_{\dot{o}\delta c,\dot{o}} = \tilde{n}_o (\dot{O}_{\dot{o}} - 273), \quad (14.5)$$

где $c_{\dot{o}}$ – теплоемкость топлива, кДж/(кг·К); $T_{\dot{o}}$ – температура топлива.

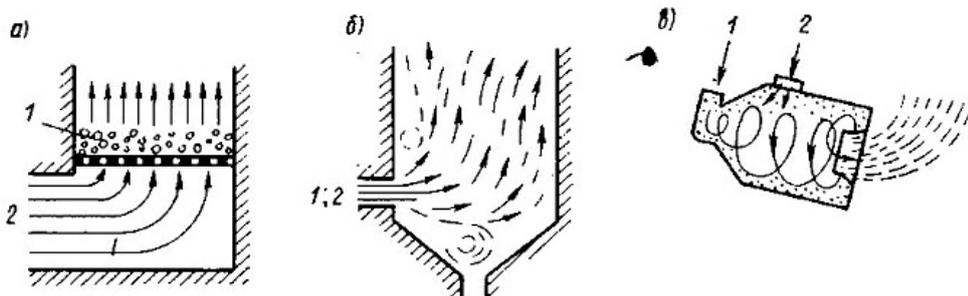
Если предварительный подогрев воздуха и топлива отсутствует и пар для распыления топлива не используется, то $Q_{\dot{o}\delta}^{\dot{o}} = Q_{i,\dot{o}}^{\dot{o}}$.

Топочные устройства

Топка – один из основных элементов котельного агрегата. В ней происходит процесс горения, при котором химическая энергия топлива преобразуется в тепловую энергию продуктов сгорания, передаваемую далее жидкости и пару, находящимся в котле.

Существующие топочные устройства можно разделить на *слоевые* и *камерные*.

Слоевые топки предназначены для сжигания твердого топлива в слое на колосниковой решетке. В камерных топках сжигается твердое топливо во взвешенном состоянии в виде пыли и дробленых частиц, а также жидкое, распыляемое с помощью форсунок, и газообразное. Камерные топки подразделяются на *факельные* и *вихревые*.



На рис.15.1 показаны схемы слоевого, факельного и вихревого способов сжигания

Рис. 15.1. Схемы способов сжигания твердого топлива
а – слойной; б – факельной; в – вихревой; 1 – топливо; 2 – воздух

топлива. При слоевом способе сжигания необходимый для горения воздух попадает к слою топлива через колосниковую решетку.

При факельном способе сжигания твердое топливо предварительно размалывается в мельницах и пыль вместе с воздухом (аэросмесь) попадает в топку. Время пребывания газа и пыли в объеме топки незначительно (1,5-2 с).

Циклонный способ сжигания основан на использовании закрученных топливовоздушных потоков. Транспорт топлива осуществляется воздухом. Топливные частицы циркулируют по определенным траекториям в течение времени, необходимого для завершения их сгорания. Под действием центробежных сил частицы движутся в виде уплотненного пристенного слоя, интенсивно перемешиваясь с воздухом. Время пребывания частиц в циклонной камере выбирается достаточным для выгорания грубой пыли (размер частиц – 200 мкм) или дробленого топлива (размер частиц до 5 мм).

Слоевые топки. По способу механизации операций обслуживания (подача топлива, шировка слоя, удаление золы и шлака) слоевые топки делятся на ручные (немеханизированные), полумеханические и механические. В полумеханических топках механизирована часть операций. В механических топках механизированы все операции.

Классификации наиболее типичных и относительно широко распространенных топочных устройств со слоевым сжиганием топлива показана на рис.15.2.

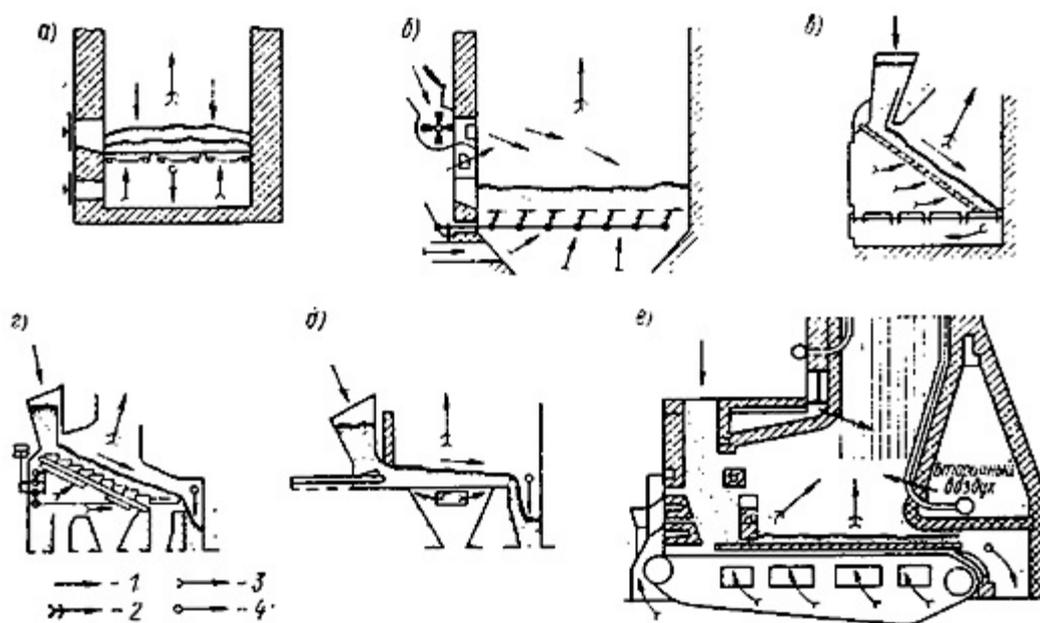


Рис. 15.2. Схемы слоевых топков

1 - топливо; 2 - воздух; 3 - продукты сгорания; 4 - очаговые остатки

В зависимости от способа организации процесса сжигания топлива слоевые топки можно разделить на три группы:

1) с неподвижной колосниковой решеткой и неподвижным слоем топлива (рис. 15.2, а, б);

2) с неподвижной колосниковой решеткой и перемещением топлива по решетке (рис. 15.2 в, г, д);

3) с подвижной колосниковой решеткой и движущимся вместе с ней слоем топлива (рис. 15.2 е).

В показанную на рис. 15.2, а топку топливо загружают вручную и вручную удаляют очаговые остатки через зольник. Из-за большой затраты физического труда топки этого типа используют только для котлов малой паропроизводительности (до 0,5 кг/с).

На рис. 15.2, б показана полумеханическая топка с пневмомеханическим забрасывателем (ПМЗ) (рис. 15.3) и ручными поворачивающимися колосниками (РПК).

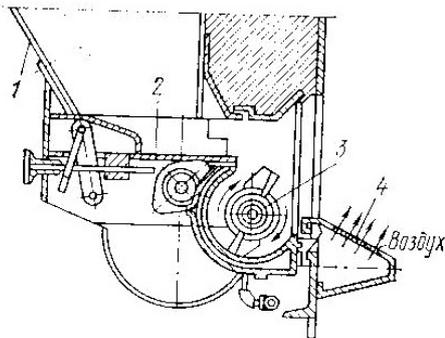


Рис. 15.3. Пневмомеханический забрасыватель топлива

1 — бункер; 2 — питатель; 3 — роторный метатель; 4 — сопловая решетка

Топливо забрасывается питателем ПМЗ и равномерно распределяется по решетке, Удаляют очаговые остатки путем их сбрасывания в зольный бункер при повороте колосников около своей оси от ручного привода. В топке, показанной на рис. 15.2, в, загрузка осуществляется под воздействием собственного веса топлива. Топки с наклонной решеткой (с углом 40-50, что соответствует углу естественного откоса сжигаемого топлива) используют обычно для сжигания древесных отходов и кускового торфа. Возвратно-поступательное движение

колосников на наклонно-переталкивающей решетке (рис. 15.2, г) дает возможность осуществить непрерывную шуровку слоя топлива, В таких топках возможно сжигание горючих сланцев, бурых углей с большой зольностью и повышенной влажностью и каменных углей с большим выходом летучих веществ.

Топки с шурующей планкой (рис. 15.2, д) предназначены для сжигания многозольных бурых и неспекающихся каменных углей. Шурующая планка выполняется в виде трехгранной призмы из литого чугуна или стали. Угол наклона передней плоскости к горизонтальной плоскости составляет 35, а задней — 15. При движении вперед (к задней стенке топки) топливо подрезается задней гранью и осуществляется шуровка горящего слоя топлива.

Камерные топки для сжигания твердого топлива используют в котельных агрегатах средней (10-42 кг/с) и большой (42 кг/с) производительности.

Основные преимущества камерных топок заключаются в следующем:

- 1) возможность экономичного использования практически всех сортов угля, в том числе и низкокачественных, которые трудно сжигать в слое;
- 2) хорошее перемешивание топлива с воздухом, что позволяет работать с небольшим избытком воздуха ($\alpha = 1,2 - 1,25$);
- 3) возможность повышения единичной мощности котельного агрегата;
- 4) относительная простота регулирования режима работы и, следовательно, возможность полной автоматизации топочного процесса.

Сжигание топлива

Сжигание твердого топлива в факеле. Большое значение для работы пылеугольных топок имеет конструкция применяемых горелок. Горелки должны обеспечивать хорошее перемешивание топлива с воздухом, надежное зажигание аэросмеси, максимальное заполнение факелом топочной камеры и легко поддаваться регулированию по производительности в заданных пределах.

Сжигание мазута и газов в топках. Жидкое топливо, сжигаемое в топках, подвергается предварительному распылению с помощью форсунки, являющейся элементом горелки. Пол горелкой в общем случае понимается агрегат, включающий помимо форсунки воздухонаправляющий аппарат, запальное устройство и механизм управления.

Качественное сжигание жидкого топлива обуславливается тонкостью его распыления. Для этой цели используют форсунки, которые, кроме того, обеспечивают необходимый диапазон регулирования расхода топлива и устойчивое зажигание смеси.

В зависимости от способа распыления топлива форсунки подразделяются на четыре класса: механические, паровые, воздушные (пневматические) и комбинированные. На рис. 15.4 показаны принципиальные схемы применяемых форсунок.

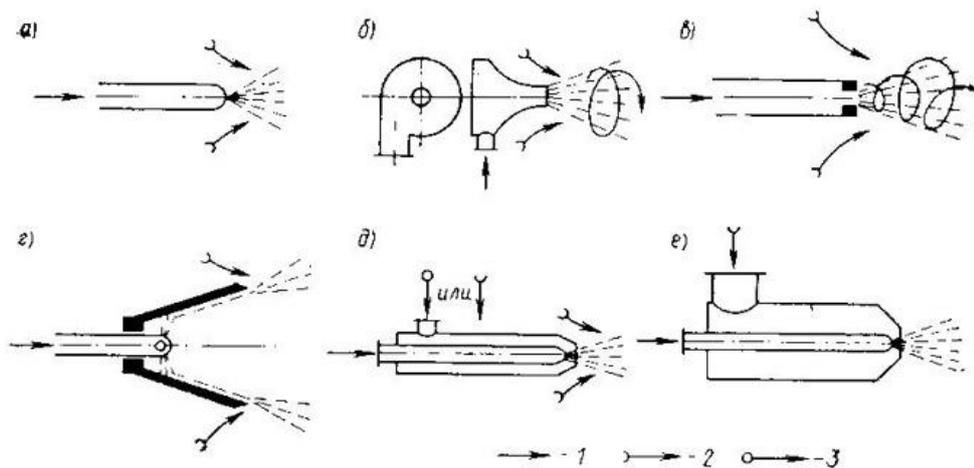


Рис. 15.4. Принципиальные схемы мазутных форсунок

1 — топливо; 2 — воздух; 3 — пар

Форсунки с механическим распылением разделяют на прямоструйные, центробежные и ротационные. В прямоструйных форсунках (Рис.15.4,а) дробление струи топлива на мельчайшие капли происходит при его продавливании под значительным давлением (1-2 Мпа) через сопло малого диаметра.

В центробежных форсунках (Рис.15.4,б,в) топливо распыляется под действием центробежных сил, возникающих при закручивании топливного потока.

В ротационных форсунках (Рис.15.4,г) топливо подается внутрь быстро вращающегося распыливающегося стакана, где оно растекается под действием центробежных сил, образуя тонкую пленку. На выходной кромке стакана тонкая пленка подхватывается подводимым первичным воздухом.

Паровые и пневматические форсунки можно объединить в один класс – форсунки с распыливающей средой. В паровых форсунках (Рис.15.4,д) в качестве такой среды используют водяной пар с давлением 0,4-1,6 Мпа., а в пневматических форсунках (Рис.15.4,е) используют воздух низкого (0,002-0,008 Мпа) и высокого (0,2-1 Мпа и выше) давления. Газовые горелки бывают:

кинетические- полного предварительного смешения (газ с воздухом смешивается до выхода из горелки);

диффузионно-кинетические– частичного предварительного смешения;

диффузионные – внешнего смешения.

По способу подачи воздуха горелки делятся на *инжекционные* и *дутьевые* (принудительной подачей воздуха).

На рис.15.5 показаны основные принципиальные схемы газовых горелок.

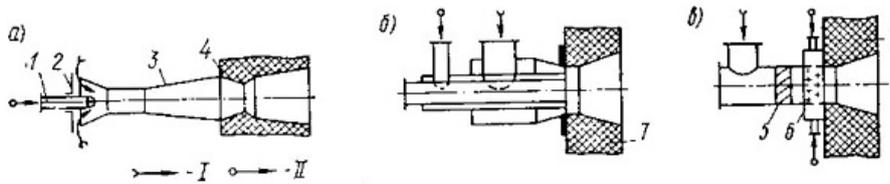


Рис. 15.5. Схемы горелок для сжигания газа

1 – газовое сопло; 2 – регулирующая воздушная заслонка; 3 – смеситель; 4 – керамическая насадка; 5 – лопаточный завихритель; 6 – газовый коллектор; 7 – обмуровка топки; I – воздух; II – газ

15.3. Теплотехнические показатели работы топок.

Важнейшая теплотехническая характеристика топочных устройств, основываясь на которой решают вопросы их конструкции и оценивают интенсивность работы, – *тепловое напряжение объема топочного пространства*. Оно выражается отношением Q/V_T и представляет собой количество теплоты, выделившейся при сжигании определенного количества топлива в единицу времени V и приходящейся на 1 куб.м объема топочного пространства, т.е.:

$$q_v = \frac{Q}{V_T} = \frac{Q^p_i \cdot B}{V_T} \quad (15.1)$$

Единицей измерения q для является Вт/м³.

Если значение q будет превышать определенную числовую величину, установленную практически, то за время нахождения в топке топливо не сгорит полностью. Опыт эксплуатации котельных агрегатов показал, что для различных видов топлива, способов сжигания и конструкций топок допустимое значение q_v изменяется в широких пределах. Например, для слоевых топок с неподвижной решеткой и ручным забросом топлива $q_v = 290 - 350 \text{ Вт} / \text{м}^3$, у слоевых механизированных топок $q_v = 290 - 465 \text{ Вт} / \text{м}^3$, для камерных топок при сжигании угольной пыли $q_v = 145 - 230 \text{ Вт} / \text{м}^3$, а при сжигании в них газа или мазута $q_v = 230 - 460 \text{ Вт} / \text{м}^3$.

В слоевых топках, в которых часть топлива сгорает в слое, а другая часть в топочном пространстве, применяют еще одну характеристику интенсивности тепловой работы топки, называемую *тепловым напряжением зеркала горения* имеющую вид:

$$q_R = \frac{Q}{R} = \frac{Q^p_i}{R} \quad (15.2)$$

Единицей измерения для q_R является Вт/м²; B – кг/с; Q^p_i – Дж/кг и для R – м³.

Эта характеристика представляет собой количество теплоты, выделившейся при сжигании определенного количества топлива в единицу времени и приходящейся на 1 м² площади поверхности зеркала горения. Установлено, что чем больше q_R , тем больше потеря теплоты от механического недожога вследствие уноса из пределов топки мелких, не успевших сгореть частиц топлива. Значения теплового напряжения зеркала золы, конструкции топки и т.д. и изменяются в широких пределах – от 350 до 1100 кВ/м². Очевидно, что чем больше значение q_u и q_R для заданных размеров топки и одного и того же вида топлива, тем интенсивней (форсированней) протекает работа топки, т.е. больше сжигается топлива в единицу времени и больше вырабатывается теплоты. Однако форсировать топку можно лишь до определенного предела, ибо в противном случае возрастают потери от химической и механической неполноты сгорания и снижается КПД.

Задание

Задано топливо и паропроизводительность котельного агрегата D . Определить состав рабочей массы топлива и его низшую теплоту сгорания, способ сжигания топлива, тип топки. Значение коэффициента избытка воздуха в топке найти теоретическое количество воздуха, необходимое для сгорания 1 кг (м³) топлива, и объем продуктов сгорания при α_T , а также теоретическую температуру горения.

Исходные данные, необходимые для решения задачи» выбрать из таблицы 8.

Последняя цифра шифра	Вид топлива	Предпоследняя цифра шифра	D , т/ч
0	Подмосковный уголь К2 (бурый)	0	10
1	Канско-Ачинский уголь Б2 (бурый)	1	16
2	Донецкий уголь Г (газовый)	2	25
3	Кузнецкий бассейн	3	35
4	Райчихинский уголь	4	50
5	Печорский уголь Ж (жирный)	5	75
6	Мазут малосернистый	6	90
7	Газ из газопровода «Дашава - Киев»	7	120
8	Газ из газопровода Ставрополь-Москва»	8	160

9	Черемховский уголь	9	210
---	--------------------	---	-----

Указания:

1. Состав и низшая теплота сгорания топлива, а также рекомендации по выбору типа топки и коэффициента избытка воздуха приведены в приложении 3.

2. При определении температуры горения температуру воздуха перед топкой принимать;

а) $t_b = 400 \text{ }^\circ\text{C}$ при факельном сжигании бурых углей;

б) $t_b = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ при сжигании углей в слое на неподвижных колосниковых решетках и при сжигании газа или мазута под котлами $cD < 10 \text{ т/ч}$;

в) $t_b = 200 \text{ }^\circ\text{C}$ в остальных случаях.

Определение температуры горения производить с помощью 1) h, t -диаграммы, для построения которой предварительно вычислить энтальпии продуктов сгорания при температурах порядка $1500 \text{ }^\circ\text{C}$ и $2000 \text{ }^\circ\text{C}$

Ответить на вопрос: Как зависит теоретическая температура горения от коэффициента избытка воздуха $a_{\text{т}}$ и температуры воздуха перед топкой.

Пример решения

<p>Дано: $D = 90 \text{ т/ч}$ Черемховский уголь</p>	<p>Решение: По рекомендациям приведенным в приложении В определяем состав топлива, по которому видно что уголь относится к каменным углям, к сорту Д (длиннопламенный) с рабочим составом:</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th>Ср</th> <th>Нр</th> <th>Sp</th> <th>Np</th> <th>Op</th> <th>Ar</th> <th>Wp</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>49.8</td> <td>3.2</td> <td>0.4</td> <td>0.8</td> <td>6.3</td> <td>34</td> <td>5.5</td> </tr> </tbody> </table> <p>$Q_{\text{min}} = 17.9 \text{ ГДж/т}$</p>	Ср	Нр	Sp	Np	Op	Ar	Wp	49.8	3.2	0.4	0.8	6.3	34	5.5
Ср	Нр	Sp	Np	Op	Ar	Wp									
49.8	3.2	0.4	0.8	6.3	34	5.5									
<p>Найти: Q_{min} - ? $a_{\text{о}}$ - ? $t_{\text{а.д}}$ - ? Тип топки Рабочий состав топлива $V_{\text{г.н}}$ - ? $V_{\text{а.г.}}$ - ?</p>	<p>Ввиду малой влажности $w < 30\%$ применяем пылеугольную топку, для которой рекомендуем $a_{\text{о}} = 1.2$ Запишем основные реакции горения $\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$ $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$ $\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_2$</p>														

Определим молярную массу компонентов реакции

		C	2H ₂	S		O ₂
μ	кг/кмоль	12	4	32		32

Вычислим удельный объем кислорода необходимый для полного сжигания 1 кг топлива с данным химическим составом, как сумму объемов необходимых для окисления каждого восстановительного элемента в отдельности, по формуле:

$$V_{O_2}^x = 0.01 \frac{22.4}{m_x}, \text{ где } x \text{ - элемент топлива.}$$

Для углерода:

$$V_{O_2}^C = 0.01 \frac{22.4}{12} = 0.018667 \text{ м}^3/\text{кг} \cdot \%$$

Остальные элементы аналогично, исключая азот, который в реакции при данной температуре не вступает.

		V _{O₂} ^C	V _{O₂} ^H	V _{O₂} ^S	V _{O₂} ^O	
V _{O₂} процентный	м ³ /кг топлива*%	0.018667	0.056	0.007	0.007	
V _{O₂}	м ³ /кг топлива	0.8568	0.1904	0.0014	0.0623	0.9863

Суммарный расход воздуха при a = 1 рассчитывается по формуле:

$$V_{O_2} = V_{O_2}^C + V_{O_2}^H + V_{O_2}^S - V_{O_2}^O$$

Объем азота поступающего с воздухом найдем из пропорции

$$\frac{V_{O_2}}{21} = \frac{V_{N_2}}{79}$$

$$V_{N_2} = 3.71 \text{ м}^3/\text{кг}$$

При избытке воздуха в топке a₀ = 1.2 объем газов будет равен объему газов, получаемому при сжигании топлива при стехиометрическом отношении равном 1 плюс объему кислорода и азота из воздуха, которые в реакции не участвовали.

	V _{CO2}	V _{H2O}	V _{SO2}	V _{N2}	V _{O2}
м3/кг топлива	0.8568	0.352178	0.0014	4.45244	0.19726

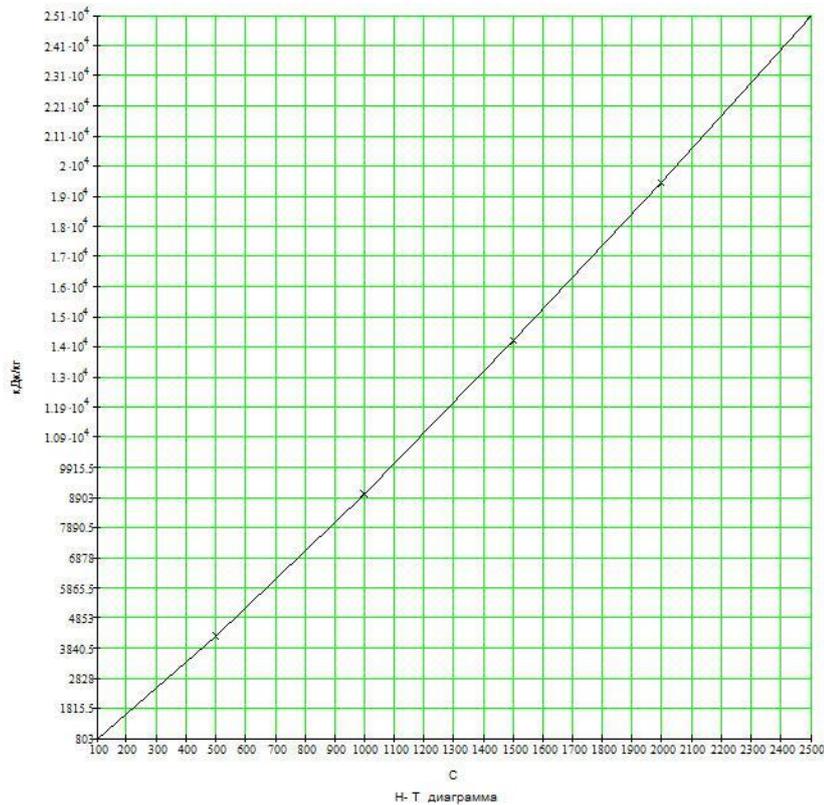
Находим энтальпию продуктов сгорания при различных температурах.

$$\dot{I} \delta \tilde{a} = \sum_{i=1}^j V_i \times (Cv)_i = \left(V_{Ro2} (Cv)_{Ro2} + V_{H_2O} (Cv)_{H_2O} + V_{N_2} \times (Cv)_{N_2} + V_{O_2} \times (Cv)_{O_2} \right) \times$$

Сводим вычисленные данные в таблицу:

temp, °C	Cv, КДж/м3*°C				H, КДж/м3
	RO2	H2O	N2	O2	
100	1.7186	1.499	1.297	1.3087	803.5786
500	2	1.5943	1.3327	1.4024	4244.141
1000	2.221	1.7283	1.3965	1.4822	9024.942
1500	2.3545	1.8585	1.4503	1.5343	14152.78
2000	2.4494	1.9694	1.4889	1.5737	19470.64
2500	2.5091	2.0593	1.5175	2.0593	25103.36

Строим график



H_v – энтальпия поступающего в камеру сгорания воздуха при $t = 200^\circ\text{C}$, $a_o = 1.2$

$$H_v = V_{\text{air}} \cdot c_p \cdot t = 5.636 \cdot 31 \cdot 200 = 1481 \text{ Дж/кг}$$

Теоретическая (без потерь) температура горения.

$$t_{\text{ad}} = \frac{Q_i + H_v}{\sum_{i=1}^g V_i \cdot c_{p,i}}$$

$$Q_i + H_v = 17900 + 1481 = 19.318 \text{ Дж/кг}$$

Значение находится на графике, по которому и определяется температура.

$$t_{\text{ad}} = 1990^\circ\text{C}$$

Ответ: $t_{\text{ad}} = 1990^\circ\text{C}$, $a_o = 1.2$, $Q_{\text{min}} = 17.9 \text{ Дж/кг}$, $V_{a_o} = 5.636 \text{ м}^3$

	V_{CO_2}	$V_{\text{H}_2\text{O}}$	V_{SO_2}	V_{N_2}	V_{O_2}
м ³ /кг топлива	0.8568	0.352178	0.0014	4.45244	0.19726

При повышении избытка воздуха энтальпия продуктов сгорания возрастает, а энергетика топлива остается неизменной, поэтому температура горения

снижается. Тепло тратится на нагрев компонентов воздуха, который в реакции не участвует. При повышении температуры перед топкой энтальпия воздуха возрастает и температура реакции повышается.

Вопросы для самоподготовки

1. Дайте определение понятию топливо.
2. Состав топлива, что это?
3. Какие характеристики топлива вы знаете.
4. Горение это?
5. Какие топочные устройства вы знаете?

5. , которое зависит от температуры и влажности ($d = f(T; \varphi)$). По найденному значению d ищем энтальпию при двух состояниях. Т.к. процесс нагрева изобарный, то количество теплоты = изменение энтальпии. Обычно воздух рассматривают при давлении 1 бар. Для этой величины применяют формулы давления насыщенного пара.

$$\lg p_s = 5,9778 - \frac{2224,4}{T}$$

Парциальное давление паров воды:

$$p_n = p_s \cdot \varphi$$

$$d = \frac{0,622 p_n}{1 - p_n}$$

Влагосодержание:

Энтальпия: $h = t + d \cdot (2501 + 1,97t)$

6. Оформление

1. Парциальное давление паров воды: $p_n = p_s \cdot \varphi$, парциальное давление насыщенного пара:

$$\lg p_s = 5,9778 - \frac{2224,4}{T}$$

$$\lg p_{s1} = 5,9778 - \frac{2224,4}{293} = -1,614$$

$$p_{s1} = 0,024 \text{ бар}$$

$$\lg p_{s2} = 5,9778 - \frac{2224,4}{343} = -0,507$$

$$p_{s1} = 0,311 \text{ бар}$$

$$p_{n1} = 0,024 \cdot 0,3 = 7,2 \cdot 10^{-3} \text{ бар}$$

$$p_{n2} = 0,311 \cdot 0,1 = 0,0311 \text{ бар}$$

$$d = \frac{0,622 p_n}{1 - p_n}$$

2. Удельное влагосодержание:

$$d_1 = 4,51 \cdot 10^{-3} \text{ кг / кг}$$

$$d_2 = 20 \cdot 10^{-3} \text{ кг / кг}$$

3. Энтальпия:

$$h = t + d \cdot (2501 + 1,97t)$$

$$h_1 = 20 + 4,51 \cdot 10^{-3} \cdot (2501 + 1,97 \cdot 20) = 31,457 \text{ кДж / кг}$$

$$h_2 = 70 + 20 \cdot 10^{-3} \cdot (2501 + 1,97 \cdot 70) = 122,778 \text{ кДж / кг}$$

4. Количество теплоты: $Q = h_2 - h_1 = 91,32 \text{ кДж / кг}$

Ответ: $Q = 91,32 \text{ кДж/кг}$

Оформить выводы.