

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ
АВТОМОБИЛЬНО – ДОРОЖНЫЙ ИНСТИТУТ
ГОСУДАРСТВЕННОГО ВЫСШЕГО УЧЕБНОГО ЗАВЕДЕНИЯ
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Автомобильный транспорт»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к выполнению лабораторных работ
по курсу «Теплотехника»

Горловка 2014

1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ К ПРОВЕДЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Методические указания к лабораторным работам составлены в соответствии с программой курса теплотехники.

Перед началом работ в лаборатории руководитель занятий проводит инструктаж со студентами по общим правилам безопасности, приемам работы с отдельными приборами и установками, мерам пожарной профилактики. По окончании инструктажа студенты расписываются в специальном журнале, где указывается дата проведения инструктажа и фамилия преподавателя.

Перед проведением лабораторной работы студенты обязаны изучить устройство и работу лабораторного стенда, а также соответствующие методические указания. Для самостоятельной проверки знаний рекомендуется ответить на контрольные вопросы, приведенные в конце каждой лабораторной работы. Теоретический разбор для выявления подготовленности студентов проводится преподавателем в начале каждого занятия.

В процессе выполнения работ студенты должны строго придерживаться методики проведения опытов и указаний преподавателя.

2. УСТРОЙСТВО ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Универсальный лабораторный стенд предназначен для проведения ряда лабораторных работ по курсу теплотехники. На рис.2.1 показана схема стенда. Стенд выполнен в виде двух конструктивно несообщающихся между собой воздушных контуров 6 и 16, которые позволяют в зависимости от положения переключателей подогреть, охладить и циркуляцию воздуха. Стенд включает компрессор 1, конструктивно объединенный в один агрегат с электродвигателем 2 двухскоростной электродвигатель 5 для привода центробежного 3 и осевого 4 вентиляторов, два теплообменника 7 и 8. Для проведения измерений стенд оборудован крыльчатым анемометром 14, двумя психрометрами 11 и 12, спиртовыми термометрами 9 и 10, нагревательными элементами 13, которые позволяют варьировать степень нагрева циркулирующего воздуха. Теплообменники

и компрессорный агрегат соединяются между собой системой трубопроводов. В качестве рабочего тела в стенде использован хладагент "Хладов-22".

На рис.2.2 показана принципиальная электрическая схема стенда.

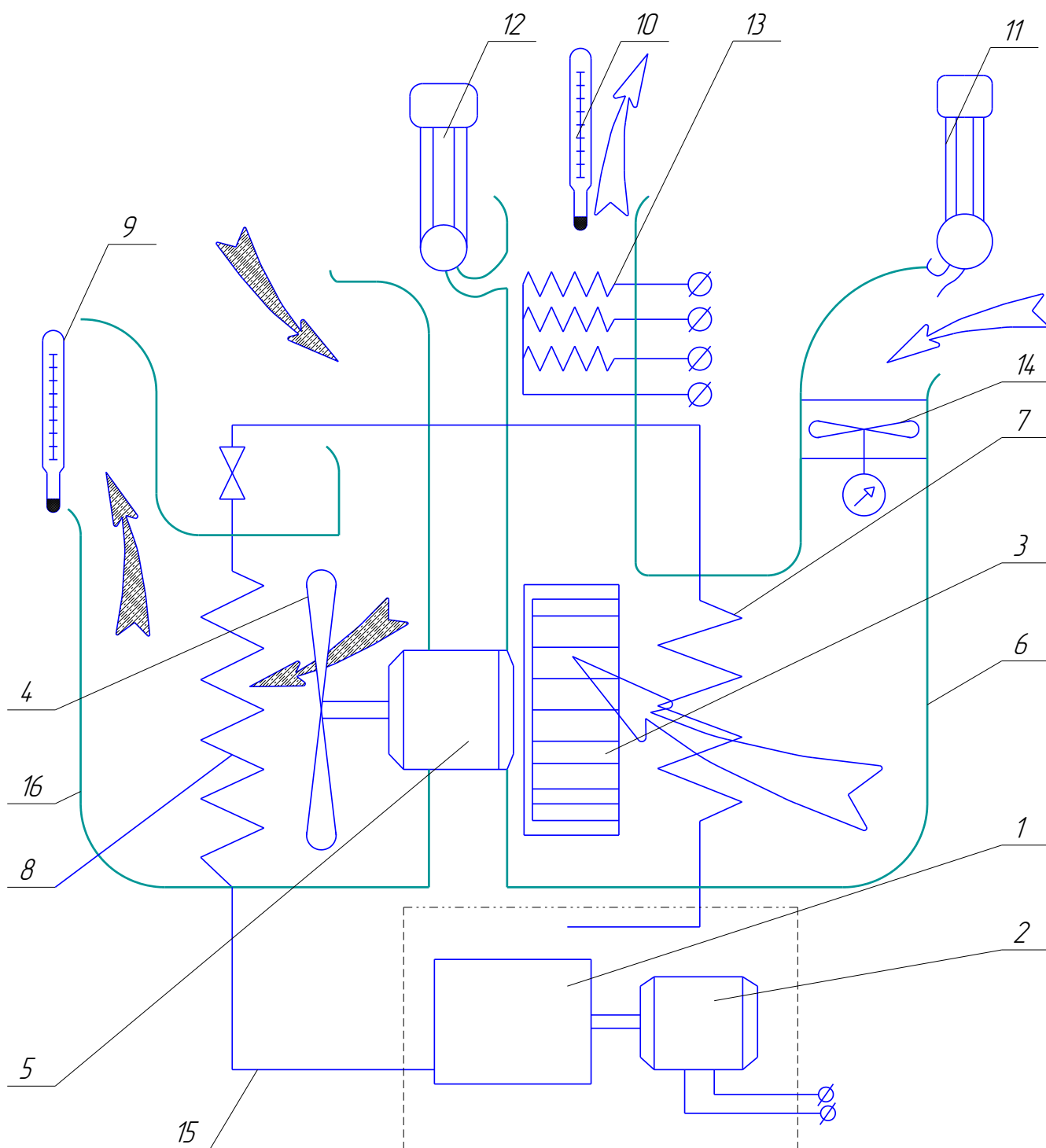


Рис. 2.1 Схема стенда

Схема включает цепи питания высокого напряжения (220 В, показаны жирной линией) и низкого напряжения (24 В). Для получения низкого напряжения используется трансформатор Тр1. Питание основных двигателей стенда - двигателя привода вентиляторов Д1, компрессора Д2, нагревательных элементов Н1-Н3, двигателей привода вентиляторов психрометров ДЗ и Д4 осуществляется от сети напряжением 220В.

Лампочки освещения шкал и контрольной сигнализации Л1-Л6 питания от сети напряжением 24В. Реле Р1 служит для блокировки включения нагревательных элементов без включения двигателя вентилятора стенда. Включение основных двигателей стенда осуществляется выключателем В1, который имеет четыре возможных положения: 1 - "охлаждение сильно"; 2 - "охлаждение слабо"; 3 - "вентиляция сильно"; 4 - "вентиляция слабо".

Сопротивление R1, конденсаторы С1-С3, реле Р2-Р4 служат для пуска и защиты обмоток двигателей от перегрузки. Для контроля напряжения сети в схеме предусмотрен вольтметр V1. Амперметры А1 и А2 предназначены для замера потребляемого тока основными двигателями и нагревательными элементами. Назначение остальных элементов понятно из схемы.

2.1. Работа стенда в качестве холодильной установки и теплового насоса

В этом случае работают оба основных двигателя стенда. Работа может осуществляться в двух режимах "слабо" и "сильно".

Воздух из помещения лаборатории всасывается центробежным вентилятором 3 (см. рис.2.1) в контур 6 холодного теплообменника 7 и направляется вновь в помещение лаборатории. В то же время осевой вентилятор 4 осуществляет циркуляцию воздуха через контур горячего теплообменника 8. Система воздушных каналов не позволяет смешивание воздушных потоков внутри стенда. Для перевода стенда в рассматриваемые режимы работы нужно перевести выключатель В1 (см. рис. 2.2) в положение 1 - "охлаждение сильно" или в положение 2 - "охлаждение слабо". Включение измерительных приборов производится в зависимости от необходимых измерений.

2.2. Работа стенде в режиме вентиляции

На этих режимах работает только двигатель Д1 (см. рис. 2.2). Движение воздуха через каналы стенда происходит так же, как описано выше.

Работа в режиме вентиляции может осуществляться в четырех различных режимах:

- 1 - вентиляция слабо без подогрева;
- 2 - вентиляция сильно без подогрева;
- 3 - вентиляция слабо с подогревом;
- 4 - вентиляция сильно с подогревом.

Степень подогрева воздуха зависит от числа включенных нагревателей и положения переключателя скорости двигателя Д1. Совместное включение нагревательных элементов и двигателя позволяет получить шесть различных по степени подогрева воздуха режимов работы стенда.

Для перевода стенда в режим вентиляции выключатель В1 следует перевести в положение 3 - "вентиляция сильно" или 4 - "вентиляция слабо". Нагревательные элементы включаются по необходимости выключателями В5-В7.

При изменении режима работы стенда измерение параметров осуществляется после стабилизации теплового состояния установки, контролируемого по показаниям термометров - примерно через 3-5 мин.

Для уменьшения случайных ошибок на каждом режиме работы стенда в интервале 1-2 мин производится не менее 3 измерений параметров, и подсчитываются среднеарифметические значения, которые в дальнейшем заносятся в таблицу испытаний.

3. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1

АНАЛИТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕГО ТЕЛА

3.1. Задачи работы

1 Изучение основных термодинамических параметров состояния и их роли для проведения термодинамических исследований и контроля работы тепловых установок.

2 Изучение методик экспериментального определения термодинамических параметров состояния и аналитических зависимостей при их расчете, условных обозначений, единиц измерения в системе СИ.

3 Расчет термодинамических параметров состояния и построение графиков их изменения от температуры рабочего тела.

3.2. Методические рекомендации

В теплотехнике в качестве рабочих тел в основном используются различные газы, смеси их и пары разных веществ. В курсе "Теплотехника" студенты специальности 1609 изучают следующие параметры состояния рабочих тел:

- v - удельный объем и плотность ρ ;
- P - абсолютное давление;
- T - абсолютная температура;
- U - внутренняя энергия (удельная);
- i - энтальпия (удельная);
- S - энтропия (удельная).

Следует помнить, что удельный объем тела v , м³/кг, есть величина, обратная плотности тела ρ , кг/м³. Важно знать следующие соотношения:

$$v = \frac{V}{m}; \rho = \frac{1}{v}; v \cdot \rho = 1; V = \frac{m}{\rho}; m = \rho \cdot V = \frac{V}{v}. \quad (3.1)$$

В этих формулах V - объем тела, м^3 ;

m - масса тела, кг.

Удельный объем и плотность газообразных рабочих тел зависят от давления и температуры, поэтому чаще всего в таблицах эти параметры состояния приводятся при нормальных условиях:

$$P = 101,325 \text{ кПа (760 мм рт.ст.) и } t = 0^\circ\text{C}.$$

Абсолютное давление отсчитывается от абсолютного нуля давления (вакуума).

Следует помнить, что из всех приборов, измеряющих давление, только барометр показывает абсолютное давление. При измерении в атмосфере барометр показывает атмосферное (барометрическое) давление B .

Манометры показывают манометрическое или избыточное давление $P_{\text{ман}}$ или $P_{\text{изб}}$, тогда абсолютное давление рабочего тела

$$P = B + P_{\text{ман.}} \quad (3.2)$$

Вакуумметры показывают разрежение $P_{\text{вак}}$ по отношению к атмосферному давлению, тогда абсолютное давление рабочего тела

$$P = B - P_{\text{вак.}} \quad (3.3)$$

В соответствии с системой единиц СИ за единицу давления принят один паскаль (Па). Размерность паскаля Н/м^2 используется только при проверке размерности производных единиц, зависящих от давления. Следовательно, вместо 10 Н/м^2 следует писать 10 Па.

Один паскаль - очень небольшое давление (равно давлению 0,102 мм вод.ст.), поэтому в технике используются более крупные единицы измерения давления:

$$1 \text{ МПа} = 10^6 \text{ Па}; 1 \text{ бар} = 10^5 \text{ Па}; 1 \text{ кПа} = 10^3 \text{ Па}; 1 \text{ ГПа} = 10^9 \text{ Па}.$$

В лабораторных работах и научных исследованиях широко пользуются ртутные и водяные манометры. Полученные при этом значения давлений должны быть приведены в Па, кПа и ГПа по зависимостям:

$$1 \text{ мм рт.ст.} = 133,322 \text{ Па}; 1 \text{ мм вод.ст.} = 9,8067 \text{ Па}.$$

Если давление измеряется ртутным манометром или барометром при температуре $t^{\circ}\text{C}$, то показания этих приборов приводятся к 0°C по следующей зависимости:

$$P_{\text{оман}} = P_{\text{ман}} (1 - 0,000172t), \quad (3.4)$$

где $P_{\text{оман}}$ - показания ртутного манометра (барометра), приведенные к 0°C ;

$P_{\text{ман}}$ - действительное давление при температуре воздуха;

0,000172 - коэффициент объемного расширения ртути.

В термодинамических уравнениях, в частности в уравнениях состояния, используется только абсолютное давление. Использование манометрического или вакуумметрического давления в расчетах вместо абсолютного давления приводит к ошибочным результатам расчета.

Абсолютная температура T измеряется в кельвинах (К). Кельвин представляет собой $1/273,16$ часть термодинамической температуры тройной точки воды T_a . Тройная точка воды - это температура, при которой все три фазы воды (лед, вода, пар) в закрытом герметичном сосуде находятся в равновесии.

Для тарировки шкалы в градусах Цельсия удобно пользоваться вторичной реперной точкой равновесного состояния между льдом и водой в воздушной среде (температура таяния льда). Температура этой точки $T_0 = 273,15 \text{ K}$ или $t_0 = 0^{\circ}\text{C}$.

Таким образом, температура тройной точки воды T_a выше температуры таяния льда на 0,01 градуса, т.е.

$$T_a = T_o + 0,01 = 273,15 + 0,01 = 273,16 \text{ K}.$$

Так как цена деления шкалы Цельсия равна цене деления абсолютной шкалы Кельвина, то между показаниями этих шкал существуют зависимости

$$T = t + 273,15 \text{ K}, \quad (3.5)$$

$$t = T - 273,15^{\circ}\text{C}. \quad (3.6)$$

Система единиц СИ допускает пользование без ограничений шкалами температур Цельсия и Кельвина.

Следует помнить, что в термодинамических уравнениях используется только абсолютная температура, т.к. только она является параметром состояния. Использование температуры в градусах Цельсия вместо абсолютной температуры приводит к ошибочным результатам расчета. Исключение составляют уравнения, где используется разность температур. Так как цена делений шкалы Цельсия и шкалы Кельвина равна, то

$$T_2 - T_1 = t_2 - t_1 \quad \text{т.е. } \Delta T = \Delta t.$$

Следовательно, подстановка в уравнение Δt вместо ΔT не вносит ошибки в расчеты.

Параметр внутренней (удельная) энергия U характеризует сумму всех видов внутренней энергии рабочего тела, отнесенной к единице его массы. Размерность U - Дж/кг. Методами термодинамики невозможно определить полную внутреннюю энергию тела. Поэтому во всех термодинамических расчетах ограничиваются определением только изменения внутренней энергии тела ΔU .

Принято условно считать, что при $t_0 = 0^\circ\text{C}$ внутренняя энергия равна нулю $U_0 = 0$. Тогда, если термодинамический процесс осуществляется от $t_1 = 0^\circ\text{C}$ (U_1) до t_2 (U_2), то $\Delta U = U_2 - U_1 = U_2 = U$. Следовательно, табличные значения внутренней энергии U при температуре t °C есть изменение внутренней (удельной) энергии при изменении температуры от 0 до t °C.

В любом элементарном процессе изменение внутренней энергии газа

$$du = C_v dT, \quad (3.7)$$

где C_v , Дж/(кг·K)- массовая изохорная теплоемкость тела.

Под энтальпией i , Дж/кг, следует понимать расчетный параметр, представляющий собой сумму внутренней энергии тела и работы $P \cdot V$, которую необходимо совершить, чтобы тело объемом V ввести в среду с давлением P , т.е.

$$i = u + Pv. \quad (3.8)$$

Так как в уравнение (3.8) входит внутренняя энергия, то рассчитать абсолютное значение энтальпии методами термодинамики также невозможно.

Аналогично, как для внутренней энергии, в термодинамических расчетах определяют только изменение энтальпии Δi . Условно принято считать, что при $t = 0^\circ\text{C}$ энтальпия равна нулю $i = 0$. Тогда, если термодинамический процесс осуществляется от $t_1 = 0^\circ\text{C}$ (i_0) до t_2 (i_2), то

$$\Delta i = i_2 - i_1 = i_2 = i.$$

Следовательно, табличные значения энтальпии i при температуре t $^\circ\text{C}$ есть изменение энтальпии при изменении температуры от 0 до t $^\circ\text{C}$.

Для любого элементарного процесса изменение энтальпии

$$di = C_p dT, \quad (3.9)$$

где C_p , Дж/(кг·К) - массовая изобарная теплоемкость тела.

Энтропия S есть также расчетный параметр состояния, с использованием которого возможно построение процессов и циклов в координатах $T - S$, что существенно облегчает многие термодинамические расчеты и анализы. Элементарное изменение удельной энтропии в Дж/(кг·К)

$$ds = \frac{dq}{T}, \quad (3.10)$$

где dq , Дж/кг - количество теплоты участвующей в элементарном процессе.

Следует помнить, что в любом политропном процессе изменение энтропии может быть вычислено по формуле

$$\Delta S = S_2 - S_1 = C_v \frac{n - k}{n - 1} \ln \frac{T_2}{T_1}, \quad (3.11)$$

где n - показатель политропы; K - показатель адиабаты.

Условно принято считать, что при $t = 0^\circ\text{C}$ энтропия $S_0 = 0$.

Тогда, если термодинамический процесс осуществляется от $t_1 = 0^\circ\text{C}$ (S_0) до t_2 (S_2), то $\Delta S = S_2 - S_1 = S_2 = S$.

Следовательно, табличные значения энтропии S при температуре t $^\circ\text{C}$ есть изменение энтропии при изменении температуры от 0 до t $^\circ\text{C}$.

Параметры состояния P , V и T связаны между собой уравнениями состояния. Следует помнить уравнение Клапейрона для 1 кг газа

$$Pv = RT \quad (3.12)$$

Если умножить левую и правую части уравнения (3.12) на массу m рабочего тела, то получим уравнение состояния для m (кг) идеального газа

$$PV = mRT. \quad (3.13)$$

Если умножить левую и правую части уравнения (3.12) на массу одного киломоля μ , кг/кмоль, то получим уравнение состояния для одного киломоля идеального газа - уравнение Клапейрона - Менделеева

$$PV_\mu = 8314,2 T, \quad (3.14)$$

где $V_\mu = \mu \cdot v$, м³/кмоль - объем киломоля рабочего тела;

$8314,2 = \mu R$, Дж/(кмоль·К)- универсальная газовая постоянная рабочего тела, т.е. газовая постоянная одного киломоля рабочего тела.

Для реальных газообразных рабочих тел, с учетом сил взаимодействия между молекулами и объема молекул, уравнение состояния значительно сложнее. Однако при сравнительно небольших давлениях и высоких температурах реальные газы мало отличаются от идеальных газов и для них можно применять уравнения состояния (3.12-3.14).

Для закрепления теоретических знаний полезно решить следующие примеры:

Пример 1. Определить массу и параметры состояния кислорода в баллоне объемом 5 м³, если манометр показывает 5 МПа, ртутный барометр - давление 750 мм рт.ст., температура кислорода в баллоне и окружающей среды 15°C.

Принять для кислорода:

$$R = 259,8 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К}); \quad C_p = 910 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К}); \quad C_v = 650 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$$

Пример 2. Определить массу и параметры состояния воздуха при исходных данных, указанных в примере 1. Принять для воздуха:

$$R = 287 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К}); \quad C_p = 1005 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К}); \quad C_v = 718 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$$

Пример 3. Определить объем и подъемную силу заполненного водородом воздушного шара при абсолютном давлении 105 кПа, температуре 15°C и массе водорода 100 кг, то же при количества водорода - 55 кмоль. Принять для водорода:

$$R = 4124 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{K)}; \mu = 2,016 \text{ кг/моль.}$$

Пример 4. Определить изменение внутренней энергии, энтальпии и энтропии воздуха в политропном процессе при $n = 1,2$, если начальные параметры: $P_1 = 0,1$ МПа; $t_1 = 20^\circ\text{C}$, а конечные $P_2 = 3,2087$ МПа; $t_2 = 249,4^\circ\text{C}$.

Принять для воздуха:

$$R = 287 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{K)}; \quad C_p = 1005 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{K)}; \quad C_v = 718 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{K)}; K = 1,4.$$

3.3 Экспериментальная и расчетная части

Для экспериментального определения параметров состояния воздуха необходимо изучить устройство лабораторного стенда, в том числе устройство теплотехнических измерительных приборов. Особое внимание нужно уделить оценке точности измерений, понятиям абсолютной и относительной погрешности, определить класс точности приборов (описание стенда приведено выше).

В лабораторном стенде воздух всасывается вентилятором из помещения аудитории, проходит по каналам, где может охлаждаться или подогреваться, и выходит в помещение лаборатории. В связи с тем, что скорость воздуха мала и потери давления в каналах незначительны, можно считать, что процесс подогрева или охлаждения воздуха осуществляется при постоянном давлении.

В данной лабораторной работе необходимо определить параметры воздуха в начале процесса (параметры с индексом "1") и конце (параметры с индексом "2") и построить графики их изменения от температуры рабочего тела. Определение термодинамических параметров воздуха производится в интервале температур от 0 до 80°C.

Значения параметров определяется на четырех режимах работы лабораторного стенда. Результаты измерений и расчетов вносят в табл.3.I.

По результатам измерений и расчетов строится график изменения V и ρ в зависимости от температуры воздуха t_2 .

Таблица 3.1

Параметры	Обозначение	Способ получения величин	Значения параметров на режимах			
			охлаждение	подогрев 1	подогрев 2	подогрев 3
1	2	3	4	5	6	7
Атмосферное давление, мм.рт.ст.	B	измерение				
Температура окружающей среды, К	T_1	измерение				
Температура воздуха при выходе, К	T_2	измерение				
Абсолютная погрешность при измерении температуры T_2 , К	δT_2	из паспорта прибора				
Относительная погрешность при измерении температуры T_2 , %	ΔT	$\delta T_2 = \Delta T_2 / T \cdot 100$				
Абсолютное давление воздуха в каналах стенда (принято равным атмосферному давлению), Па	P	$P = B$				
Абсолютная погрешность при измерении давления P , Па	ΔP	из паспорта прибора				
Относительная погрешность при измерении давления, %	δP	$\delta P = \Delta P / P \cdot 100$				
Удельный объем воздуха на выходе из стенда, м ³ /кг	V	$V = (R \cdot T_2) / P$				
Плотность воздуха на выходе из стенда, кг/м ³	ρ	$\rho = 1 / V$				
Относительная погрешность расчета удельного объема и плотности воздуха, %	$\delta V, \delta \rho$	$\delta V = \delta \rho = \pm (\delta T_2 + \delta P)$				

3.4. Оформление отчета

В отчет о лабораторной работе должны быть включены: схема лабораторной установки и краткое описание ее работы; таблица замеров и результатов расчетов; график зависимости V и ρ от t_2 ; выводы по работе. Отчет должен быть подписан студентом и после защиты - руководителем работы.

Контрольные вопросы

1. Назовите отличия параметров состояния от других величин, характеризующих рабочее тело.
2. Перечислите основные параметры состояния.
3. Укажите сущность параметров: удельный объем, абсолютное давление, абсолютная температура, удельная внутренняя энергия, энтальпия, энтропия.
4. Запишите основные зависимости при определении перечисленных в п.3 параметров состояния.
5. Запишите единицы измерения перечисленных в п.3 параметров состояния в системе СИ.
6. Расскажите о сущности температурной поправки к показаниям ртутных манометров или барометров.
7. Расскажите о сущности реперных точек.
8. Укажите значение внутренней энергии, энтропии, энтальпии при 0°C
9. Какой вид имеют уравнения состояния идеального газа для X кг, 1 кмоль.
10. Запишите единицы измерения параметров, входящих в уравнение состояния.
11. Расскажите о физическом смысле газовой постоянной в уравнении состояния.
12. При каких условиях допустимо применение уравнений состояния идеального газа для реальных газов?

6. ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ХОЛОДИЛЬНОГО КОЭФФИЦИЕНТА

6.1. Задачи работы

1. Ознакомление с устройством и принципом работы паровой компрессорной холодильной установки.
2. Экспериментальное определение величины холодильного коэффициента.

6.2. Методические рекомендации

Холодильные установки служат для искусственного охлаждения тел ниже температуры окружающей среды. В соответствии со вторым законом термодинамики отнять теплоту от источника с низкой температурой и передать ее источнику с более высокой температурой можно только затрачивая работу. Следует обратить внимание, что для холодильных машин эталоном является обратный цикл Карно (рис.6.1).

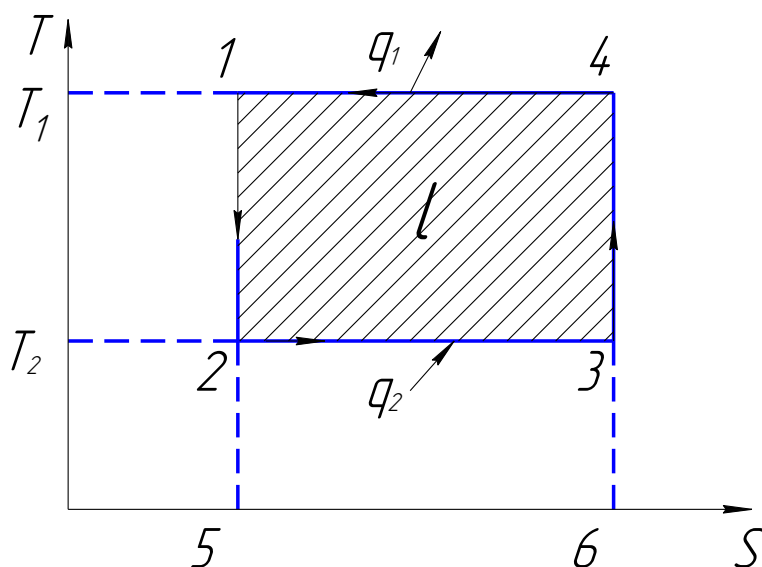


Рис. 6.1 – Обратный цикл Карно

В результате осуществления этого цикла затрачивается работа

$$l = q_1 - q_2,$$

где q_1 – теплота, отданная источнику с более высокой температурой; q_2 – теплота, отнятая у источника с низкой температурой.

Отношение отведенного от охлаждаемого тела тепла q_2 ("произведенного холода") к затраченной работе l – это и есть холодильный коэффициент, являющийся характеристикой экономичности холодильной машины:

$$\xi = \frac{q_2}{l} = \frac{q_2}{q_1 - q_2}.$$

Легко установить, что холодильный коэффициент может быть выражен через температуры

$$\xi = \frac{T_2}{T_1 - T_2}, \quad (6.1)$$

где T_1 и T_2 – абсолютные температуры горячего и холодного источников.

Чем больше отнимается теплоты q_2 и меньше при этом затрачивается механической работы l (или чем больше ξ), тем совершеннее холодильный цикл.

Наибольшее распространение в народном хозяйстве получили паровые компрессорные холодильные установки, в которых рабочим телом (холодильным агентом) являются легкокипящие жидкости – аммиак, фреоны, сернистый ангидрид и др. Схема паровой компрессорной холодильной установки показана на рис. 6.2. Насыщенный пар хладагента при температуре, близкой температуре охлаждаемого помещения I, всасывается компрессором 2 и адиабатно сжимается (процесс 1–2 на диаграмме $T-S$). Из компрессора перегретый пар хладагента поступает в конденсатор 3 (теплообменник), где при постоянном давлении конденсируется, отдавая тепло $q_1 = q_1' + q_2''$, при этом пар полностью превращается в жидкость (процесс 2–3–4). Из конденсатора жидкий хладагент проходит через дроссельный вентиль 4, в котором дросселируется, что сопровождается понижением температуры и давления (процесс 4–5). Затем жидкий хладагент с низкой температурой поступает в охлаждаемое помещение, где получает теплоту q_2 .

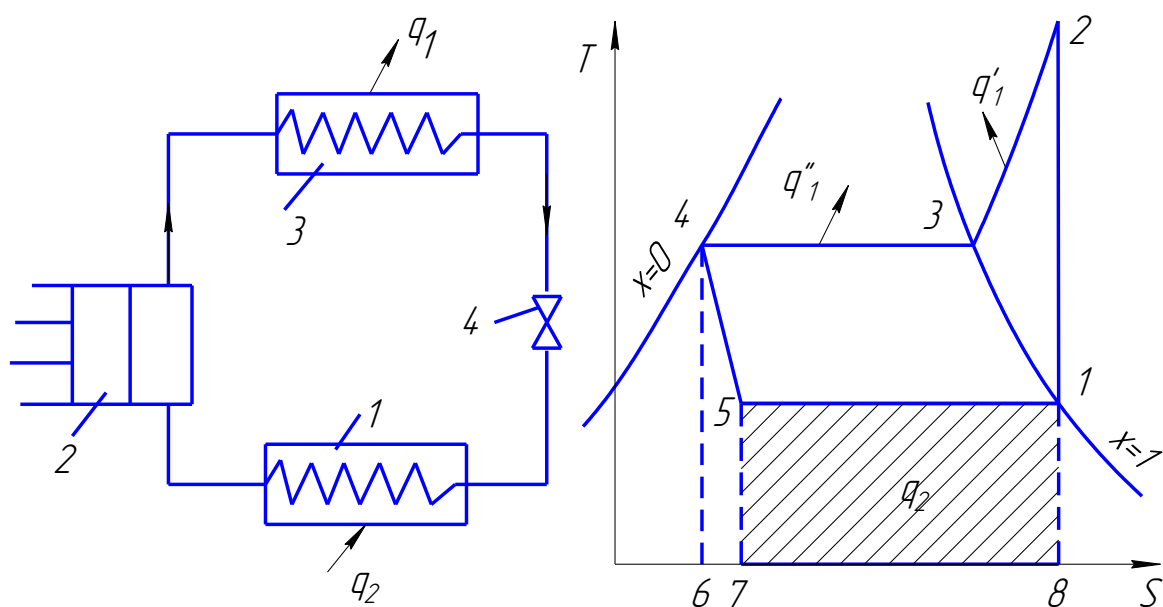


Рис. 6.2 – Цикл парокомпрессорной холодильной установки

Холодильный коэффициент установки, выраженный через теплоту q_1 и q_2 (см. рис. 6.2):

$$\xi = \frac{q_2}{q_1 - q_2} = \frac{\text{пл.15781}}{\text{пл.234682}}. \quad (6.2)$$

Однако величина ξ , вычисленная по формуле (6.2), не учитывает механические потери в компрессоре, потери в электродвигателе и затраты мощности на привод вентилятора.

Поэтому фактическое значение $\xi_{\text{ф}}$ с учётом всех потерь в холодильной установке можно определить по формуле

$$\xi_{\text{ф}} = \frac{Q_2}{P - Q_2}, \quad (6.3)$$

где Q_2 и P – холодопроизводительность и электрическая мощность установки, Вт.

6.3. Экспериментальная установка и порядок проведения опытов

Для проведения опытов используется универсальный лабораторный стенд. Ознакомившись с расположением приборов на стенде, включить электродвигатель холодильной установки и по показаниям термометров на входе и выходе воздуха из

установки наблюдать достижение установившегося режима. Опыт можно начинать после того, как температура воздуха на входе и выходе из установки не будет изменяться в течение 4–5 мин.

В опыте производят измерения скорости и температуры воздуха на входе в установку, температуры воздуха на выходе из установки электрической мощности, потребляемой установкой по показаниям вольтметра и амперметра. Результаты измерений записываются в табл.6.1. Определение величины ξ_{ϕ} производится на двух режимах – "слабо" и "сильно".

6.4. Обработка результатов эксперимента

Определяется объемный расход воздуха на входе по формуле

$$V_1 = WF, \quad (6.4)$$

где W – скорость воздуха, определенная по анемометру, м/с (величина находится по графику, имеющемуся в лаборатории);

F – площадь поперечного сечения воздухопровода в места установки анемометра $F = 0,785 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$.

Приводят объемный расход воздуха в установке к нормальным условиям, м³/с:

$$V_{1H} = \frac{V_1 \cdot B_0 \cdot T_0}{T_1 \cdot P},$$

где B_0 и T_0 – давление и температура при нормальных условиях ($B_0 = 101325$ Па,

$T_0 = 273,15 \text{ K}$);

P_1 и T_1 – давление (барометрическое) и температура воздуха в лаборатории.

Определяют объемную среднюю изобарную теплоемкость воздуха при температуре его на входе и выходе кДж/(м³·K);

$$C_{pm0}^t = 1,287 + 0,0001201t,$$

Определяют холодопроизводительность установки, Вт, по выражению

$$Q_2 = V_{1H} \left[C_{Pm0}^{t_2} \cdot t_2 - C_{Pm0}^{t_1} \cdot t_1 \right]. \quad (6.5)$$

Зная напряжение сети U и потребляемую установкой силу тока I , рассчитывают фактическое значение холодильного коэффициента по формуле

$$\xi_{\phi} = \frac{Q_2}{I\nu - Q_2}. \quad (6.6)$$

Параметры	Обозначение	Способ получения величин	Значения параметров на режимах	
			Режим "слабо"	Режим "сильно"
1	2	3	4	5
Атмосферное давление, мм рт.ст.	B	измерение		
Температура воздуха на выходе установки, К	T_2	измерение		
Температура воздуха в лаборатории, К	T_1	измерение		
Скорость движения воздуха по анемометру, м/с	ω	с определением графика в лаборатории		
Напряжение сети, В	ν	с определением по графику в лаборатории		
Потребляемый ток, А	I	с определением по графику в лаборатории		
Объемный расход воздуха, м/с	V_1	по формуле (6.4)		
Холодопроизводительность, Вт	Q_2	по формуле (6.5)		
Фактическое значение холодильного коэффициента	ξ_{ϕ}	по формуле (6.6)		

6.5. Оформление отчета

В отчет о лабораторной работе должны быть включены: схема лабораторной установки, касающаяся существа работы, описание ее работы; таблица замеров и результатов расчетов; пример расчета; выводы работе. Отчет должен быть подписан студентом и после защиты – преподавателем.

Контрольные вопросы

1. Изобразите и объясните работу холодильной машины по обратному циклу Карно.
2. Напишите формулу для определения холодильного коэффициента обратного цикла Карно, проанализируйте ее.
3. Нарисуйте схему и объясните принцип работы паровой компрессорной холодильной установки.
4. Как можно определить фактическое значение холодильного коэффициента?
5. Расскажите порядок проведения лабораторной работы при определении фактического значения холодильного коэффициента.