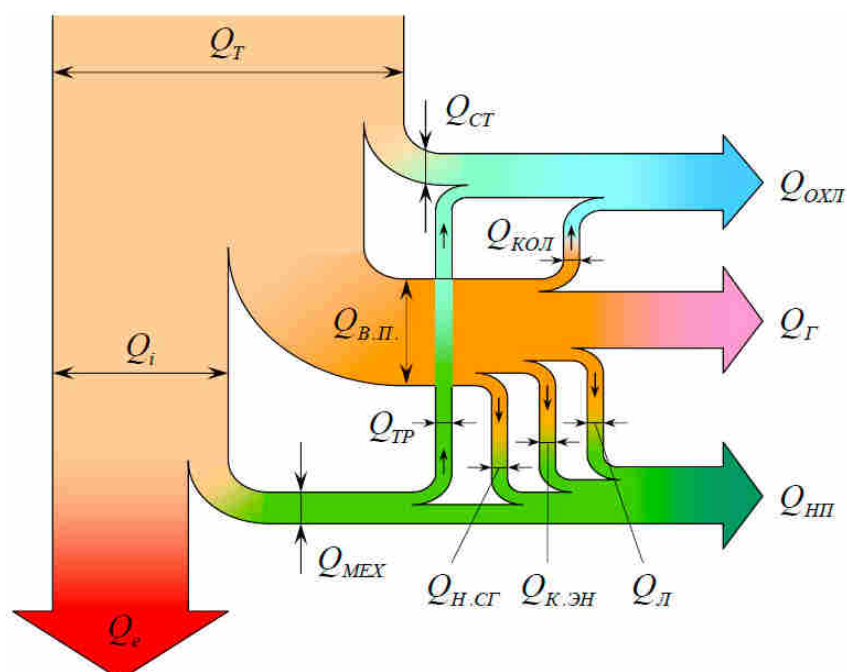


Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Вятская государственная сельскохозяйственная академия
Инженерный факультет
Кафедра тепловых двигателей, автомобилей и тракторов

П.Н. Вылегжанин, А.А. Лопарев, О.П. Лопатин

ТЕПЛОТЕХНИКА И ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОТЫ В АВТОМОБИЛЬНОМ ХОЗЯЙСТВЕ



Киров 2020

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Вятская государственная сельскохозяйственная академия
Инженерный факультет
Кафедра тепловых двигателей, автомобилей и тракторов

П.Н. Вылегжанин, А.А. Лопарев, О.П. Лопатин

ТЕПЛОТЕХНИКА И ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОТЫ В АВТОМОБИЛЬНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

**Учебно-методическое пособие для выполнения
лабораторных работ по дисциплине «Теплотехника»
для студентов инженерного факультета,
обучающихся по направлениям подготовки:
23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических
машин и комплексов,
23.03.01 Технология транспортных процессов**

Киров 2020

УДК 521.1: 658.264

ББК 31.31я73-4

Вылегжанин П.Н., Лопарев А.А., Лопатин О.П. Теплотехника и применение теплоты в автомобильном хозяйстве: Учебно – методическое пособие для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Теплотехника» для студентов инженерного факультета, обучающихся по направлениям подготовки: 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов, 23.03.01 Технология транспортных процессов. - Киров: Вятская ГСХА, 2020. - 52 с.

Рецензенты: доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет» С.А. Плотников;
кандидат технических наук, доцент кафедры тепловых двигателей автомобилей и тракторов ФГБОУ ВО Вятская ГСХА Р.Р. Деветьяров.

Учебно-методическое пособие рассмотрено и рекомендовано к печати учебно-методической комиссией инженерного факультета Вятской ГСХА (протокол № 06 от 20.02.2020 г.).

В учебно-методическом пособии изложен алгоритм проведения лабораторных работ по дисциплине «Теплотехника». Пособие позволяет ознакомиться с методикой проведения индицирования процесса сгорания и энергетическим балансом тепловых двигателей, процессами теплопроводности, конвективного теплообмена, теплоотдачи и теплопередачи.

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов, 23.03.01 Технология транспортных процессов.

© ФГБОУ ВО Вятская ГСХА, 2020

© П.Н. Вылегжанин, А.А. Лопарев, О.П. Лопатин, 2020

ВВЕДЕНИЕ

Основная цель изучения теплотехники - овладение методами интенсификации производственных процессов с целью экономии топлива и улучшения экономических показателей производства. Владение этими методами предполагает умение анализировать работу энергоиспользующего оборудования и испытывать его в натуре и на моделях. Проведение лабораторных работ по общей теплотехнике способствует развитию соответствующих навыков. При организации лабораторных работ по общей теплотехнике для бакалавров инженерного факультета ставились следующие задачи:

1. Знакомство обучающихся с теплотехническим оборудованием, применяемым при эксплуатации автотранспорта.

2. Усвоение методики теплотехнических испытаний.

2. Применение знаний теоретических основ теплотехники для исследования и анализа теплотехнических процессов, имеющих место в различного рода технических устройствах.

Лабораторные работы проводятся на лабораторных моделях и реальном оборудовании. Теплотехнические наблюдения и испытания преследуют две основные цели: исследование энергобаланса и определение интенсивности теплообмена. В опытах измеряют величины, на основе которых может быть проведен анализ энергобаланса и интенсивности теплообмена.

Основные теоретические положения к лабораторным работам излагаются на лекциях. Учебно-методическое пособие включает описание и схемы лабораторных установок, методику проведения испытаний и обработку опытных данных, требования к оформлению отчета по работе. Кроме того, предлагается ряд вопросов, на которые следует обратить внимание при анализе результатов работы. При подготовке к лабораторным занятиям и оформлении отчета обучающиеся должны пользоваться, кроме учебно-методического пособия, практикумом по теплотехнике и другими учебниками, указанными в списке рекомендуемой литературы.

Лабораторная работа № 1

ОБРАБОТКА ИНДИКАТОРНЫХ ДИАГРАММ

Цель работы

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

Задачи работы

Ознакомление с устройством приборов, установленных в лаборатории.
Обработка индикаторной диаграммы.

Содержание работы

1. Ознакомиться с методикой измерения быстро меняющихся давлений.
2. Изучить установку для снятия индикаторной диаграммы дизеля индикатором МАИ.
3. Ознакомиться с контрольно-измерительными приборами.
4. Изучить методику обработки индикаторных диаграмм.
5. Обработать индикаторную диаграмму.
6. Сделать выводы.

Общие сведения

Прибор, предназначенный для измерения быстро меняющихся давлений в цилиндре двигателя внутреннего сгорания в зависимости от положения поршня, называется индикатором. Индикаторная диаграмма характеризует работу газа в цилиндре двигателя. Сам процесс получения индикаторной диаграммы называется индицированием.

Индицирование двигателя проводится на тормозной установке, оборудованной индикатором, аппаратурой для замера расхода топлива и воздуха и кон-

трольно-измерительными приборами (тахометры, манометры, термометры и др.).

По снятой индикаторной диаграмме можно определить среднее индикаторное давление газов в цилиндре, индикаторную мощность двигателя, можно судить о протекании рабочего процесса, о работе распределительных органов и о правильности подачи топлива.

Кроме того, при помощи индикаторной диаграммы определяются основные параметры рабочего процесса двигателя, а именно мощность трения, начало линии сгорания, степень повышения давления, жесткость работы двигателя и т.д.

Для индицирования поршневых машин применяют механические, пневмоэлектрические и электрические индикаторы.

Механические индикаторы

Механические индикаторы используют при индицировании поршневых машин, имеющих относительно небольшую частоту вращения. Удовлетворительные результаты получаются при индицировании поршневых машин, имеющих до 300 мин^{-1} . Для этих целей применяют индикаторы больших моделей, позволяющие получать индикаторные диаграммы значительного размера. При индицировании поршневых машин, имеющих 500 мин^{-1} и выше, для снижения инерционных сил системы приходится использовать индикаторы малых моделей, дающие диаграммы небольшого размера, причем точность обработки диаграмм значительно снижается. Наглядность процесса индицирования, простота и надежность работы послужили основной причиной широкого распространения индикаторов этого типа в лабораторных испытаниях стационарных д.в.с., паровых машин и компрессоров.

Принципиальная схема устройства механического индикатора показана на рисунке 1.1. К цилиндру 1 двигателя с помощью трехходового крана 2 и накидной гайки присоединяется корпус 3 индикатора, внутри которого размеща-

ется цилиндрическая втулка 4 с поршнем 5, укрепленном на штоке 6. При открытом кране газы из цилиндра двигателя поступают в цилиндр индикатора и давят на поршень 5, который, сжимая пружину 7, передает движение через систему рычагов пишущему штифту 9, закрепленному на конце рычага 8.

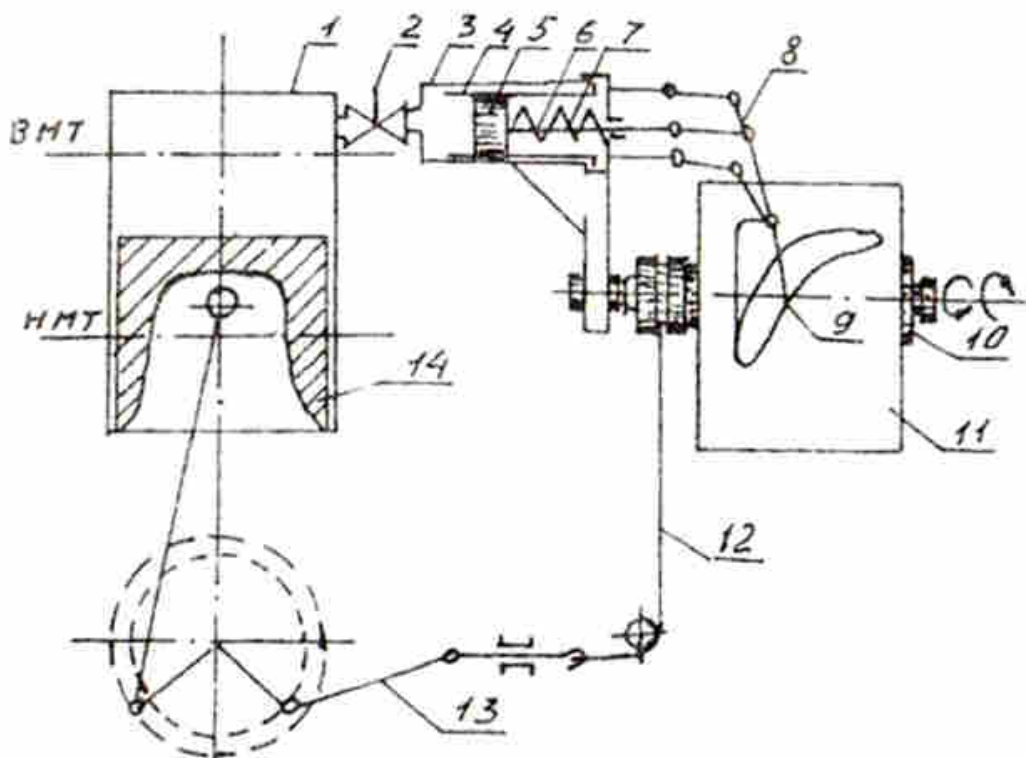


Рисунок 1.1 - Принципиальная схема устройства и действия механического индикатора: 1 - цилиндр двигателя; 2 - трехходовой кран; 3 - корпус индикатора; 4 - цилиндрическая втулка; 5 - поршень; 6 - шток; 7 - калиброванная пружина; 8 - главный рычаг записывающей системы; 9 - пишущий штифт; 10 - барабан для крепления диаграммной бумаги; 11 - диаграммная бумага; 12 - шнур привода барабана; 13 - ходоуменьшитель; 14 - поршень двигателя

Для снятия диаграммы рабочего процесса на барабане 10 крепится диаграммная бумага. Барабан связан шнуром 12 с ходоуменьшителем 13, копирующим в масштабе движение поршня 14 в цилиндре двигателя. От ходоуменьшителя барабан вращается в одну сторону, а плунжер под действием спиральной пружины, укрепленной внутри барабана, - в другую. В результате вращательно-возвратного движения барабана с бумагой и поступательно-возвратного движения штифта, перемещающего пропорционально давлению газов, на бумаге вычерчивается замкнутая кривая, называемая индикаторной

диаграммой. Диаграмма достаточно точно воспроизводит (в уменьшенном масштабе) изменения давления и объема, происходящие в рабочей полости цилиндра двигателя.

Пневмоэлектрические индикаторы

В комплект пневмоэлектрического индикатора МАИ (рисунок 1.2) входят датчики 3 и 4, механизм индикатора с регулирующим устройством, пневматическая и электрическая системы, вакуумнасос 6, отметчик верхней мертвой точки 1, шатунно-кривошипного механизма двигателя и отметчик момента впрыска топлива 2. Датчик 4 предназначен для измерения давления в выпускном трубопроводе.

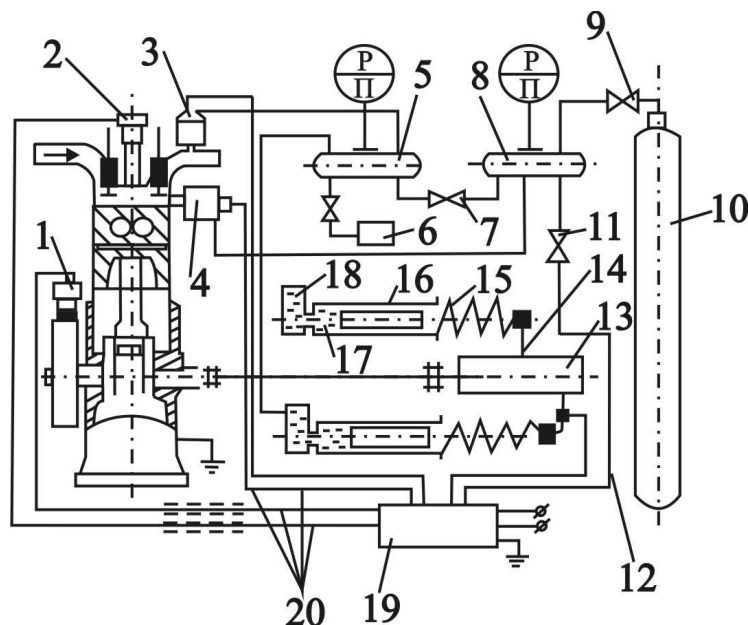


Рисунок 1.2 - Принципиальная схема пневмоэлектрического индикатора МАИ:
 1 - отметчик ВМТ; 2 - отметчик момента впрыска топлива; 3 - датчик давления в трубопроводе; 4 - датчик давления в цилиндре; 5 - распределитель;
 6 - вакуум-насос; 7 - кран; 8 - распределитель высокого давления;
 9 - вентиль; 10 - баллон сжатого воздуха; 11 - кран снижения давления;
 12 - провод высокого напряжения; 13 - барабан; 14 - разрядный штифт;
 15 - возвратная пружина; 16 - плунжер; 17 - цилиндр; 18 - масляный демпфер;
 19 - тиратронный преобразователь; 20 - экранированные провода низкого напряжения

Чувствительным элементом датчика (рисунок 1.3) служит тонкая стальная мембрана 10, запрессованная между ограничителями 8 и 9, в нижнем кор-

пусе 4. Над мембраной расположен неподвижный контакт 11. Перед включением индикатора на запись пространство над мембраной 10 через штуцер 13 и распределитель высокого давления 8 заполняется сжатым воздухом из баллона 10 (рисунок 2) до давления, значительно превышающего максимальное давление газов в цилиндре испытуемого двигателя, при этом мембрана прижимается к наружному ограничителю. Одновременно сжатый воздух подается к распределительному цилиндру (масляному демпферу) 18, соединенному маслопроводом с цилиндром 17 пишущего механизма.

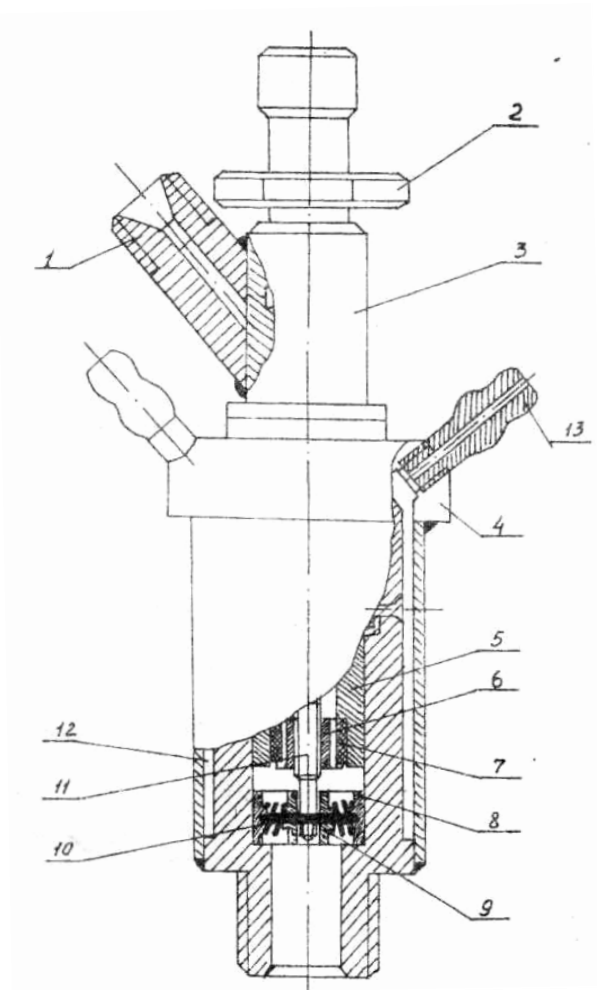


Рисунок 1.3 - Датчик давления пневмоэлектрического индикатора:
 1 - воздухоподводящий штуцер; 2 - экран; 3 - верхний корпус; 4 - нижний корпус; 5 - нажимная втулка; 6 - латунная втулка; 7 - текстолитовый цилиндр;
 8 - внутренний ограничитель; 9 - наружный ограничитель; 10 - мембрана;
 11 - контакт; 12 - канал охлаждения; 13 - штуцер

При индицировании слегка приоткрывают кран 11 понижения давления. Давление в пневматической системе падает. Когда оно становится меньше давления газов в цилиндре на 0,02...0,05 МПа, мембрана датчика прогибается и соединяется с неподвижным контактом. Цепь низкого напряжения электрической системы, в которую последовательно включены аккумуляторная батарея, первичная обмотка индукционной катушки и тиратронное реле, замыкается. Параллельно электроду датчика присоединен конденсатор. Наличие тиратронного реле в первичной цепи в качестве прерывателя снижает ток замыкания между контактами датчика, предохраняя их от преждевременного разрушения.

Электрический импульс, возникающий при замыкании первичной цепи, усиливается и трансформируется во вторичной обмотке индукционной катушки в импульс высокого напряжения. Последний поступает на разрядник 14 пишущего механизма и проскакивает в виде искры, пробивает бумагу, закрепленную на барабане 13, делает отверстие (точку).

При снижении давления в цилиндре до величины, несколько меньшей, чем в пневматической системе, мембрана отойдет от контакта и разомкнет цепь низкого напряжения. В этом случае появится импульс высокого напряжения, пробивающий на бумаге отверстие (точку).

В пневматической системе во время индицирования давление непрерывно понижается, а регистрирующий механизм индикатора под действием пружины 15 перемещается вдоль барабана 13 в сторону понижения давления, нанося на бумаге точки, соответствующие давлению внутри цилиндра. Барабан с индикаторной бумагой соединены муфтой с коленчатым валом двигателя, поэтому в момент проскакивания искры на окружности барабана будет отмечаться угол поворота коленчатого вала. Зафиксированная на бумаге индикаторная диаграмма (рис. 4) представляет собой запись нескольких сотен циклов работы двигателя. Причем от каждого цикла на бумаге отмечается только одна точка.

Наличие двух каналов записи давлений с набором соответствующих датчиков и плунжерных пар по масштабу давлений делает прибор универсальным.

Он позволяет, например, одновременно снимать диаграмму в цилиндре двигателя и диаграмму насосных ходов. В этом случае диаметр одной плунжерной пары и возвратная пружина подбирается согласно максимальному давлению цикла, а диаметр плунжерной пары и возвратная пружина другого измерительного механизма выбираются в соответствии с необходимым масштабом диаграмм насосных ходов. Манометр подбирается по максимальному давлению цикла, а мановакуумметр подбирается по изменению давления во время насосных ходов.

Индикатор позволяет также одновременно снимать полную индикаторную диаграмму в цилиндре и полную диаграмму в форкамере. В этом случае оба измерительных механизма устанавливаются с одинаковыми плунжерными парами и пружинами. Манометры также берутся одинаковыми.

Отметчик верхней мертвой точки (рисунок 1.2) состоит из электромагнита и сердечника. Электромагнит (позиция 1 на рисунке 1.2) крепится к станине, а сердечник - к маховику. В основу работы отметчика положен принцип электромагнитной индукции, т.е. когда в проводнике, помещенном в переменном магнитном поле, возникает электродвижущая сила (э.д.с.), прямо пропорциональная скорости изменения магнитного потока по времени.

При прохождении сердечника мимо магнитопровода уменьшается воздушный зазор, увеличивается магнитный поток и пропорционально ему э.д.с. Индуцированный импульс подается на вход тиратронного преобразователя, а затем в виде высоковольтного разряда пробивает индикаторную бумагу. Это происходит как раз в момент прохождения сердечника через в.м.т.

Отметка начала впрыска топлива на индикаторной диаграмме наносится в момент подъема иглы форсунки. При подъеме иглы замыкаются контакты цепи низкого напряжения отметчика начала впрыска, установленного на форсунке, и импульс подается на тиратронный преобразователь, а от него импульс высокого напряжения - на штифт разрядника. Диаграмма имеет большие размеры (180x60 мм) и очень удобна для обработки. Малая инерционность систе-

мы позволяет использовать пневмоэлектрический индикатор для быстроходных двигателей (до 5000 мин⁻¹).

Если повышение давления было достаточно медленным, то отдельные точки на бумаге располагаются настолько близко одна от другой, что образуют почти непрерывную линию, изображающую в координатах давление - угол поворота коленчатого вала.

Полученная индикаторная диаграмма состоит из отдельных точек, соответствующих различным циклам работы двигателя. Некоторое рассеивание точек на диаграмме показывает, насколько параметры одного цикла отличаются от параметров другого. Кроме того, на расстояние точек оказывает влияние заточка иглы разрядника и зазор между разрядником и бумагой на барабане. Угол заточки иглы должен быть около 30°, а зазор между разрядником и бумагой не больше 0,5 мм.

Применяемый индикатор как бы замедляет рабочий процесс двигателя во много раз. Поэтому индикатор называют стробоскопическим. В записывающей части индикатора влияние инерции подвижных масс незначительно, вследствие чего устройство, рисующее диаграмму, может быть сделано больших размеров без ущерба надежности и точности его работы.

Электрические индикаторы

Быстро меняющиеся величины в поршневых машинах можно измерять специальными приборами, имеющими датчики, которые преобразуют неэлектрические параметры в электрические сигналы.

Электрический сигнал, представляющий собой изменение тока или напряжения, усиливается и подается на осциллограф. На экране осциллографа сигнал изображается в виде светящейся точки. Изменение сигнала во времени фиксируется как линия. Запись быстро меняющихся оборотов необходима, например, при изучении переходных процессов в машинах. Измерение быстро меняющихся давлений и температур позволяет изучать в поршневых машинах

рабочие процессы, связанные с превращением тепла в работу. Запись вибраций деталей двигателя внутреннего сгорания, компрессоров и турбин помогает определить резонансные режимы и устранить поломку деталей от колебаний.

Каждый комплект электрического прибора для регистрации быстро меняющихся величин должен состоять из датчика, усилителя, блока питания усилителя и осциллографа.

Применяются магнитоэлектрические (шлейфовые) и электронные (катодные) осциллографы.

Для измерения быстро меняющихся давлений применяют две группы датчиков:

1. Чувствительным элементом которых являются упругие мембраны.
2. Чувствительный элемент которых изменяет свои физические свойства под действием давления.

К первой группе датчиков относятся емкостные, индуктивные, ионно-механические, оптико-мембранные и магнито-компенсационные, а также измерители с проволочными тензодатчиками. Ко второй группе датчиков относятся пневмоэлектрические и пьезокерамические, магнитострикционные, электрокинетические, радиоактивно-ионизационные и угольные.

Обработка индикаторных диаграмм

Снятые индикатором МАИ индикаторные диаграммы перестраиваются из системы координат $R\alpha$ в PV . Для чего развернутая индикаторная диаграмма по углу поворота коленчатого вала разбивается по оси абсцисс на отдельные отрезки (начинать разбивку нужно в обе стороны от в.м.т.) по 10 мм или 10° угла поворота коленчатого вала (рисунок 1.4).

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

$$V_x = \frac{\pi D^2}{4} \cdot S_x = \frac{\pi D^2}{4} \left[\left(1 + \frac{1}{\lambda} \right) - \left(\cos \alpha + \frac{1}{\lambda} \cos \beta \right) \right] \cdot R.$$

Т.к.

$$\left[\left(1 + \frac{1}{\lambda} \right) - \left(\cos \alpha + \frac{1}{\lambda} \cos \beta \right) \right] = A,$$

то

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

где D - диаметр цилиндра;

R - радиус кривошипа;

α - угол поворота кривошипа;

β - угол отклонения шатуна от оси цилиндра;

$\lambda = \frac{R}{L}$ - отношение радиуса кривошипа к длине шатуна L .

Величина « A » определяется в зависимости от угла поворота коленчатого вала и λ и выбирается из таблицы 1 приложения.

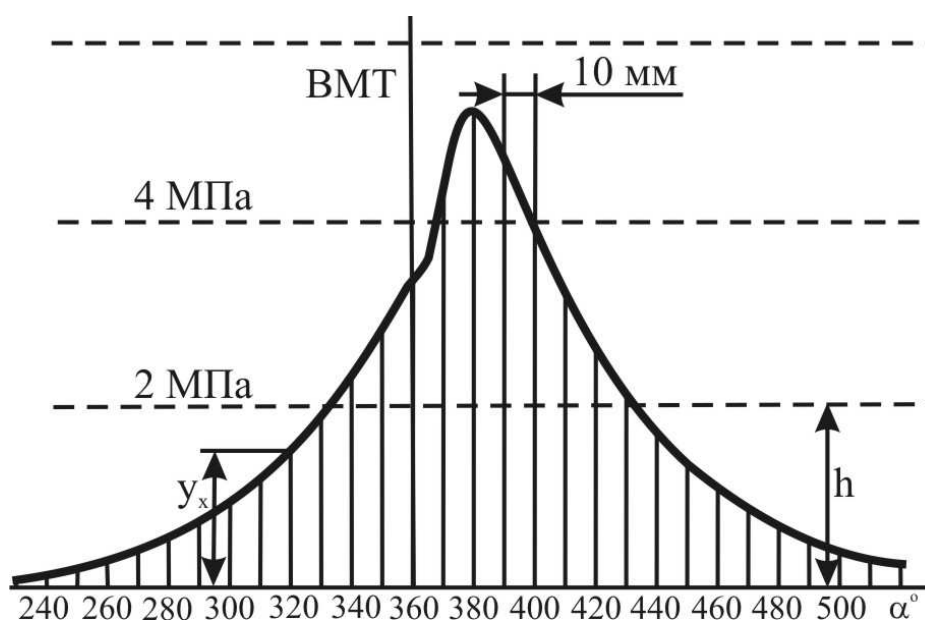


Рисунок 1.4 - Развернутая индикаторная диаграмма

Проведя через точки разбивки перпендикуляры до пересечения с линиями индикаторной диаграммы и определив масштаб давления по формуле

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

где h – ордината, мм, определяем давления P_x точек (1, 2, 3, ...), лежащих на линиях индикаторной диаграммы:

$$P_x = y_x \mu_p,$$

где y_x – ордината точки, лежащей на линии индикаторной диаграммы, мм.

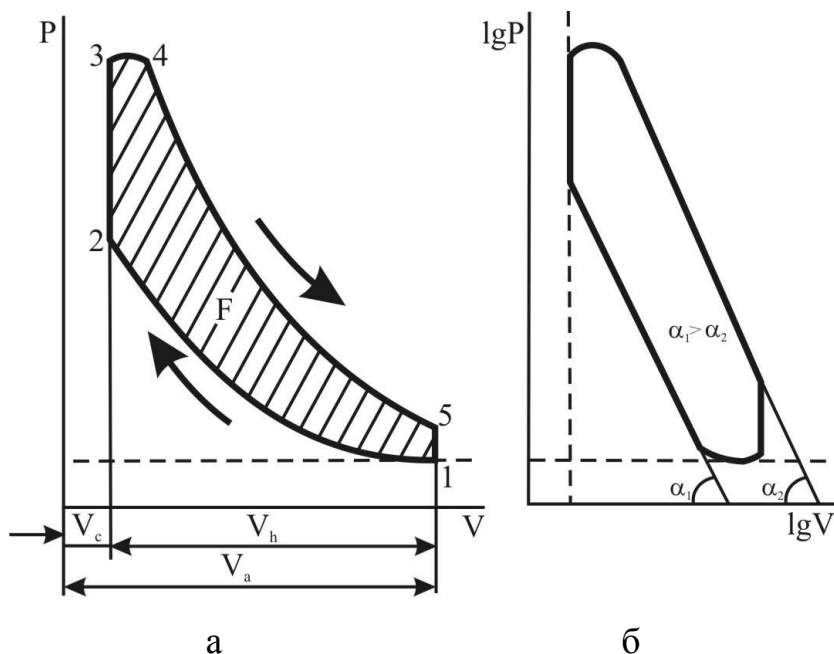


Рисунок 1.5 - Свернутая индикаторная диаграмма

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

$$P_{ax} = P_x + 0,1, \text{ МПа.}$$

Рабочий объем цилиндра определяется по уравнению:

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

где S_n – полный ход поршня, см.

Объем камеры сжатия V_c определяется по уравнению:

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

где ε – степень сжатия.

Определив y_x , P_{ax} , A , V_c , V_x и $V_c + V_x$, заносим в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 - 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	$lg(V_c+V_x)$

Зная P_{ax} и V_c+V_x всех точек, размещаем их в системе координат PV (рисунок 1.5, а).

Построение свернутой индикаторной диаграммы в системе координат PV начинаем от точки 1 по линии сжатия. Строим линию сгорания, затем линию расширения. Линии расширения и сжатия замыкаем локальной кривой, как показано на рисунке 1.5, а.

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

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

где F - площадь индикаторной диаграммы, см²;

$\mu_{инд}$ - масштаб давления индикаторной диаграммы;

H - длина индикаторной диаграммы, см;

0,3 - потери индикаторного давления на процессы впуска и выпуска.

Определяем индикаторную мощность:

$$N_i = P_i \cdot V_h \cdot n \cdot i / (30 \cdot \tau_{де}), \text{ кВт,}$$

где n - частота вращения коленчатого вала двигателя при индицировании, мин⁻¹;

i - число цилиндров двигателя;

$\tau_{де}$ - коэффициент тактности двигателя (число ходов поршня за один цикл).

Мощность механических потерь определяется из выражения:

$$N_m = P_m V_h \cdot n \cdot i / (30 \tau_{де}), \text{ кВт,}$$

где P_m - среднее давление механических потерь (МПа), которое находится в следующих пределах: для карбюраторных двигателей - 0,15...0,25; для дизелей - 0,2...0,3.

Эффективная мощность, снимаемая с коленчатого вала, меньше индикаторной на величину мощности, затрачиваемой на преодоление механических потерь:

$$N_e = N_i - N_m, \text{ кВт.}$$

Среднее эффективное давление можно представить как разность между средним индикаторным давлением и средним давлением механических потерь:

$$P_e = P_i - P_m, \text{ МПа.}$$

Индикаторный КПД определяется по формуле:

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

где g_i - удельный индикаторный расход топлива, который составляет: для дизелей - 175...220 г/кВт·ч; для карбюраторных двигателей - 235...290 г/кВт·ч;

Q_H - низшая теплотворная способность топлива, равная для дизельного топлива 42,5 МДж/кг, для бензина - 44 МДж/кг.

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:

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

Для определения показателей политроп сжатия и расширения (n_1 и n_2) индикаторная диаграмма перестраивается в логарифмическую систему координат $\lg P \lg V$ (рисунок 1.5, б).

Показатели политроп сжатия и расширения определяются по уравнениям:

$$n_1 = \operatorname{tg} \alpha_1, \quad n_2 = \operatorname{tg} \alpha_2,$$

где α_1 - угол наклона прямой линии, проведенной через точки процесса сжатия к оси абсцисс;

α_2 - угол наклона прямой линии, проведенной через точки процесса расширения к оси абсцисс.

Необходимо также определить максимальную $(dP/d\alpha)_{max}$ и среднюю $\Delta P/\Delta\alpha = (P_1 - P_2)/\alpha_z$ скорости нарастания давлений по развернутой индикаторной диаграмме.

Оформление отчета

Отчет должен содержать результаты обработки индикаторной диаграммы в виде таблицы. По табличным данным строится диаграмма в координатах PV и $\lg P \lg V$. Вычисляются индикаторные и эффективные показатели двигателя, а также показатели политроп сжатия и расширения.

Контрольные вопросы

1. С какой целью производится индицирование ДВС?
2. Какие Вы знаете индикаторы?
3. Что можно определить по снятой индикаторной диаграмме?
4. Принцип действия пневмоэлектрического индикатора.
5. Методика снятия индикаторной диаграммы.
6. Методика обработки индикаторной диаграммы.
7. Как определяются индикаторные давление и мощность по индикаторной диаграмме?

Лабораторная работа № 2

СНЯТИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА ДВС

Цель работы

Освоение методики снятия энергетического баланса тепловых двигателей и изучение энергетического баланса двигателя внутреннего сгорания.

Задачи работы

1. Определение мощности двигателя, секундного расхода топлива и секундного расхода охлаждающей воды, проходящей через двигатель.
2. Определение коэффициента избытка воздуха и состава продуктов сгорания.
3. Определение составляющих энергетического (теплового) баланса двигателя с составлением сводной таблицы.

Согласно второму закону термодинамики, в идеальном тепловом двигателе (идеальном цикле) непременно происходит отдача части подведенного тепла холодному источнику. В реальном двигателе имеются дополнительные расходы подведенной энергии, вызванные необратимостью процессов (трение, дросселирование), теплообменом между рабочим телом и охлаждающей средой, а также затратой энергии на приведение в действие вспомогательных механизмов.

Энергетический баланс двигателя, называемый обычно тепловым балансом, показывает распределение энергии, подведенной в двигатель. Подведенной, или располагаемой энергией, является химически связанная энергия топлива, выделяющаяся в процессе сгорания. Часть подведенной (располагаемой) энергии превращается в полезную работу, которая снимается с вала двигателя. Остальная подведенная энергия расходуется бесполезно.

Описание установки

Лабораторная установка (рисунок 2.1) состоит из двигателя внутреннего сгорания 1, электротормоза 2, топливного бака 3, расходомера воздуха 4, счетчика расхода воды 5, системы трубопроводов и измерительных приборов. Топливо на двигатель подается из промежуточного бака 6, установленного на весах.

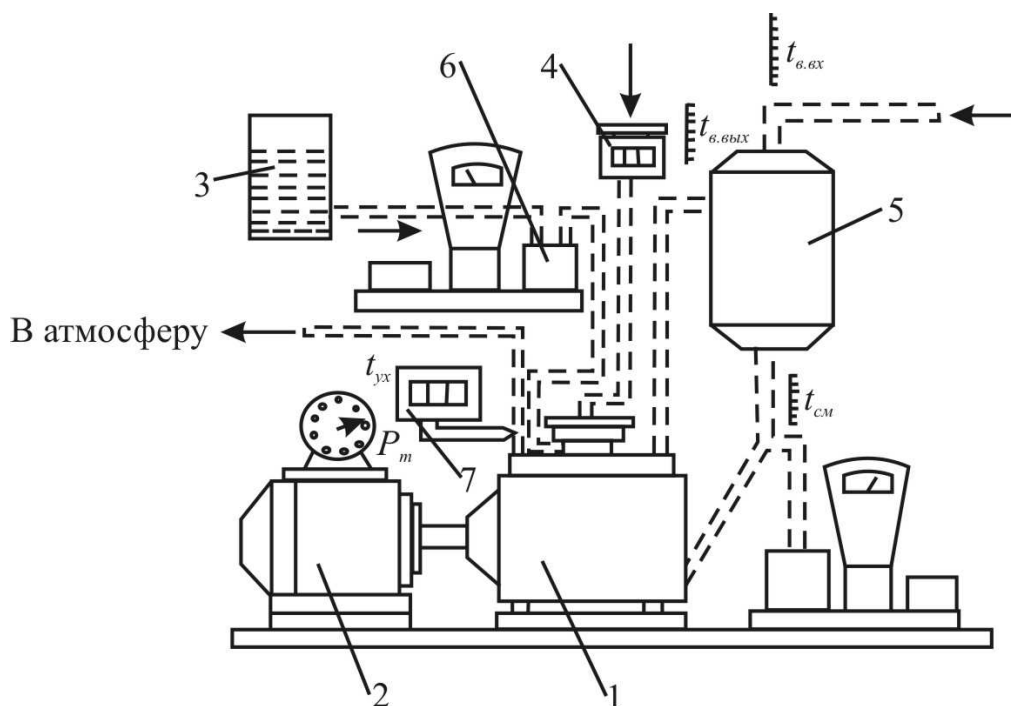


Рисунок 2.1 - Схема установки для снятия энергетического баланса двигателя внутреннего сгорания: 1 – двигатель внутреннего сгорания; 2 – электротормоз; 3 – топливный бак; 4 – расходомер воздуха; 5 – счетчик расхода воды; 6 – промежуточный топливный бак; 7 – термометр для определения температуры продуктов сгорания в выхлопном трубопроводе

Проведение испытаний

1. Ознакомиться с установкой, измерительными приборами и устройствами, составить схему установки. Подготовить журналы наблюдений.
2. Подготовить установку к испытанию. После запуска двигателя и достижения установившегося режима, характеризующегося стабильностью показаний термометров, начинают работу.

3. По сигналу следует приступить к записи показаний приборов. Сигнал об окончании испытания дается по израсходовании 50 г топлива. В процессе испытания записываются следующие величины:

- показания тормоза, P_m , кг;
- расход воды, $M_{вод}$;
- температура воды, поступающей в двигатель ($t_{в.вх}$) и на выходе из двигателя ($t_{в.вых}$);
- температура продуктов сгорания в выхлопном трубопроводе $t_{ух2}$;
- температура воздуха в помещении t_o ;
- барометрическое давление $P_{бар}$;
- количество воздуха, поступающего в двигатель $V_{сч}$;
- частота вращения вала двигателя n мин⁻¹;
- время испытания, τ , с.

Обработка результатов испытания

1. Определение секундного расхода топлива:

$$G_c = \frac{\Delta G}{\tau} \cdot 10^{-3}, \text{ кг/с,}$$

где τ - время испытания, с;

ΔG - масса топлива, израсходованного за опыт, г.

2. Располагаемое количество энергии, выделяемой при полном сгорании топлива, равно:

$$Q_{расч} = Q_H \cdot G_c, \text{ кДж/с.}$$

где Q_H - низшая теплота сгорания топлива (для дизельного топлива – 42500 кДж/кг; для бензина - 44000 кДж/кг).

3. Определение количества энергии, превращенной в полезную работу, т.е. эффективной мощности двигателя, определяемой по крутящему моменту:

$$N_e = 0,736 \cdot 10^{-3} \cdot P_T \cdot n, \text{ кВт.}$$

4. Определение коэффициента избытка воздуха:

а) действительное количество воздуха (по нормальному объему), поданное в двигатель на 1 кг топлива:

$$V_{\partial} = \frac{V_{сч} \cdot 10^3}{\Delta G} \cdot \frac{P_{окр}}{P_{н}} \cdot \frac{T_{н}}{T_{окр}}, \text{ м}^3/\text{кг},$$

где $V_{сч}$ - расход воздуха за опыт, м³;

б) теоретически необходимое количество воздуха:

$$V_o = 0,0889(C^p + 0,3755S^p) + 0,266H^p - 0,033O^p, \text{ м}^3/\text{кг},$$

где C^p , S^p , H^p , O^p , N^p и W^p - состав рабочей массы топлива (C^p - углерода; S^p - летучей серы; H^p - водорода; O^p - кислорода; N^p - азота; W^p - влаги).

Для дизельного топлива: $C^p=84\%$; $S^p=1,5\%$; $H^p=13\%$; $O^p=0,3\%$; $N^p=0,2\%$.

Для бензина $C^p = 85,5\%$; $H^p = 14\%$; $O^p = 0,3\%$; $N^p = 0,15\%$; $W^p = 0,05\%$.

в) коэффициент избытка воздуха:

$$\alpha = \frac{V_{\partial}}{V_o}.$$

5. Определение неиспользованной разности энтальпий уходящих газов, или количества тепла, переданного уходящими газами окружающей среде:

а) объем продуктов сгорания топлива:

$$V_{CO_2} = \frac{C^p}{54}, \text{ м}^3/\text{кг}, \quad V_{SO_2} = \frac{0,375S^p}{54},$$

$$V_{H_2O} = 0,111H^p + 0,012W^p + 0,0161V_o \cdot \alpha, \text{ м}^3/\text{кг},$$

$$V_{N_2} = 0,79V_o + 0,008N^p, \text{ м}^3/\text{кг};$$

б) избыток воздуха в продуктах сгорания:

$$\Delta V_{возд} = (\alpha - 1) \cdot V_o, \text{ м}^3/\text{кг},$$

$$\Delta V_{yx.z} = V_{CO_2} + V_{SO_2} + V_{H_2O} + V_{N_2} + \Delta V, \text{ м}^3/\text{кг};$$

в) объемные доли компонентов продуктов сгорания:

$$r_{CO_2} = \frac{V_{CO_2}}{V_{yx.z}}, \quad r_{SO_2} = \frac{V_{SO_2}}{V_{yx.z}} \text{ и т.д.};$$

г) объемная теплоемкость продуктов сгорания:

$$c_{p_{yx.z}} = \sum_{i=1}^{i=n} c_{pi} \cdot r_i, \text{ кДж}/(\text{м}^3 \text{ К}),$$

где c_{pi} - средние объемные теплоемкости компонентов при постоянном давлении, кДж/(м³ К);

д) неиспользуемая разность энтальпий уходящих газов:

$$Q_{yx.z} = G_c (V_{yx.z} \cdot c_{p_{yx.z}} \cdot t_{yx.z} - V_d \cdot c_{pv} \cdot t_o), \text{ кДж}/\text{с},$$

где c_{pv} - объемная изобарная теплоемкость воздуха при t_o °С.

6. Количество тепла, переданного охлаждающей воде, определяется из теплового баланса по формуле:

$$Q_{охл.в} = M_{вс} \cdot 4,19(t_{в.вых} - t_{в.вх}), \text{ кДж}/\text{с},$$

где $M_{вс} = M_{в}/\tau$ - расход водопроводной воды в единицу времени, кг/с.

7. Неиспользованное количество энергии вследствие химической неполноты сгорания:

$$Q_{хн} = 14600(1 - \alpha) \cdot 4,19 \cdot G_c, \text{ кВт}$$

8. Количество тепла, переданного в окружающую среду, и неучтенные потери:

$$Q_{ост} = Q_{расп} - N_e - Q_{yx.z} - Q_{охл.в} - Q_{хн}.$$

Оформление отчета

Отчет должен содержать схему установки с кратким ее описанием, таблицу опытных данных 2.1, обработку результатов испытания. Элементы теплового баланса должны быть сведены в таблицу 2.2.

Таблица 2.1 - Опытные данные

№ п/п	Измеряемая величина	Обозначение	Единицы измерения	Полученные данные
1.	Расход топлива	ΔG	г	
2.	Время опыта	τ	с	
3.	Частота вращения	n	мин ⁻¹	
4.	Усилие на тормозе	P_m	кг	
5.	Температура окружающей среды	t_o	°С	
6.	Давление окружающей среды	B	МПа	
7.	Температура уходящих газов	$t_{ух.г}$	°С	
8.	Температура воды на входе	$t_{в.вх}$	°С	
9.	Температура воды на выходе	$t_{в.вых}$	°С	
10.	Расход охлаждающей воды на опыт	$M_в$	кг	
11.	Расход воздуха на опыт	$V_{сч}$	м ³	

Таблица 2.2 - Элементы теплового баланса

№ п/п	Элементы баланса	Формула для вычисления	Величина	
			кВт	%
1.	Располагаемое количество энергии			
2.	Полезная работа			
3.	Тепло, переданное охлаждающей воде			
4.	Тепло, отданное окружающей среде уходящими газами			
5.	Остаточный член баланса			

Контрольные вопросы

1. Что такое энергетический баланс двигателя внутреннего сгорания?
2. Опишите лабораторную установку.
3. Как определяется мощность двигателя?
4. Как определяется количество теплоты, унесенной охлаждающей жидкостью?
5. Как определяется количество теплоты, уходящее с отработавшими газами?
6. Что такое коэффициент избытка воздуха и как он определяется?
7. Как определяется неиспользованное количество теплоты вследствие химической неполноты сгорания?

Лабораторная работа №3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ВОДЫ

Цель работы

Освоение методики определения теплопроводности жидкостей и изучение теплопроводности воды.

Задачи работы

1. Ознакомиться с устройством установки и контрольно-измерительными приборами.
2. Определить распределение температурного напора по высоте водяного столба, нагреваемого сверху.
3. Определить величину коэффициента теплопроводности воды.
4. Определить величину температуропроводности воды.

Описание установки

Определение коэффициента теплопроводности воды проводится на установке, схема которой представлена на рисунке 3.1.

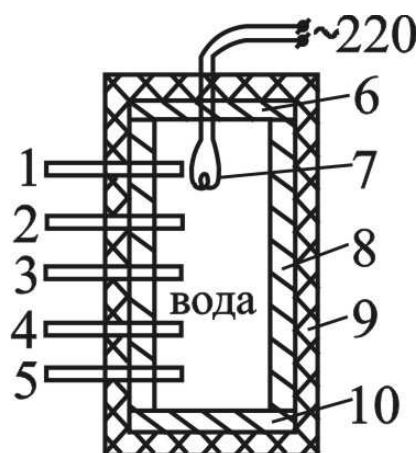


Рисунок 3.1 - Схема установки для определения коэффициента теплопроводности воды: 1, 2, 3, 4, 5 - термометры; 6 - фланец верхний; 7 - нагревательный элемент; 8 - труба; 9 - теплоизоляция; 10 - фланец нижний

Основная часть установки - вертикальная цилиндрическая труба длиной 1500 мм, с внутренним диаметром 94 мм. Труба с торцов заглушена фланцами. Труба заполнена водой. В верхнем фланце установлен электрический нагревательный элемент. По боковой образующей трубы через 250 мм установлены пять термометров. Вся наружная поверхность трубы покрыта теплоизоляцией.

Проведение работы

1. Ознакомиться с установкой, измерительными приборами, составить схему установки. Подготовить таблицу наблюдений.
2. Записать показания термометров установки.
3. Включить установку, зафиксировав время включения.
4. Через каждые две минуты производить запись показаний измерительных приборов. Такие замеры производить до начала кипения воды (термометр № 1 зафиксирует температуру 100°C).
5. Подсчитать величину коэффициента теплопроводности и величину температуропроводности.

Обработка полученных результатов

1. Величина коэффициента теплопроводности подсчитывается по формуле:

$$\lambda = \frac{U \cdot I \cdot S}{(t_1 - t_2) \cdot F \cdot 3600}, \text{ Вт/(м} \cdot \text{К)},$$

где U - показания вольтметра, В;

I - показания амперметра, А;

S - расстояние между термометрами, равное 0,25 м;

F - площадь сечения трубы, м²;

t_1 и t_2 - показания термометров под номерами 1 и 2.

2. Вычислить величину термического сопротивления:

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

3. Температуропроводность воды определяется по выражению:

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho_{cp} \cdot C_{cp}},$$

где ρ_{cp} - средняя между сечениями 1 и 2 плотность воды, кг/м³;

C_{cp} - средняя между сечениями 1 и 2 теплоемкость воды, Дж/(кг·К).

Значения плотности и теплоемкости воды следует выбирать из таблицы 2 приложения.

Оформление отчета

Отчет должен содержать схему установки с кратким ее описанием, таблицу опытных и полученных в результате расчетов данных 3.1. В конце построить графические зависимости:

1. $T = f(\tau, S_i)$. Для этого по оси ординат отложить значения T , по оси абсцисс - τ , по оси аппликат - S_i , где i = номер термометра.

2. $S/\lambda = f(T_{cp})$, где $T_{cp} = \frac{T_1 + T_2}{2}$.

3. $\alpha = f(T_{cp})$.

Таблица 3.1 - Данные замеров и результаты расчетов

№ п/п	τ , мин	Показания термометров, °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_{cp} , К
		t_1	t_2	t_3	t_4	t_5								

Контрольные вопросы

1. Дайте определение коэффициента теплопроводности тела.
2. Что такое теплопроводность воды?
3. Что такое температуропроводность воды?

4. Опишите установку для определения коэффициента теплопроводности воды.
5. Что такое термическое сопротивление и как оно определяется?
6. Как зависит термическое сопротивление воды от температуры?
7. Как зависит температуропроводность воды от температуры?

Лабораторная работа № 4

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА В ВЕРТИКАЛЬНОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ТРУБЕ

Цель работы

Освоение методики определения конвективного теплообмена в жидкостях и газах. Изучить конвективный теплообмен в воде в вертикальной цилиндрической трубе.

Задачи работы

1. Ознакомиться с устройством установки и контрольно-измерительными приборами.
2. Определить распределение температурного напора по высоте водяного столба, нагреваемого снизу.
3. Определить величины циркуляционного давления в воде по сечениям.

Описание установки

Исследование конвективного теплообмена представляет собой весьма сложную задачу из-за большого количества факторов, которые необходимо учитывать. Поэтому, как правило, исследование конвективного теплообмена проводят с использованием методов подобия, т.е. находят зависимости между безразмерными комплексами. Безразмерный комплекс представляет из себя сочетание ряда величин, характеризующих процесс, явление, составленное по определенным правилам.

При конвективном теплообмене в жидкости вследствие разности ее плотности в различных сечениях наблюдается движение частиц (циркуляции жидкости) без внешней побудительной силы.

Установка (рисунок 4.1) состоит из вертикальной цилиндрической стальной трубы, обмурованной теплоизоляцией. Длина трубы 1500 мм, внутренний

диаметр – 94 мм. В нижнем фланце установлены нагревательные элементы. По боковой образующей трубы через 250 мм установлены пять термометров.

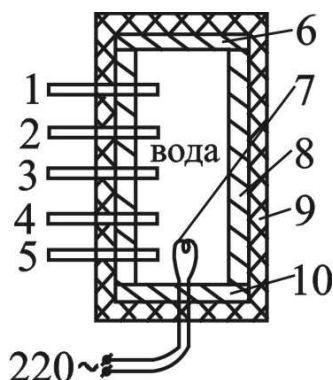


Рисунок 4.1 - Схема установки для исследования конвективного теплообмена в воде: 1, 2, 3, 4, 5 - термометры; 6 - фланец верхний; 7 - нагревательный элемент; 8 - труба; 9 - теплоизоляция; 10 - фланец нижний

Проведение работы

1. Ознакомится с установкой, измерительными приборами, составить схему установки. Подготовить таблицу наблюдений (таблица 4.1).
2. Записать показания термометров.
3. Включить установку, записав время включения.
4. Через каждые пять минут производить запись показаний измерительных приборов. Такие замеры производить до начала кипения воды (термометр № 5 регистрирует температуру 100°C).
5. Подсчитать величины циркуляционного давления для каждого сечения.

Обработка полученных результатов

Циркуляционное давление подсчитывается по следующей формуле:

$$P = 9,81(\rho_5 - \rho_i)(1,5 - S_i), \text{ кПа,}$$

где ρ_5 - плотность воды в выбранном верхнем сечении трубы, кг/м³;

ρ_i - плотность воды в i -ом сечении трубы, кг/м³;

S_i - расстояние между сечениями, равное 0,25 м.

Оформление отчета

Отчет должен содержать схему установки с кратким ее описанием, таблицу опытных данных и результатов расчетов. В конце следует построить графики:

1. $T = f(\tau, S_i)$. Для этого по оси аппликат откладывается номер S_i - сечения, по оси абсцисс - время τ , по оси ординат - температура T .

2. $P = f(T)$ для своего выбранного сечения.

Плотность воды в зависимости от температуры следует выбирать из таблицы 2 приложения.

При построении графика необходимо строго выдерживать масштабы.

Таблица 4.1 - Данные опытов и результаты расчетов

№ п/п	Показания термометров, °С					Плотность воды, кг/м ³					Циркуляционное давление, кПа				
	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	ρ_1	ρ_2	ρ_3	ρ_4	ρ_5	P_1	P_2	P_3	P_4	P_5

Контрольные вопросы

1. Что такое конвективный теплообмен в жидкости?
2. Что такое циркуляционное давление в жидкости? Природа его возникновения.
3. Опишите установку для определения конвективного теплообмена в жидкости.
4. Как зависит циркуляционное давление в жидкости от ее температуры?

Лабораторная работа № 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛООТДАЧИ В ПОДОГРЕВАЕМОМ ЦИЛИНДРЕ ПРИ ЕСТЕСТВЕННОЙ КОНВЕКЦИИ ВОЗДУХА

Цель работы

Определение коэффициента теплоотдачи трубы при свободной конвекции воздуха при различных температурах поверхности трубы.

Задачи работы

Ознакомление с методами расчета коэффициентов теплоотдачи поверхности различных тел с окружающим воздухом.

Содержание работы

1. Изучить прямой метод расчета коэффициента теплоотдачи по экспериментальным данным о тепловом потоке и температурном напоре и косвенный, основанный на решении уравнения с помощью теории подобия.
2. Изучить лабораторную установку для проведения исследований.
3. Выполнить лабораторные исследования.
4. Обработать полученные результаты.

Общие сведения

Причиной возникновения свободной конвекции является неустойчивое распределение плотностей жидкости (газа), обусловленное неравномерностью нагрева. При этом температурный напор определяет разность плотностей и величину подъемной силы, а площадь поверхности – зону распространения процесса.

Обобщение результатов различных экспериментов по теплообмену в свободном потоке тел различных форм и размеров, омываемых различными жид-

костями или газами, позволило подобрать общую зависимость между критериями подобия. Эту зависимость для горизонтальных труб можно представить в виде:

$$10^4 < G_r P_r < 10^7: N_u = 0,5(G_r P_r)^{0,25}, \quad (5.1)$$

где N_u - критерий Нуссельта, $N_u = \alpha d / \lambda$;

G_r - критерий Грасгофа, $G_r = b g d^3 \Delta T / n^2$;

P_r - критерий Прандтля, $P_r = m c / l$;

α - коэффициент теплоотдачи (характеризует условия теплообмена между жидкостью и поверхностью твердого тела), Вт /м²·К;

λ - коэффициент теплопроводности, Вт /м²·К;

d - характерный размер (диаметр трубы), м;

b - коэффициент объемного расширения жидкости (газа), м;

g – ускорение свободного падения, $g = 9,8$ м/с²;

$n = \mu / \rho$ - кинематическая вязкость жидкости, м²/с;

μ - динамическая вязкость, Па·с;

ρ – плотность, кг/м³;

c – удельная массовая теплоемкость, Дж/кг·с.

Применяя эти уравнения для инженерных расчетов средних значений коэффициентов теплоотдачи α , нужно иметь в виду следующее:

1. Число P_r и l в диапазоне температур от 20 до 100° С изменяются существенно, поэтому для точности расчета следует пользоваться написанными ниже эмпирическими соотношениями или таблицами физических свойств воздуха:

$$P_r = -0,0002 t + 0,7068; l = 8 t 10^{-5} + 0,0244, \text{ Вт /м} \cdot \text{К},$$

$$n = (0,1015 t + 12,94) 10^{-6}, \text{ м}^2/\text{с}.$$

2. Все физические константы, входящие в состав критериев, берутся при средней температуре жидкости (t – в градусах Цельсия).

3. В качестве определяющего размера в критериях для горизонтальных труб принимают их диаметр, а для вертикальных поверхностей (труб, пластин) – их высоту.

Итак, для трубы, находящейся в воздухе, уравнение (5.1) имеет вид:

$$N_u = 0,5 (G_r P_r)^{0,25},$$

$$G_r = (g d^3 \Delta T) / (n^2 T),$$

где ΔT - разница температур между окружающей средой и поверхностью трубы;

T - средняя температура воздуха.

$$a = N_u l / d.$$

С другой стороны, средний коэффициент теплоотдачи от поверхности трубы можно рассчитать по закону Ньютона-Рихмана:

$$q = a \Delta T, \quad (5.2)$$

отсюда:

$$a = q / \Delta T,$$

где q - плотность теплового потока через наружную стенку трубы, Вт/м².

Если считать, что теплоотдача осуществляется преимущественно путем конвекции (т.е. не учитывать излучение), то плотность теплового потока определяется по формуле:

$$q = Q / F = (U_n I_n) / (dlp), \quad (5.3)$$

где $I_n = U_o / R_o$,

R_o – образцовое сопротивление, Ом;

U_o - перепад напряжения на образцовом сопротивлении, В;

U_n - перепад напряжения на нагревателе, В;

Q – теплота выделяемая нагревателем, Вт;

F – площадь образующей цилиндрической поверхности трубы, м².

Для расчета средней температуры поверхности трубы t_{cm} используется формула:

$$t_{cm} = (t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5) / 5 \quad (5.4)$$

Описание установки

Лабораторная установка (рисунки 5.1 и 5.2) состоит из отрезка медной тонкостенной трубы 1, внешний диаметр которой равен 28 мм. На поверхности трубы по её длине расположены 5 термодпар $t_1 \dots t_5$ с интервалом 100 мм. Третья термодпара t_3 находится в центре трубы, термодпары t_1 и t_5 находятся на расстоянии 10 мм от концов трубы. Указанные термодпары монтируются изнутри трубы. Труба устанавливается так, что спаи термодпар находятся в верхних точках цилиндрической поверхности трубы. Еще одна термодпара t_6 находится снизу на середине трубы. На концах трубы находятся заглушки 2 из теплоизолирующего материала. Термодпара t_0 измеряет температуру воздуха вблизи трубы.

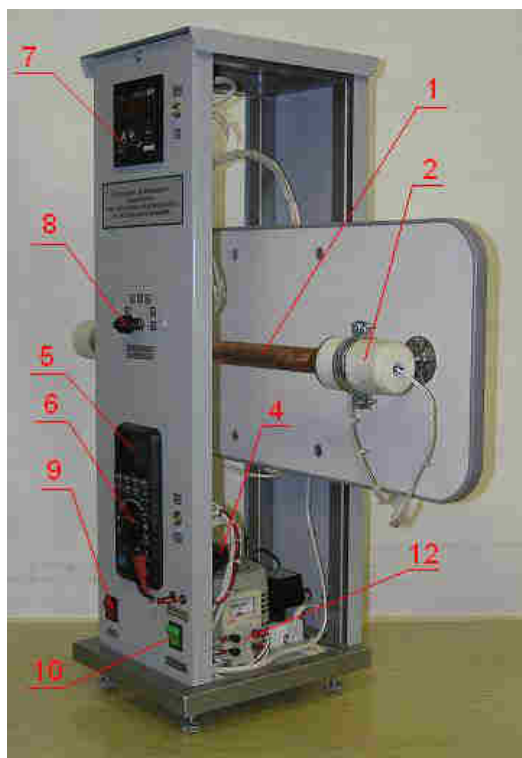


Рисунок 5.1 - Общий вид установки

В центре трубы находится электрический нагреватель 3, подключённый через образцовое сопротивление R_o к источнику переменного напряжения 12 (ЛАТР). Напряжение на нагревателе U_H и падение напряжения на образцовом сопротивлении U_O измеряется вольтметром 5. Нагреватель 3 размещается в медном цилиндрическом термостате 11.

На передней панели модуля расположены гнезда для подключения вольтметра, а также тумблер 6 для переключения вольтметра для измерения напряжения на нагревателе U_H и падения напряжения на образцовом сопротивлении U_O . Все термопары подключены к измерителю 7 температуры ТРМ200 через переключатель 8. Включение установки производится тумблером 9, включение нагревателя – тумблером 10. Установка необходимого напряжения на нагревателе и его регулирование производится ручкой 4 ЛАТРа.

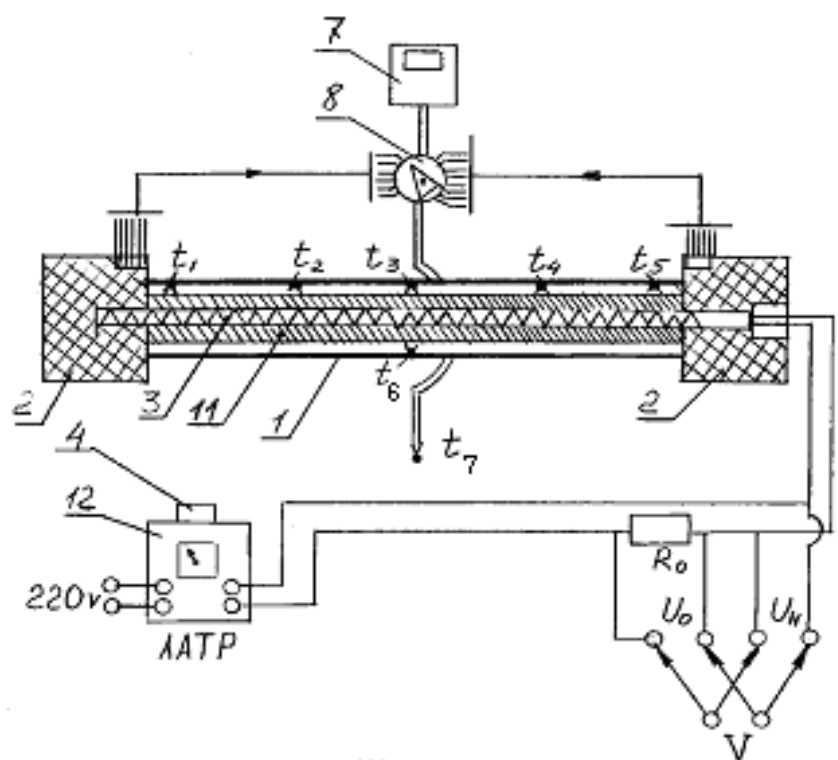


Рисунок 5.2 - Схема включения установки:

- 1 – медная тонкостенная труба; 2 - заглушка из теплоизолирующего материала; 3 – нагреватель; 4 – регулятор ЛАТРа; 5 – мультиметр;
- 6 - переключатель мультиметра; 7 – измеритель температуры;
- 8 – переключатель измерения температуры; 9 – тумблер;
- 10 – тумблер включения нагревателя; 11 – термостат;
- 12 - источник переменного напряжения (ЛАТР)

На задней панели находится преобразователь интерфейса АС-4 для подключения к компьютеру и создания графического и табличного протокола измеренных величин температур с последующей обработкой экспериментальных данных.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение коэффициента теплоотдачи.
2. Что такое естественная конвекция воздуха?
3. Что такое температурный напор?
4. Какие критерии подобия используются при исследовании теплопередачи горизонтальных труб?

Лабораторная работа № 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТЕПЛООТДАЧИ ЖИДКОСТНОГО РАДИАТОРА И РАСЧЕТ ВЕНТИЛЯТОРА ДВС

Цель работы

Изучение теплопроводности жидкостного радиатора и расчет вентилятора.

Задачи работы

1. Ознакомиться с опытной установкой для определения коэффициента теплопередачи.
2. Ознакомиться с контрольно-измерительными приборами.
3. Определение коэффициента теплопередачи.
4. Определение мощности вентилятора охлаждения.

Общие сведения

Для обеспечения оптимального и стабильного теплового состояния двигателя на любом режиме его работы путем принудительного отвода теплоты от его деталей предназначена система охлаждения.

В автотракторных двигателях применяют жидкостные системы охлаждения закрытого типа с принудительной циркуляцией охлаждающего теплоносителя. Она состоит из жидкостного и воздушного трактов. Регулирование температуры охлаждающей жидкости осуществляется изменением массового расхода горячего и холодного теплоносителей, циркулирующих в жидкостном и воздушном трактах системы. Тепло, получаемое жидкостью от нагретых деталей двигателя, охлаждается в радиаторе воздухом, подаваемым вентилятором. Поэтому важной характеристикой этой системы является коэффициент теплопередачи, а также необходимая мощность вентилятора.

Описание установки

Опыт проводится на установке (рисунок 6.1), которая представляет собой бак 1 для нагрева воды, включающий в себя электротэны 3 и термопару 2, а также водяной насос 5 и радиатор 6. Для обдува радиатора имеется вентилятор 7. Измерение температуры воды производится термопарами 8 и 9, а температуры воздуха термопарами 10 и 11.

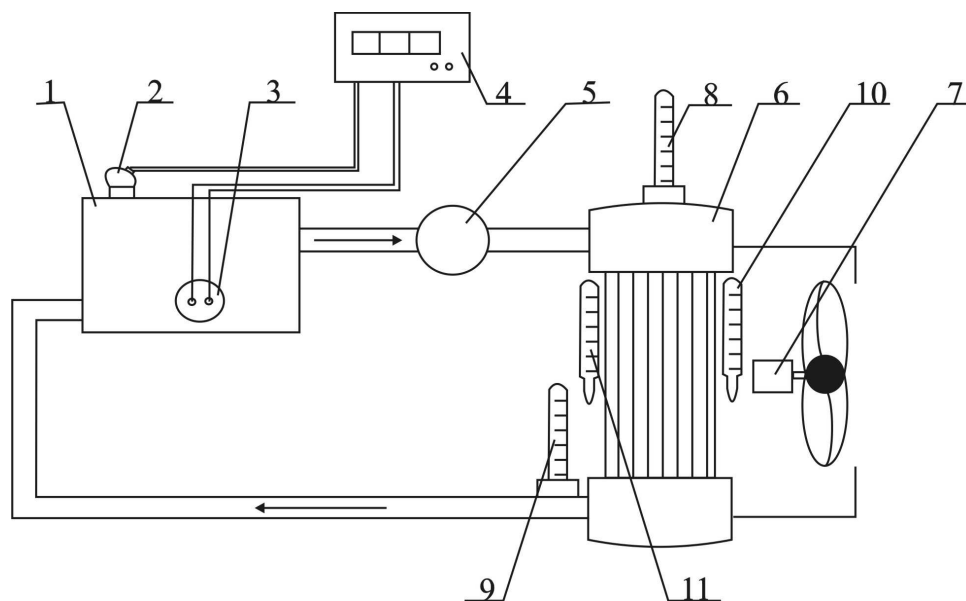


Рисунок 6.1 - Схема установки для определения теплоотдачи и теплопередачи жидкостного радиатора: 1 – бак с водой; 2 – термопара; 3 – нагревательный элемент; 4, 12 – прибор ОВЕН; 5 – водяной насос; 6 – радиатор; 7 – вентилятор; 8, 9 – термопары для определения температуры воды, соответственно, на входе 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. Дают поработать установке в установившемся режиме в течение 5 минут, после чего проводят необходимые измерения при трех положениях заслонки: закрытое, промежуточное и открытое.

Обработка результатов

Коэффициент теплопередачи радиатора определяется:

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

где $Q_{пол}$ – количество теплоты, отводимое жидкостью;

F – поверхность охлаждения радиатора, м²;

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

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

Полное количество тепла определяется по расходу электроэнергии на нагреватель:

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

где I – сила тока нагревателя, А;

U – напряжение на клеммах нагревателя, В;

t – время нагрева, с.

Исходя из полученных значений $T_{ж.вх.}$ и $T_{ж.вых.}$, соответственно показания термометров 8 и 9 (см. рисунок 6.1), и значений $T_{воз.вх.}$ и $T_{воз.вых.}$, соответственно показания термометров 10 и 11 (рисунок 6.1), определяем среднюю температуру воды в радиаторе и среднюю температуру воздуха, проходящего через радиатор:

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

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

По данным расчета жидкостного радиатора проводим расчет вентилятора. Определяем плотность воздуха при средней его температуре в радиаторе:

$$\rho_{возд.} = P_o \cdot 10^6 / R_g \cdot T_{ср.возд.},$$

где P_o – атмосферное давление, $P_o = 0,1$ МПа;

R_g – газовая постоянная воздуха, $R_g = 287$ Дж/кмоль·К.

Тогда производительность вентилятора определится

$$G_{возд.} = G_{возд.} / \rho_{возд.},$$

где $G_{возд.}$ – количество воздуха, проходящего через радиатор, равное

$$G_{\text{возд}} = Q_{\text{пол}} / c_{\text{возд}} \cdot \Delta T_{\text{возд}},$$

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

Определяем фронтную поверхность радиатора:

$$F_{\phi} = G_{\text{возд}} / w_{\text{возд}},$$

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

Определяем диаметр вентилятора:

$$D_{\text{вент}} = 2 \left(\frac{F_{\phi}}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}}.$$

Определяем окружную скорость вентилятора:

$$u = \psi_{\text{л}} \left(\frac{\Delta p_{\text{тр}}}{\rho_{\text{возд}}} \right)^{\frac{1}{2}},$$

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

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

Тогда частота вращения вентилятора равна

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

Отсюда мощность, затрачиваемая на привод осевого вентилятора определяется

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

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

Оформление отчета

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

Таблица 6.1 - Опытные данные и результаты расчета

Показатели	Положение заслонки		
	закрытое	полуоткрытое	открытое
Температура $t_{ж.вх.}$, °С			
Температура $t_{ж.вых.}$, °С			
Температура $t_{возд.вх.}$, °С			
Температура $t_{возд.вых.}$, °С			
Полное количество тепла, Вт			
Коэффициент теплопередачи, Вт/м ² К			
Мощность, затраченная на привод вентилятора, кВт			

Контрольные вопросы

1. Дайте определение коэффициентов теплоотдачи и теплопередачи.
2. Как определяется мощность на привод вентилятора?
3. Какие способы охлаждения радиаторов применяются?
4. Какие радиаторы используются в карбюраторных двигателях?
5. Как регулируется работа вентилятора для охлаждения радиатора?

Лабораторная работа №7

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.

Описание установки

Ротационные компрессоры работают по тому же принципу, что и поршневые машины, т.е. по принципу вытеснения. Основная часть энергии, передаваемая газу, сообщается при непосредственном сжатии. Сущность действия ротационного компрессора заключается в том, что независимо от его конструктивных особенностей всасывание газа или воздуха производится той полостью компрессора, объем которой увеличивается при вращении ротора. Засасываемый газ попадает в замкнутую камеру, объем которой, перемещаясь при вращении ротора, уменьшается. Сжатие за счет уменьшения объема приводит к увеличению давления и выталкиванию газа в нагнетательный патрубок.

Ротационные компрессоры могут быть с катящимся, качающимся и вращающимся ротором. Последний тип с двумя, четырьмя и более пластинами, с круглым и эллипсным цилиндром, с трохойдным цилиндром и ротором.

На предприятиях молочной и мясной промышленности применяют ротационные пластинчатые компрессоры (рисунок 7.1). На вал, расположенный эксцентрично по отношению к цилиндру, насажен ротор с фрезерованными по всей длине пазами, в которых расположены пластины. Пластины прижимаются

к поверхности цилиндра, образуя замкнутые вдоль оси полости. Всасываемый воздух поступает в полости, расположенные в верхней части цилиндра. При вращении цилиндра объем полости уменьшается, и воздух сжимается. Сжатый воздух нагнетается через патрубок, расположенный в зоне нагнетания.

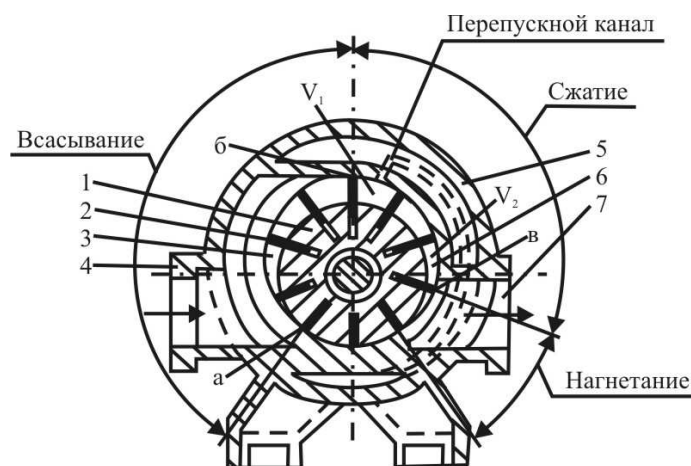


Рисунок 7.1 - Ротационный компрессор с катящимся ротором:
 а - б - полость всасывания; б - в - полость нагнетания; 1 - ротор, насаженный на вал; 2 - пластины асботекстолитовые; 3 – всасывающая полость компрессора; 4 - всасывающий патрубок; 5 - цилиндр; 6 - нагнетательная полость компрессора; 7 - нагнетательный патрубок

Ротационные компрессоры имеют небольшую массу, обеспечивают равномерную подачу газа, но не позволяют добиться высокой степени сжатия, а следовательно, высоких давлений нагнетания.

Проведение испытания

1. Ознакомиться с установкой, измерительными приборами и устройствами, составить схему установки. Подготовить журналы наблюдений.

2. Подготовить установку к испытанию. После запуска компрессора начинают работу.

3. По сигналу следует приступить к записи показаний приборов. В процессе испытания записываются следующие величины:

- давление нагнетания;
- время опыта.

Обработка результатов испытания

Производительность пластинчатого ротационного компрессора определяется по его размерам.

При длине ротора $l=0,025$ м, внутреннем диаметре $D=0,055$ м эксцентриситете $m=0,003$ м и числе оборотов $n = 480$ мин⁻¹ средняя скорость верхнего края пластин составляет πDn (м/мин). Максимальное сечение одной камеры осевой плоскостью без вредного зазора - $2ml$ (м²).

Теоретическая производительность пластинчатого компрессора

$$V_o = \pi \cdot D \cdot n \cdot 2 \cdot m \cdot l, \text{ м}^3/\text{мин.}$$

Действительная производительность определяется с учетом коэффициента подачи $\lambda_{рот}$, толщины пластинок, уменьшающих длину окружности πD на величину $z \cdot s$, где $z = 2$ - число пластин, а $s=0,008$ м - толщина пластины, м.

Тогда действительная производительность равна:

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

Коэффициент подачи ротационного компрессора

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

где a – коэффициент, $a=0,5$;

$p_{наг}$ - давление нагнетания, кПа;

$p_{вс}$ - давление всасывания, кПа.

Давление нагнетания определяется:

$$p_{наг} = p_{бар} + p_m$$

где $p_{бар}$ – атмосферное давление, кПа;

p_m – давление манометра, кПа.

Эффективная мощность равна:

$$N_{e.рот} = \frac{R \cdot T_o}{1000 \cdot \eta_{из}} \cdot \ln \frac{p_{наг}}{p_{вс}} \cdot V_{рот} \cdot \rho_{вс}, \text{ кВт,}$$

где R - газовая постоянная, кДж/(кг·К);

T_o - температура всасываемого газа, К;

$\eta_{из}$ - изотермический КПД (для ротора с двумя пластинами $\eta_{из}=0,65$; для ротора с четырьмя пластинами $\eta_{из}=0,55$);

$p_{наг}$ и $p_{вс}$ - давление нагнетания и всасывания, кПа;

$V_{рот}$ - объемная производительность компрессора, м³/с;

$\rho_{вс}$ - плотность сжимаемой среды при параметрах всасывания, кг/м³.

Работа, затраченная компрессором, определяется по формуле:

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

где τ – время опыта, с.

Объем, нагнетаемый компрессором, определяется из выражения::

$$\frac{p_{наг}}{p_{вс}} = \left(\frac{V_p}{V_{наг}} \right)^{\kappa},$$

где V_p – объем ресивера, $V_p=0,02$ м³;

$V_{наг}$ – объем, нагнетаемый компрессором, м³;

κ – показатель адиабаты, $\kappa=1,4$.

Пластинчатые компрессоры могут применяться и как вакуум-насосы с вакуумом 95%. Регулирование производительности осуществляется или изменением числа оборотов, или соединением нагнетательного патрубка со всасывающим.

Пластинчатые ротационные компрессоры устанавливаются в холодильных машинах, используемых в пищевой промышленности.

Оформление отчета

Отчет должен содержать:

1. Схему установки с кратким ее описанием.
2. Таблицы опытных данных и обработанных результатов.
3. График зависимости давления от объема ($p_{наг} V_{наг}$).
4. Выводы о проделанной работе.

Таблица 7.1 - Опытные данные

Давление $P_{наг}$, атм	τ , с
1,2	
1,4	
...	

Таблица 7.2 - Обработанные результаты

$P_{наг}$, атм	$V_{рот}$, м ³ /с	$V_{наг}$, м ³	$N_{в.рот}$, кВт	L , кДж
1,2				
1,4				
...				

Контрольные вопросы

1. Назначение ротационных компрессоров.
2. Принцип работы ротационного компрессора.
3. Чем отличается работа ротационного компрессора от поршневого компрессора?
4. Для чего применяется ресивер?
5. Как определяется работа на привод ротационного компрессора?
6. Как определяется производительность роторного компрессора?
7. Как определяются затраты мощности на привод ротационного компрессора?

Литература

1. Драганов Б.Х., Кузнецов А.В., Рудобашта С.П. Теплотехника и применение теплоты в сельском хозяйстве. - М.В.О. Агропромиздат, 1990.-324 с.
2. Есин В.В., Кретьова Н.П., Кузнецов А.В. Практикум по теплотехнике и применению теплоты в сельском хозяйстве. – М.: Колос, 1971.-189 с.
3. Захаров А.А. Применение тепла в сельском хозяйстве. - М.: Колос, 1980.-287 с.
4. Лопарев А.А., Лиханов В.А., Вылегжанин П.Н. Сборник задач по теплотехнике и применению теплоты в автомобильном хозяйстве: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов». - Киров: Вятская ГСХА, 2015. - 326 с.

Таблица 2 – Плотность и теплоемкость воды при различной температуре

Температура, t , °С	Плотность, ρ , кг/м ³	Теплоемкость, C , (кДж/кг·К)
20	997,6	4,189
25	997,1	4,185
30	995,7	4,183
35	994,1	4,181
40	992,2	4,181
50	988,1	4,185
60	983,3	4,189
70	977,8	4,197
80	971,8	4,202
90	965,3	4,210
95	961,3	4,215
100	958,3	4,218
105	955,1	4,218
110	957,0	4,218

Оглавление

Введение	3
Лабораторная работа № 1. Обработка индикаторных диаграмм	4
Лабораторная работа № 2. Снятие энергетического баланса ДВС	18
Лабораторная работа № 3. Определение коэффициента теплопроводности воды	24
Лабораторная работа № 4. Исследование конвективного теплообмена в вертикальной цилиндрической трубе	28
Лабораторная работа № 5. Определение коэффициента теплоотдачи в подогреваемом цилиндре при естественной конвекции воздуха	31
Лабораторная работа № 6. Определение коэффициента теплоотдачи жидкостного радиатора и расчет вентилятора ДВС	38
Лабораторная работа № 7. Исследование ротационных компрессоров	43
Литература	48
Приложение	49

Учебное издание

**Вылегжанин Павел Николаевич,
Лопарев Аркадий Афанасьевич,
Лопатин Олег Петрович**

ТЕПЛОТЕХНИКА И ПРИМЕНЕНИЕ ТЕПЛОТЫ В АВТОМОБИЛЬНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

Учебно-методическое пособие для выполнения
лабораторных работ по дисциплине «Теплотехника»
для студентов инженерного факультета,
обучающихся по направлениям подготовки:
23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических
машин и комплексов,
23.03.01 Технология транспортных процессов

Редактор И.В. Окишева

Формат 60x84 1/16. Объем усл. печ. л. 3,25. Тираж 100 экз.
Бумага офсетная. Цена договорная. Отпечатано с оригинал-макета.
Отпечатано в типографии ФГБОУ ВО Вятская ГСХА
610017, г. Киров, Октябрьский проспект, 133