

Лабораторная работа № 1

ОБРАБОТКА ИНДИКАТОРНЫХ ДИАГРАММ

Цель работы

Изучение установки для индицирования двигателей внутреннего сгорания и методики обработки индикаторных диаграмм.

Задачи работы

Ознакомление с приборами, установленными в лаборатории и с принципами их устройства. Обработка индикаторной диаграммы.

Обработка индикаторных диаграмм

Таблица 1 - Результаты обработки индикаторной диаграммы

α°	y_x , мм	P_{ax} , МПа	$\lg P_{ax}$	A	V_c , см ³	V_x , см ³	V_c+V_x , см ³	$\lg(V_c+V_x)$
300								
310								
320								
330								
340								
350								
360								
370								
380								
390								
400								
410								
420								
430								
440								
450								
460								
470								
480								
490								
500								

Соответствующие объемы цилиндра (через каждые 10 мм) определяются по формуле:

$$V_x = \frac{\pi D^2}{4} \cdot A \cdot R.$$

Проводим через точки разбивки перпендикуляры до пересечения с линиями индикаторной диаграммы и определим масштаб давления по формуле

$$\mu_p = \frac{P}{h},$$

$$P_x = y_x \mu_p.$$

Абсолютные давления точек, лежащих на линии индикаторной диаграммы, будут равны:

$$P_{ax} = P_x + 0,1 [\text{МПа}].$$

Рабочий объем цилиндра определяется по уравнению:

$$V_h = \frac{\pi D^2}{4} \cdot S_n, [\text{см}^3]$$

Объем камеры сжатия V_c определяется по уравнению:

$$V_c = \frac{V_h}{\varepsilon - 1}, [\text{см}^3],$$

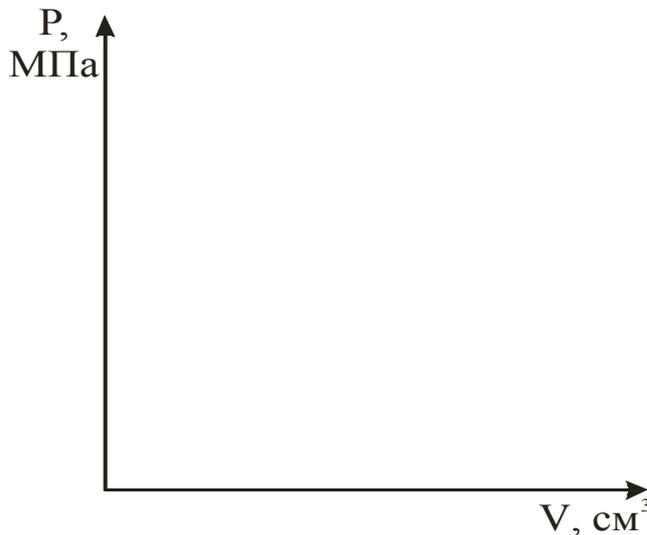


Рисунок 1 - Свернутая индикаторная диаграмма

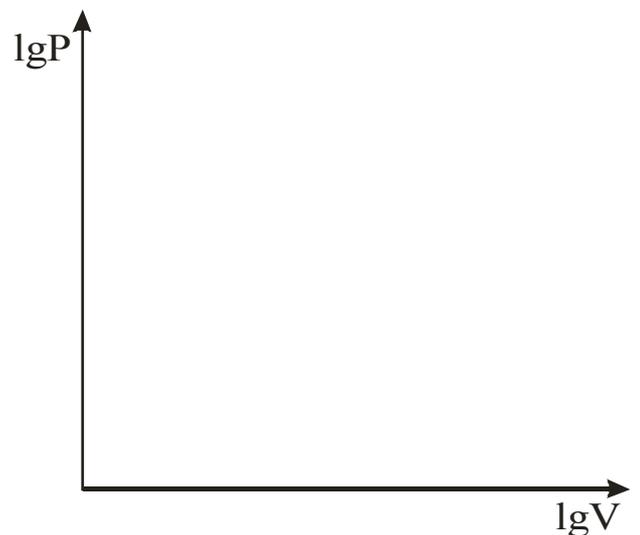


Рисунок 2 - Диаграмма для определения показателей политропы

Определив площадь индикаторной диаграммы в системе координат PV , подсчитываем среднее индикаторное давление P_i по уравнению:

$$P_i = \frac{F}{H} \mu_{\text{инд}} - 0,3, [\text{МПа}].$$

Определяем индикаторную мощность:

$$N_i = P_i \cdot V_h \cdot n \cdot i / (30 \cdot \tau_{\text{дв}}), [\text{кВт}].$$

Мощность механических потерь определяется из выражения:

$$N_{\text{м}} = P_{\text{м}} \cdot V_h \cdot n \cdot i / (30 \cdot \tau_{\text{дв}}), [\text{кВт}].$$

Эффективная мощность определится:

$$N_e = N_i - N_m, [кВт].$$

Среднее эффективное давление:

$$P_e = P_i - P_m, [МПа].$$

Индикаторный КПД определяется по формуле:

$$\eta_i = 3,6 \cdot 10^3 / (g_i \cdot Q_H).$$

Механический КПД определяется по формуле:

$$\eta_m = N_e / N_i.$$

Эффективный КПД определяется по формуле:

$$\eta_{\text{э}} = \eta_i \eta_m.$$

Эффективный удельный расход топлива находим из выражения:

$$g_e = \frac{3,6 \cdot 10^3}{\eta_{\text{э}} \cdot Q_H}, [\text{г/кВт ч}].$$

Показатели политроп сжатия и расширения определяются по уравнениям:

$$n_1 = \text{tg}\alpha_1; \quad n_2 = \text{tg}\alpha_2.$$

Выводы по работе: _____

Лабораторная работа № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТЕПЛОТДАЧИ И ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ОРЕБРЕННОГО ЦИЛИНДРА ДИЗЕЛЯ

Цель работы

Изучение теплопроводности цилиндра двигателя внутреннего сгорания.

Задачи работы

1. Ознакомление с опытной установкой для определения коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи.
2. Ознакомление с контрольно-измерительными приборами.
3. Определение коэффициента теплоотдачи.
4. Определение коэффициента теплопередачи.

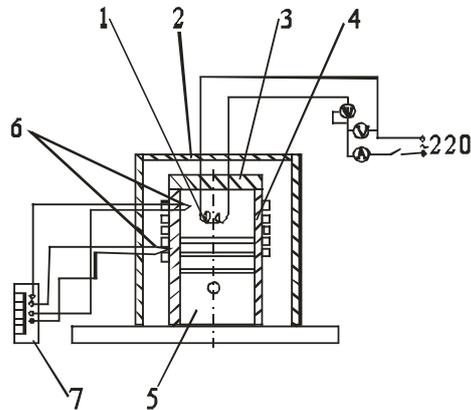


Рисунок 1 - Схема установки: 1 – нагревательный элемент; 2 – кожух; 3 – головка цилиндра; 4 – гильза цилиндра; 5 – поршень; 6 – термопары; 7 – потенциометр

Таблица 1 - Таблица опытных данных и результаты расчета

Показатели	Без охлаждения					С охлаждением				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Температура $t_{\text{вн.ц.}}$, °С										
Температура $t_{\text{ст.}}$, °С										
Температура $t_{\text{окр.ср.}}$, °С										
Полное количество тепла, Вт										
Приведенный коэффициент излучения, Вт/(м ² К ⁴)										
Тепло, переданное лучеиспусканием, Вт										
Тепло, переданное конвективным способом, Вт										
Коэффициент теплоотдачи:										
α_1 , Вт/(м ² К)										
α_2 , Вт/(м ² К)										
Коэффициент теплопередачи k , Вт/(м ² К)										

Количество тепла Q_k , отданное цилиндром воздуху или воздухом цилиндру при конвективном теплообмене, определяется из равенства:

$$Q_k = Q_{\text{пол}} - Q_{\text{л}}, [\text{Вт}].$$

Полное количество тепла определяется по расходу электроэнергии на нагреватель:

$$Q_{\text{пол}} = I \cdot U \cdot \tau, [\text{Вт}].$$

Количество тепла, передаваемое лучеиспусканием, подсчитывается по формуле:

$$Q_{\text{л}} = C_{\text{пр}} F_1 \left[\left(\frac{T_{\text{ст.}}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{окр.ср.}}}{100} \right)^4 \right], [\text{Вт}].$$

Приведенный коэффициент теплового излучения определяется по формуле:

$$C_{\text{пр}} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{F_1}{F_2} \left(\frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_0} \right)}, \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}^4} \right]$$

$C_1 = 17,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К}^4)$; $C_2 = 19,2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К}^4)$; $C_0 = 5,67 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К}^4)$; $F_1 = 0,26 \text{ м}^2$; $F_2 = 0,40 \text{ м}^2$.

Коэффициент теплопередачи определяют по формуле:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{\text{ст}}}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{1}{\alpha_2}}, \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}} \right],$$

где $\delta_{\text{ст}} = 0,0075 \text{ м}$; $\lambda_{\text{ст}} = 45,6 \text{ Вт}/(\text{м К})$.

Коэффициент теплоотдачи ребренного цилиндра дизеля вычисляется по формуле:

$$\alpha_1 = \frac{Q_{\text{к}}}{F_3 (T_{\text{вн.ц.}} - T_{\text{ст.}})}, \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}} \right],$$

$$\alpha_2 = \frac{Q_{\text{к}}}{F_1 (T_{\text{ст.}} - T_{\text{окр.ср.}})}, \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}} \right],$$

где $F_3 = 0,0361 \text{ м}^2$.

Температуры $T_{\text{вн.ц.}}$, $T_{\text{ст.}}$ и $T_{\text{окр.ср.}}$ определяются по формулам:

$$T_{\text{вн.ц.}} = \frac{t_{\text{вн.ц.1}} + t_{\text{вн.ц.2}} + \dots + t_{\text{вн.ц.n}}}{n} + 273, [\text{К}],$$

$$T_{\text{ст.}} = \frac{t_{\text{ст.1}} + t_{\text{ст.2}} + \dots + t_{\text{ст.n}}}{n} + 273, [\text{К}]; \quad T_{\text{окр.ср.}} = \frac{t_{\text{окр.ср.1}} + t_{\text{окр.ср.2}} + \dots + t_{\text{окр.ср.n}}}{n} + 273, [\text{К}].$$

Выводы по работе: _____

Лабораторная работа № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ЖИДКОСТНОГО РАДИАТОРА И РАСЧЕТ ВЕНТИЛЯТОРА ДЛЯ КАРБЮРАТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Цель работы

Изучение теплопроводности жидкостного радиатора и расчет вентилятора

Задачи работы

1. Ознакомление опытной установки для определения коэффициентов теплопередачи.
2. Ознакомление с контрольно-измерительными приборами.
3. Определение коэффициента теплопередачи.
4. Определение мощности вентилятора охлаждения.

Общие сведения

Опыт проводится на установке (рис. 1), которая представляет собой бак для нагрева воды, включающий в себя электротэны и термопару, а также водяной насос и радиатор. Для обдува радиатора имеется вентилятор. Измерение температуры воздуха и воды производится термометрами.

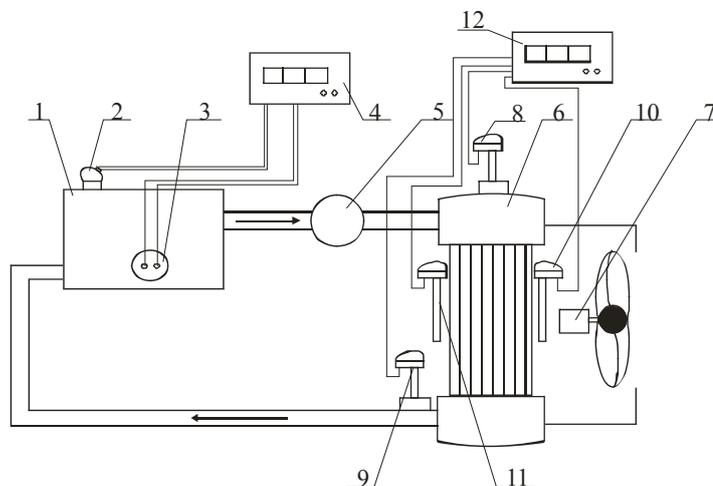


Рисунок 1 - Схема установки для определения теплоотдачи и теплопередачи жидкостного радиатора: 1 – бак с водой; 2 – термопара; 3 – нагревательный элемент; 4, 12 – прибор ОВЕН; 5 – водяной насос; 6 – радиатор; 7 – вентилятор; 8, 9 – термопары для определения температуры воды, соответственно, на входе и выходе из радиатора; 10, 11 – термопары для определения температуры воздуха до и после радиатора.

Проведение работы

Перед началом работы проверяют правильность включения измерительных приборов. Включают нагреватель в электрическую сеть и нагревают жидкость до необходимой температуры. Дать поработать установке в устано-

вившемся режиме в течение 5 минут, после чего проводить необходимые измерения.

Обработка результатов

Коэффициент теплопередачи радиатора определяется:

$$K = \frac{Q_{\text{пол}}}{F \cdot (T_{\text{ср.ж.}} - T_{\text{ср.возд.}})},$$

где $Q_{\text{пол}}$ - количество теплоты, отводимое жидкостью;

F – поверхность охлаждения радиатора, м^2 ;

$T_{\text{ср.ж.}}$ – средняя температура жидкости в радиаторе, К;

$T_{\text{ср.возд.}}$ – средняя температура воздуха, проходящего через радиатор, К.

Полное количество тепла определяется по расходу электроэнергии на нагреватель:

$$Q_{\text{пол}} = I \cdot U \cdot \tau, [\text{Вт}]$$

где I - сила тока нагревателя, А;

U - напряжение на клеммах нагревателя, В;

τ - время нагрева, с.

Исходя из измеренных значений $T_{\text{ж.вх.}}$ и $T_{\text{ж.вых.}}$ (соответственно, показания термометров 8 и 9 см. рис.1) и значений $T_{\text{возд.вх.}}$ и $T_{\text{возд.вых.}}$ (соответственно, показания термометров 10 и 11 см. рис.1) определяем среднюю температуру воды в радиаторе и среднюю температуру охлаждающего воздуха, проходящего через радиатор:

$$T_{\text{ср.ж.}} = \frac{T_{\text{ж.вх.}} + T_{\text{ж.вых.}}}{2},$$

$$T_{\text{ср.возд.}} = \frac{T_{\text{возд.вх.}} + T_{\text{возд.вых.}}}{2}.$$

По данным расчета жидкостного радиатора проводим расчет вентилятора.

Плотность воздуха при средней его температуре в радиаторе:

$$\rho_{\text{возд}} = \frac{\rho_0 \cdot 10^6}{R_v \cdot T_{\text{ср.возд}}}.$$

Производительность вентилятора

$$G_{\text{возд}} = \frac{G'_{\text{возд}}}{\rho_{\text{возд}}}.$$

Количество воздуха, проходящего через радиатор:

$$G'_{\text{возд}} = \frac{Q_{\text{пол}}}{c_{\text{возд}} \cdot \Delta T_{\text{возд}}},$$

где $\Delta T_{\text{возд}}$ – температурный перепад воздуха в решетке радиатора, К.

Фронтальная поверхность радиатора

$$F_{\text{фр.рад}} = \frac{G_{\text{возд}}}{\omega_{\text{возд}}},$$

где $\omega_{\text{возд}} = 20$ – скорость воздуха перед фронтом радиатора без учета скорости движения автомобиля, м/с.

Диаметр вентилятора

$$D_{\text{вент}} = 2\sqrt{\frac{F_{\text{фр.рад}}}{\pi}}.$$

Окружная скорость вентилятора

$$u = \psi_{\text{л}} \sqrt{\frac{\Delta p_{\text{тр}}}{\rho_{\text{возд}}}},$$

где $\psi_{\text{л}} = 3,41$ – безразмерный коэффициент для плоских лопастей.

Частота вращения вентилятора

$$n_{\text{вент}} = \frac{60 \cdot u}{\pi \cdot D_{\text{вент}}}.$$

Мощность, затрачиваемая на привод осевого вентилятора,

$$N_{\text{возд}} = \frac{G_{\text{возд}} \cdot \Delta p_{\text{тр}}}{1000 \cdot \eta_{\text{в}}},$$

где $\eta_{\text{в}} = 0,38$ – КПД вентилятора;

$\Delta p_{\text{тр}} = 800$ Па – напор, создаваемый вентилятором.

Оформление отчета

Отчет должен содержать схему установки с кратким ее описанием, таблицу опытных данных и полученных результатов. Сделать выводы по работе.

Таблица 1 - Таблица опытных данных и результаты расчета

Показатели	Результаты		
Температура $t_{\text{ж.вх.}}$, °С			
Температура $t_{\text{ж.вых.}}$, °С			
Температура $t_{\text{возд.вх.}}$, °С			
Температура $t_{\text{возд.вых.}}$, °С			
Полное количество тепла, Вт			
Коэффициент теплопередачи k , Вт/(м ² К)			
Мощность, затрачиваемая на привод вентилятора, кВт			

Лабораторная работа № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ВОДЫ

Цель работы

Освоение методики определения теплопроводности жидкостей и изучение теплопроводности воды.

Задачи работы

1. Определить распределение температурного напора по высоте водяного столба, нагреваемого сверху.
2. Определить величину коэффициента теплопроводности воды.
3. Определить величину температуропроводности воды.

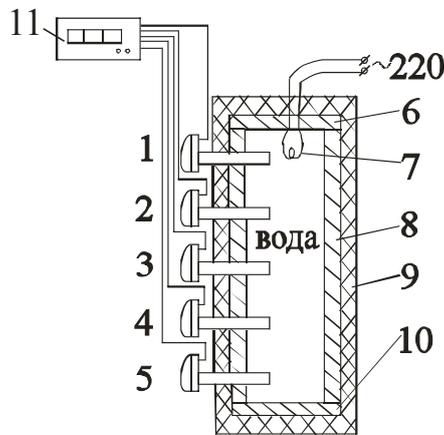


Рисунок 1 - Схема установки для определения коэффициента теплопроводности воды 1, 2, 3, 4, 5 - термосопротивления; 6 - фланец верхний; 7 - нагревательный элемент; 8 - труба; 9 - теплоизоляция; 10 - фланец нижний; 11 – прибор ОВЕН

Таблица 1 - Данные замеров и результаты расчетов

№ п/п	τ, мин	Показания прибора, °С					λ, Вт/(м·К)	S/λ	α	ρ ₁ , кг/м ³	C ₁ , кДж/(кг·К)	ρ ₂ , кг/м ³	C ₂ , кДж/(кг·К)	T _{ср} , К
		t ₁	t ₂	t ₃	t ₄	t ₅								

1. Величина коэффициента теплопроводности подсчитывается по формуле:

$$\lambda = \frac{U \cdot I \cdot S}{(t_1 - t_2) \cdot F \cdot 3600} \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}} \right].$$

2. Вычислить величину термического сопротивления:

$$\zeta = \frac{S}{\lambda}$$

3. Температуропроводность воды определяется по выражению:

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho_{\text{ср}} \cdot C_{\text{ср}}}$$

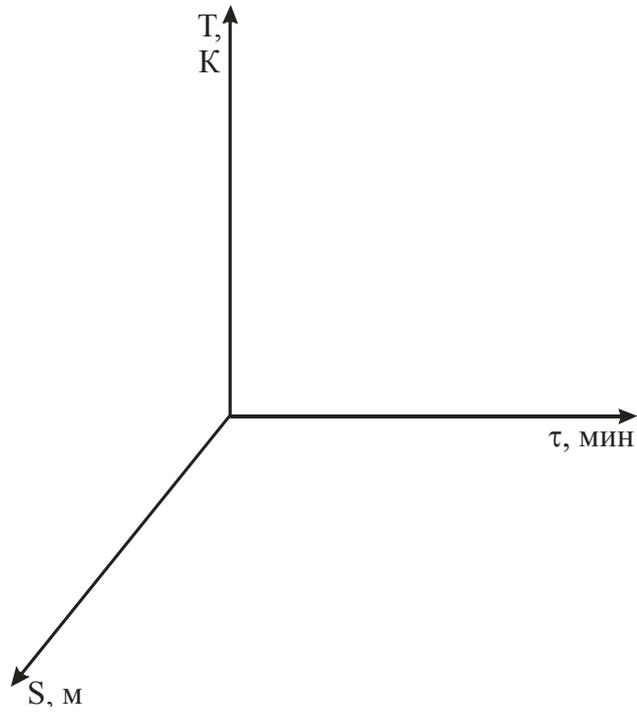


Рисунок 2 - Зависимость $T = f(\tau, S_i)$

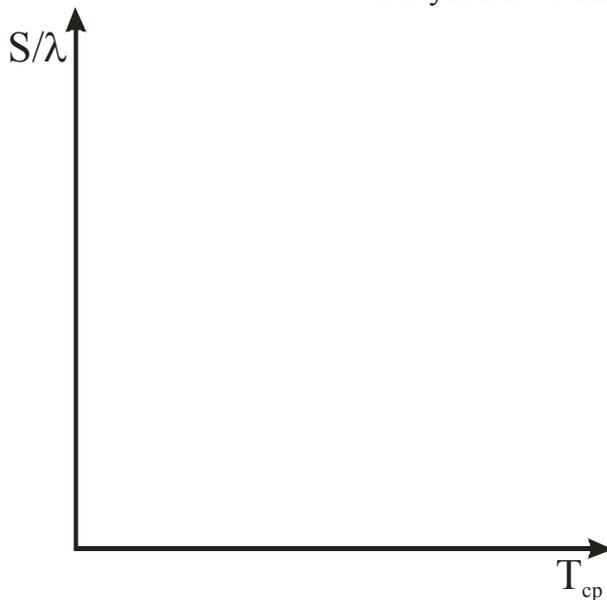


Рисунок 3 - Зависимость $S/\lambda = f(T_{\text{ср}})$

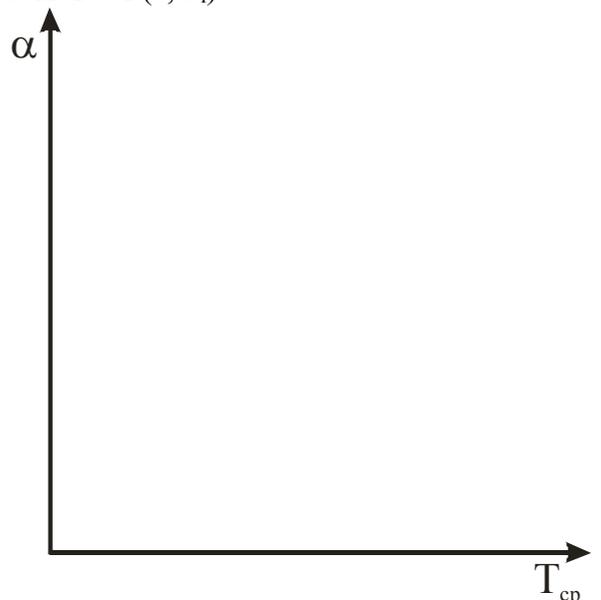


Рисунок 4 - Зависимость $\alpha = f(T_{\text{ср}})$

Выводы по работе: _____

Циркуляционное давление подсчитывается по следующей формуле:

$$P = 9,81(\rho_s - \rho_i)(1,5 - S_i), [\text{кПа}].$$

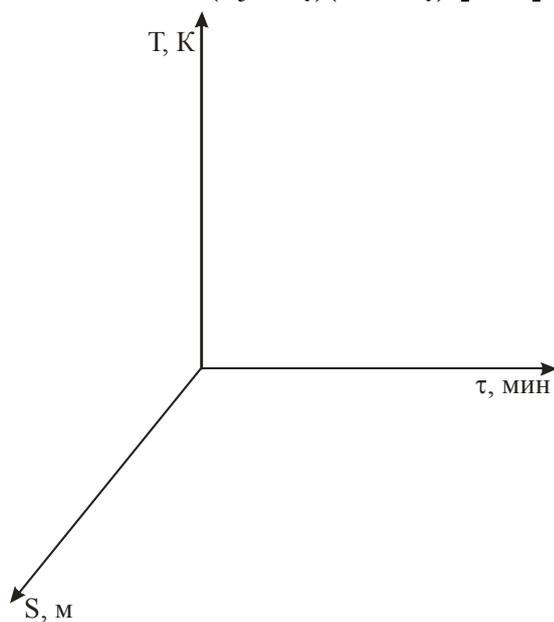


Рисунок 2 - Зависимость $T = f(\tau, S_i)$

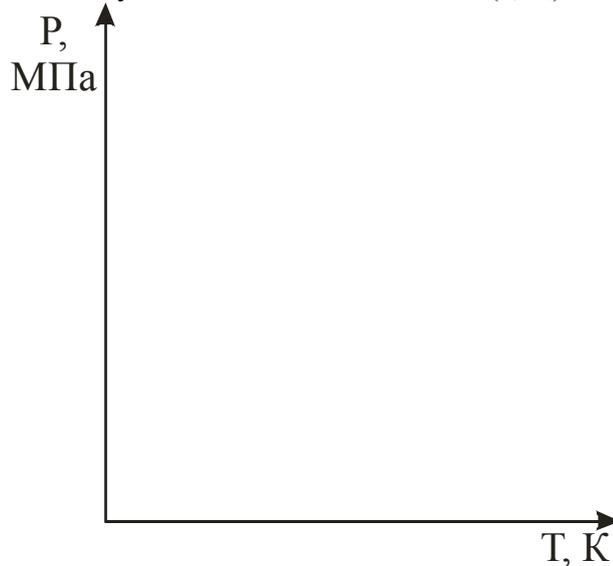


Рисунок 3 - Зависимость $P = f(T)$

Выводы по работе: _____

Лабораторная работа №6

ИССЛЕДОВАНИЕ РОТАЦИОННЫХ КОМПРЕССОРОВ

Цель работы

Освоение методики определения основных показателей ротационных компрессоров.

Задачи работы

1. Определение производительности роторного компрессора.
2. Определение мощности на привод компрессора.
3. Определение затраченной работы компрессора.

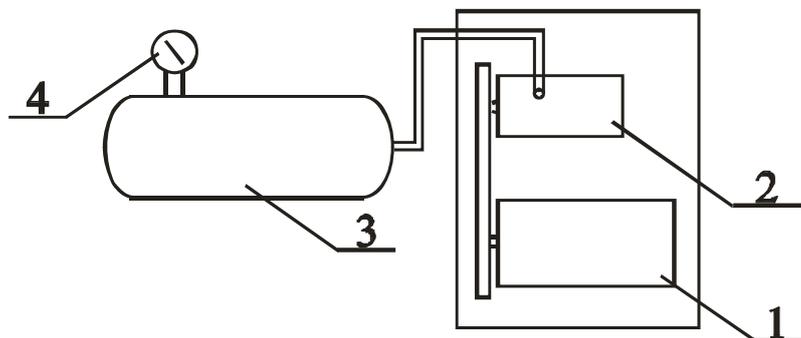


Рисунок 1 - Схема установки: 1 – электродвигатель; 2 – компрессор; 3 – ресивер; 4 - манометр

Обработка результатов испытания

Действительная производительность равна:

$$V_{\text{рот}} = \left(\lambda_{\text{рот}} \cdot \frac{\pi D - zS}{\pi D} \right) \cdot V_0 = \lambda_{\text{рот}} \cdot (\pi D - zS) \cdot 2 \text{мл}, \text{ м}^3/\text{мин.}$$

Коэффициент подачи ротационного компрессора

$$\lambda_{\text{рот}} = 1 - \frac{a \cdot p_{\text{вс}}}{p_{\text{наг}}}$$

Давление нагнетания определяется:

$$p_{\text{наг}} = p_{\text{бар}} + p_{\text{м}}$$

Эффективная мощность (кВт) равна:

$$N_{\text{е.рот}} = \frac{R \cdot T_0}{1000 \cdot \eta_{\text{из}}} \cdot \ln \frac{p_{\text{наг}}}{p_{\text{вс}}} \cdot V_{\text{рот}} \cdot \rho_{\text{вс}}$$

Работа, затраченная компрессором, определяется по формуле:

$$L = N_{\text{е.рот}} \cdot \tau, \text{ кДж.}$$

Объем, нагнетаемый компрессором, определяется из выражения:

$$\frac{p_{\text{наг}}}{p_{\text{вс}}} = \left(\frac{V_{\text{р}}}{V_{\text{наг}}} \right)^k$$

Таблица 1 - Опытные данные

$P_{\text{наг.}}, \text{ атм}$	$\tau, \text{ с}$
1,2	
1,4	
1,6	
1,8	
2,0	
2,2	
2,4	

Таблица 2 - Обработанные результаты

$P_{\text{наг.}}, \text{ атм}$	$V_{\text{рот}}, \text{ м}^3/\text{с}$	$V_{\text{наг}}, \text{ м}^3$	$N_{\text{е.рот}}, \text{ кВт}$	$L, \text{ кДж}$

Действительная производительность равна:

$$V_{\text{рот}} = \left(\lambda_{\text{рот}} \cdot \frac{\pi D - zS}{\pi D} \right) \cdot V_0 = \lambda_{\text{рот}} \cdot (\pi D - zS) \cdot 2\text{мл}, \text{ м}^3/\text{мин.}$$

Коэффициент подачи ротационного компрессора

$$\lambda_{\text{рот}} = 1 - \frac{a \cdot p_{\text{вс}}}{p_{\text{наг}}}.$$

Давление нагнетания определяется:

$$p_{\text{наг}} = p_{\text{бар}} + p_{\text{м.}}$$

Эффективная мощность (кВт) равна:

$$N_{\text{е.рот}} = \frac{R \cdot T_0}{1000 \cdot \eta_{\text{из}}} \cdot \ln \frac{p_{\text{наг.}}}{p_{\text{вс}}} \cdot V_{\text{рот}} \cdot \rho_{\text{вс}}.$$

Работа, затраченная компрессором, определяется по формуле:

$$L = N_{\text{е.рот}} \cdot \tau, \text{ кДж.}$$

Объем, нагнетаемый компрессором, определяется из выражения:

$$\frac{p_{\text{наг.}}}{p_{\text{вс}}} = \left(\frac{V_{\text{р}}}{V_{\text{наг}}} \right)^k.$$

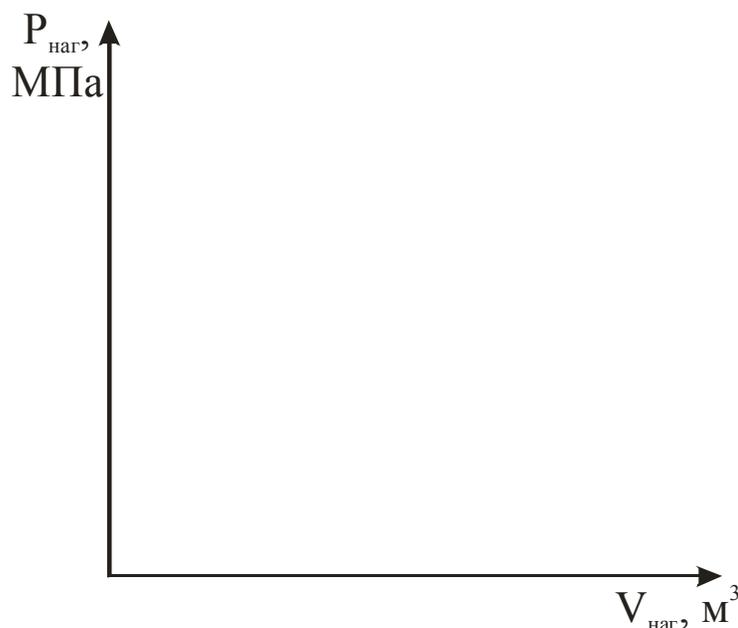


Рисунок 2 - Зависимость $p_{\text{наг}} = f(V_{\text{наг}})$

Выводы по работе: _____

Лабораторная работа № 7

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИСТЕЧЕНИЯ ВОЗДУХА ЧЕРЕЗ СУЖИВАЮЩЕЕСЯ СОПЛО

Цель работы

Исследование зависимости массового расхода воздуха через суживающееся сопло от отношения давления за соплом к давлению перед соплом.

Схема и описание установки

Воздух от ресивера поршневого компрессора (на схеме не показан) (рисунок 1) по трубопроводу поступает через измерительную диафрагму 1 к суживающемуся соплу 2. В камере 3 за соплом, куда происходит истечение, можно устанавливать различные давления выше барометрического путем изменения проходного сечения для воздуха с помощью вентиля 5. А затем воздух направляется в атмосферу. Сопло выполнено с плавным сужением. Диаметр выходного сечения сопла 2,15 мм. Суживающийся участок сопла заканчивается коротким цилиндрическим участком с отверстием для отбора и регистрации давления $P_{2м}'$ и температуры $t_{2д}$ в выходном сечении сопла (прибор 12). Измерительная диафрагма 1 представляет собой тонкий диск с круглым отверстием по центру и вместе с дифманометром 7 служит для измерения расхода воздуха.

Температура и давление воздуха в окружающей среде измеряются соответственно термометром 8 и чашечным ртутным барометром 6.

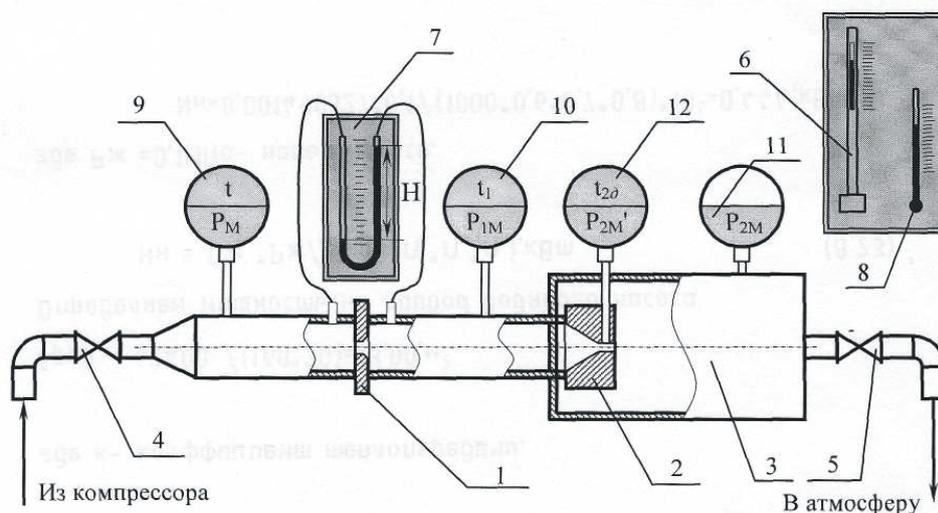


Рисунок 1 - Схема установки

Таблица 1 – Результаты наблюдений

№ п/п	Измеряемая величина	Обозначение	Единицы измерен.	Номера опытов										
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Показание манометра перед диафрагмой	P_M	атм											
2	Показание манометра перед соплом	P_{1M}	атм											
3	Показание манометра в выходном сечении сопла	$P_{2M'}$	атм											
4	Показание манометра за соплом	P_{2M}	атм											
5	Показания дифманометра	H	мм вод.ст.											
6	Температура перед диафрагмой	t	°C											
7	Температура перед соплом	t_1	°C											
8	Температура в выходном сечении сопла	$t_{2д}$	°C											
9	Температура окружающей среды	$t_в$	°C											
10	Показания барометра	B	мбар											

Температура и давление воздуха перед измерительной диафрагмой замеряется с помощью комбинированного прибора 9, а перед соплом - прибором 10.

Давление за соплом измеряется манометрической частью комбинированного прибора 11. Все показания приборов заносятся в протокол наблюдений (таблица 1).

Таблица 2 – Результаты расчетов

№ п/п	Измеряемая величина	Обозначение	Ед. измерен.	Номера опытов											
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
1	Давление перед диафрагмой	P	Па												
2	Давление перед соплом	P_1	Па												
3	Давление в выходном сечении сопла	P_2'	Па												
4	Давление за соплом	P_2	Па												
5	Отношение давлений	β	-												
6	Перепад давления на диафрагме	ΔP	Па												
7	Плотность воздуха перед диафрагмой	ρ	кг/м ³												
8	Действительный расход воздуха	G_d	кг/с												
9	Теоретическая температура в выходном сечении сопла	T_2	К												
10	Действительная температура в выходном сечении сопла	$T_{2д}$	К												
11	Теоретическая скорость истечения	W_2	м/с												
12	Действительная скорость истечения	$W_{2д}$	м/с												
13	Коэффициент потери энергии	ζ_c	-												
14	Коэффициент потери скорости	φ_c	-												
15	Коэффициент полезного действия канала	η_k	-												

Расчетные формулы и расчеты

Атмосферное давление находится с учетом температурного расширения столбика ртути барометра по формуле:

$$P_{\text{атм}} = \frac{B \cdot 10^2}{1 + 1,815 \cdot 10^{-4} \cdot t_{\text{окр}}}, \text{ Па.}$$

Перевод показаний образцовых манометров P_M , P_{1M} , P_{2M} и P_{2M} в абсолютные значения давлений по формуле:

$$P = P_{\text{атм}} + P_{Mj} = P_{\text{атм}} + g \cdot P_{Mj} \cdot 10^4, \text{ Па,}$$

где g - ускорение свободного падения, равное $9,81 \text{ м/сек}^2$;

P_{Mj} - показания одного из четырех манометров из таблицы 1.

Перепад давления воздуха на диафрагме

$$\Delta P = \rho \cdot g \cdot H, \text{ Па,}$$

где ρ - плотность воды в U-образном вакуумметре, равная 1000 кг/м^3 ;

H - показание дифманометра, переведенное в м вод. ст.

Плотность воздуха по состоянию перед диафрагмой:

$$\rho_B = \frac{P}{R \cdot (t + 273)}, \text{ кг/м}^3,$$

где R - характеристическая газовая постоянная воздуха, равная $287 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}$.

Действительный расход воздуха через диафрагму (следовательно, через сопло):

$$G_d = 2,745 \cdot 10^{-5} \cdot \sqrt{\rho_B \cdot \Delta P}, \text{ кг/с.}$$

Теоретическая скорость истечения в выходном сечении сопла:

$$W_2 = 44,72 \cdot \sqrt{h_1 - h_2} = 44,72 \cdot \sqrt{\Delta h}, \text{ м/с.}$$

Значения энтальпий воздуха i_1 и i_2 в сечениях на входе и на выходе из сопла определяется по общему уравнению:

$$i_j = c_p \cdot t_j, \text{ кДж/кг,}$$

где c_p - теплоемкость воздуха при постоянном давлении, которая может быть принята не зависящей от температуры и равной $1,006 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{°C)}$;

t_j - температура в рассматриваемом сечении, $^{\circ}\text{C}$;

j - индекс рассматриваемого сечения.

Теоретическое значение температуры в выходном сечении сопла находится из условия адиабатного процесса истечения по формуле:

$$T_2 = T_1 \cdot \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} = T_1 \cdot \beta^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}, \text{ К, а } t_2 = T_2 - 273, \text{ } ^{\circ}\text{C,}$$

где β - значение отношения давлений. Величину β принимают по данным таблицы результатов расчета (таблица 2) для конкретного опыта, когда режим истечения докритический, т.е. $\beta > \beta_{\text{кр}}$; для всех ос-

тальных опытов, когда $\beta = \beta_{кр}$ - критический и $\beta < \beta_{кр}$ - сверхкритический режимы, находится по уравнению $\beta_{кр} = \left(\frac{2}{\kappa+1}\right)^{\frac{\kappa}{\kappa-1}}$ при $\kappa = 1,4$.

Действительный процесс истечения сопровождается увеличением энтропии и температуры $T_{2д}$. Действительная скорость истечения при этом также уменьшается и может быть найдена по уравнению:

$$W_d = 44,72 \cdot \sqrt{\Delta h_d} = 44,72 \cdot \sqrt{h_1 - h_{2д}}, \text{ м/с.}$$

Коэффициент потери энергии находится по формуле $\zeta_c = \frac{\Delta h - \Delta h_d}{\Delta h}$.

Коэффициент потери скорости находится по формуле $\varphi_c = \frac{W_d}{W}$.

Коэффициент полезного действия канала рассчитывается по формуле

$$\eta_k = \frac{\Delta h_d}{\Delta h} = \frac{W_d^2}{W^2} \text{ или } \eta_k = \varphi_c^2 = 1 - \zeta_c.$$

По результатам расчетов построить в соответствующем масштабе график зависимости расхода газа от отношения давлений.

Выводы по работе: _____

Лабораторная работа № 8

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

Цель работы

Освоение одного из методов определения коэффициента теплопроводности теплоизоляционных материалов (метод цилиндрического слоя) и закрепление знаний по теории теплопроводности.

Схема и описание установки

Исследуемый материал 1 (рисунок 1) нанесен в виде цилиндрического слоя ($d_1 = 0,05, \text{ м}$; $d_2 = 0,02, \text{ м}$) на наружную поверхность металлической трубы 2. Длина цилиндра тепловой изоляции составляет 1 м, что значительно больше наружного диаметра.

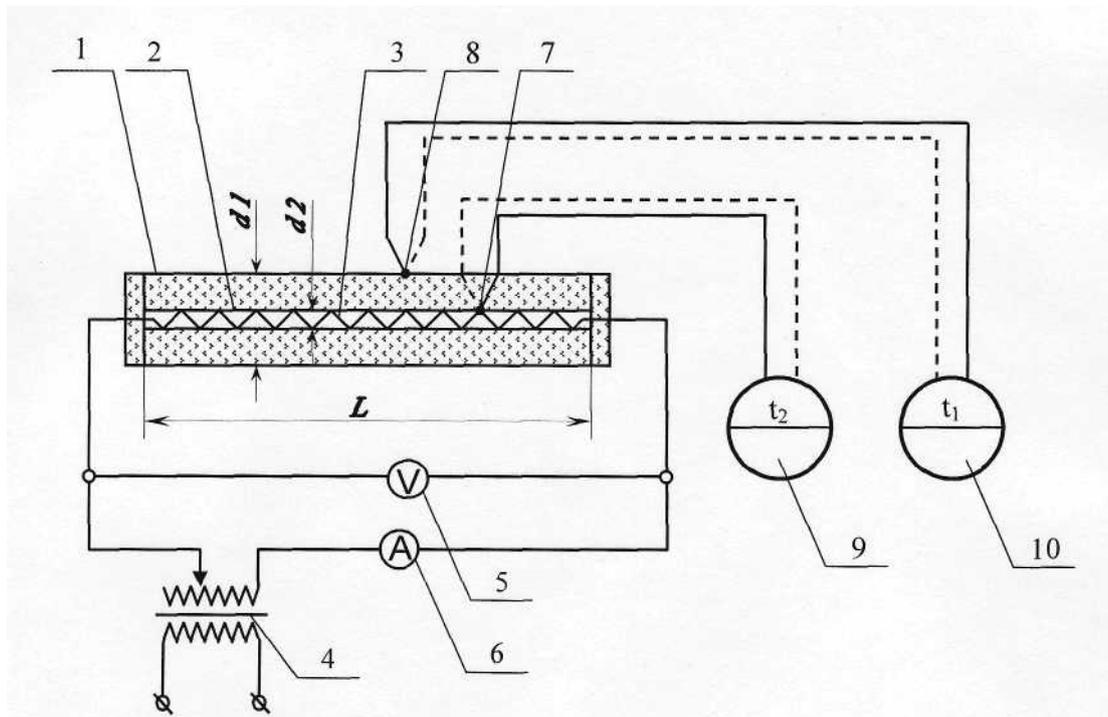


Рисунок 1 - Схема установки

Источником теплового потока служит электронагреватель 3, который включен в электрическую цепь через автотрансформатор 4. Для определения мощности теплового потока служат вольтметр 5 и амперметр 6. Для измерения температур на внутренней и наружной поверхностях тепловой изоляции применяются хромель-копелевые термопары 7 и 8 в комплекте с вторичными приборами 9 и 10.

Результаты измерений при достижении стационарного режима заносятся в протокол наблюдений (таблица 1). Стационарность режима оценивается по неизменности температур t_1 и t_2 во времени.

Таблица 1 - Исследуемый материал

№ п/п	Измеряемая величина	Обозначение	Единицы измерен.	Номера опытов				
				1	2	3	4	5
1	Сила тока	I	а					
2	Напряжение	U	в					
3	Температура внутренней поверхности слоя изоляции	t_2	°C					
4	Температура наружной поверхности слоя изоляции	t_1	°C					

Расчетные формулы и расчеты

Все расчеты сводятся к вычислениям коэффициента теплопроводности на основе выражения по формуле:

$$\lambda = \frac{Q \cdot \ln \frac{d_1}{d_2}}{2 \cdot \pi \cdot l \cdot (t_2 - t_1)}, \text{ Вт/(м} \cdot \text{град)}.$$

Мощность теплового потока по формуле:

$$Q = I \cdot U, \text{ Вт.}$$

Средняя температура тепловой изоляции:

$$t_{\text{cp}} = \frac{t_1 + t_2}{2}, \text{ }^\circ\text{C}.$$

Результаты расчетов должны быть продублированы в форме сводной таблицы 2.

Таблица 2 - Исследуемый материал

№ п/п	Измеряемая величина	Обозначение	Единицы измерен.	Номера опытов				
				1	2	3	4	5
1	Тепловой поток	Q	Вт					
2	Средняя температура исследуемого материала	t_{cp}	$^\circ\text{C}$					
3	Коэффициент теплопроводности исследуемого материала	λ	Вт/(м·град)					
4	Температурный коэффициент	β	1/град					

По результатам расчетов построить в соответствующем масштабе график зависимости коэффициента теплопроводности от средней температуры тепловой изоляции. Пользуясь графиком, определить коэффициент β , характеризующий влияние температуры на теплопроводность материала. При обработке графического материала характер зависимости представить в виде уравнения прямой линии:

$$\lambda_t = \lambda_0 \cdot (1 + \beta \cdot t_{\text{cp}}).$$

Выводы по работе: _____
