

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Двигатели внутреннего сгорания»

ИСПЫТАНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ

Практикум
для студентов специальности
1-37 01 01 «Двигатели внутреннего сгорания»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением по образованию
в области транспорта и транспортной деятельности*

Минск
БНТУ
2019

УДК 621.43.016–025.13(0758)

ББК 31.365я7

ИЗ4

Составители:

Г. М. Кухарёнок, А. Н. Петрученко

Рецензенты:

кафедра «Технологии и организация технического сервиса»
Белорусского государственного аграрного технического
университета (зав. кафедрой *В. Е. Тарасенко*);
начальник отдела силовых агрегатов ГНУ «Объединенный институт
машиностроения НАН Беларуси» *А. С. Климух*

Испытания двигателей : практикум для студентов специальности
ИЗ4 1-37 01 01 «Двигатели внутреннего сгорания» / сост.: Г. М. Кухарёнок, А. Н. Петрученко. – Минск: БНТУ, 2019. – 63 с.
ISBN 978-985-583-043-7.

Издание содержит лабораторные работы по дисциплине «Испытания двигателей внутреннего сгорания». Для каждой лабораторной работы приведены основные понятия из теории изучаемого вопроса, методика выполнения, описание экспериментальной установки, порядок обработки опытных данных и составления отчета.

УДК 621.43.016–025.13(0758)

ББК 31.365я7

ISBN 978-985-583-043-7

© Белорусский национальный
технический университет, 2019

ВВЕДЕНИЕ

Вследствие ограниченного объема лабораторного практикума в него включены только основные положения методики испытаний автотракторных двигателей. Последовательность описания лабораторных работ принята в соответствии с программой дисциплины «Испытания двигателей». Практикум может быть использован студентами и других автотракторных специальностей при выполнении работ по испытаниям двигателей внутреннего сгорания.

ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

1. Студенты распределяются руководителем по рабочим местам таким образом, чтобы одну лабораторную работу выполняла группа из 3–5 человек.
2. Руководитель раздает студентам необходимые приборы и инструменты.
3. Студенты должны ознакомиться с порядком проведения работы и приступить к ее выполнению.
4. После выполнения работы студенты должны показать полученные результаты руководителю, убрать рабочее место, сдать приборы и инструменты.

Лабораторная работа № 1

ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ТАРИРОВКА ТЕРМОПАРЫ

Цель работы:

1. Ознакомление с принципом выбора материала термопары для измерения температур в определенных пределах при различных условиях.
2. Освоение установок и приборов для изготовления и тарирования термопар.
3. Приобретение навыков изготовления и тарирования термопар.

Теоретические сведения

Одним из наиболее часто встречающихся видов измерений при испытании двигателей внутреннего сгорания является измерение температуры. При измерении температуры отработанных газов и деталей обычно применяются термопары, которые позволяют измерять температуру как в отдельной точке, так и среднюю температуру в объеме.

Определение температуры термопарой основано на использовании термоэлектрического эффекта, возникающего при нагреве места спая двух проводников из неоднородных металлов или сплавов. Возникающая при этом ЭДС называется *термоэлектродвижущей силой (ТЭДС)*, а пара проводников – *термопарой*. Нагреваемый спай термопары, находящийся при температуре t_1 измеряемой среды, называют *горячим* или *рабочим*; второй, имеющий температуру t_0 окружающей среды, называют *холодным* или *свободным*. Результирующая ТЭДС термопары равна разности ТЭДС ее обоих спаев:

$$E = f(t_1) - f(t_0).$$

Эта зависимость положена в основу измерения температур при помощи термопар. Для измерений используется термоэлектрический пирометр, состоящий из термопары и милливольтметра, соединенных электрическим проводом (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Схема термопары

На рис. 1.1 у термоэлектродов 1 и 2 спай 3 является горячим, а спай 4 – холодным. В этом случае милливольтметр 5 покажет разность ТЭДС горячего и холодного спаев. Обычно термопару собирают с удлинительными проводами 6, изготовленными из меди. Присоединенные к термоэлектродам удлинительные провода не влияют на показания милливольтметра, если их концы находятся при одинаковой температуре. Величина и направление ТЭДС зависят от материалов термоэлектродов. Положительным называется тот термоэлектрод, по направлению к которому идет ток через горячий спай термопары.

Термопара и милливольтметр перед проведением испытаний должны тарироваться. Тарировка термопары заключается в установлении зависимости ТЭДС от температуры горячего спая при постоянной температуре холодного спая. Отклонение от заданной зависимости для термопары данного типа может быть обусловлено химическим составом материала термопары в месте спая, изменением в составе спаянных металлов при нагревании в процессе эксплуатации термопары. Милливольтметр также может давать отклонение, обусловленное состоянием электрической системы прибора, передаточного механизма к стрелке прибора, ошибками в самой шкале и др. Термопара и милливольтметр могут тарироваться двумя способами: по отдельности и совместно. Более точные результаты дает их совместная тарировка.

Выбор материала проволоки для изготовления термопары производится исходя из наибольшего значения измеряемой температуры и образуемой при этом величины ТЭДС (табл. 1.1, 1.2).

Таблица 1.1

Величина ТЭДС для различных металлов и сплавов
в паре с платиной

Металл или сплав	Химический состав, %	ТЭДС в паре с платиной, мВ	Магнитные свойства	Цвет
Хромель	89Ni; 9,8Cr; 1Fe; 0,2Mn	+2,9	Не магнитен	Темный
Железо	100Fe	+1,8	Магнитен	Светлый
Медь	100Cu	+0,75	Не магнитен	Красный
Алюмель	94Ni; 2Al; 2,5Mn; 1Si; 0,5Fe	-1,2	Магнитен	Темный
Константан	60Cu; 40Ni	-3,4	Не магнитен	Светлый
Копель	56Cu; 44Ni	-4,0	Не магнитен	Светлый

Чтобы получить величину ТЭДС для любой пары металлов или сплавов, необходимо вычислить разность ТЭДС данных металлов или сплавов с платиной.

Таблица 1.2

Температурные пределы и значения величины ТЭДС
для некоторых термопар

Наименование термопары	ТЭДС, мВ/100 К	Верхний температурный предел, К	
		При длительном нагреве	При кратковременном нагреве
Медь – копель	4,75	650	800
Медь – константан	4,15	750	900
Железо – копель	5,8	900	1100
Хромель – копель	6,9	900	1100
Хромель – алюмель	4,1	1200	1400

Размеры спая и диаметр термоэлектродных проводов оказывают влияние на точность измерений. Термопары для теплотехнических измерений обычно изготавливают из термоэлектродной проволоки диаметром 0,1–0,5 мм.

После сварки термопары проводится ее тарировка, устанавливающая зависимость между величиной ТЭДС и перепадом температур между горячим и холодным спаями. Полученные при тарировке

данные используются при построении графика для перевода показаний термопары в милливольттах в соответствующие им значения температуры в градусах.

В настоящее время для ряда термопар (с относительно большими значениями удельной ТЭДС) промышленностью выпускаются специальные милливольтметры с градуировкой шкалы в градусах Цельсия.

Термопары обычно тарируются при температуре холодных концов $t_0 = 0\text{ }^\circ\text{C}$ (в сосуде с тающим льдом). Точка таяния льда (273,15 К) удобна потому, что влияние различных факторов на ее температуру незначительно. В том случае, если холодные концы термопары имеют более высокую температуру, необходимо внести соответствующую поправку.

Поправка может быть внесена следующим образом. Пирометр показывает температуру t_1 , температура холодного спая равна t_0 . Тогда поправка, которую необходимо прибавить к температуре t_1 , чтобы получить температуру горячего спая, может быть написана в виде

$$\delta t = Ct_0, \quad (1.2)$$

где C – коэффициент, представляющий собой отношение среднего температурного градиента ТЭДС между $0\text{ }^\circ\text{C}$ и t_1 к градиенту ТЭДС при данной температуре холодного спая t_0 .

Таким образом, исправленное значение t измеренной температуры определится как

$$t = t_1 + Ct_0. \quad (1.3)$$

Величина коэффициента C зависит от материала термопары и диапазона значений измеряемой температуры (табл. 1.3).

Кроме того, возможно механическое введение поправки на температуру t_0 холодных концов термопары, что упрощает процесс измерения температуры. Для этого стрелку милливольтметра, градуированного в градусах Цельсия, необходимо установить в нулевом положении на температуру точки, где медные соединительные провода от милливольтметра присоединены к холодным концам термопары. Поправку на температуру холодного спая можно вносить при построении тарировочного графика. В этом случае тарировочный график строится как $E = f(\Delta t)$, где $\Delta t = t_1 - t_0$.

Таблица 1.3

Диапазоны измеряемой температуры и значения коэффициента C

Хромель – алю- мель		Железо – констан- тан		Медь – констан- тан		Платина – платинородий	
$t_1, ^\circ\text{C}$	C	$t_1, ^\circ\text{C}$	C	$t_1, ^\circ\text{C}$	C	$t_1, ^\circ\text{C}$	C
0–800	1,00	0–100	1,00	0–50	1,00	265–450	0,65
800–1000	1,05	100–600	0,95	50–80	0,95	450–650	0,60
		600–1000	0,85	80–110	0,90	650–1000	0,55
				110–150	0,85	1000–1450	0,50
				150–200	0,80		
				200–270	0,75		
				270–350	0,70		

Порядок выполнения работы

Исходя из предполагаемой наибольшей величины температуры и получения большего значения ТЭДС, выбирают материал термопары и приступают к ее изготовлению, которое производится методом электросварки (рис. 1.2).

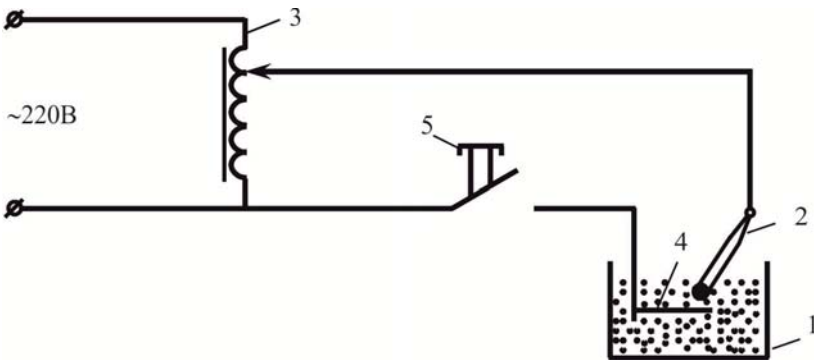


Рис. 1.2. Схема устройства для изготовления термопары

Фарфоровый тигель 1 , в котором происходит сварка термопары, заполнен порошком графита. Он служит для создания переменного сопротивления в цепи, которое исключает возникновение короткого замыкания и позволяет регулировать температуру в зоне сваривания термопары. Проволока 2 , из которой изготавливается термопара,

присоединяется к лабораторному автотрансформатору 3. Автотрансформатором регулируется подаваемое на электроды при сварке термопары напряжение в зависимости от материала и диаметра проволоки термопары. Оптимальная величина напряжения на электродах при сварке подбирается опытным путем.

Скрученные концы проволок, из которых изготавливается термопара, медленно погружают в графитовый порошок, находящийся в тигле, следя за тем, чтобы не произошло соприкосновение термопары с электродом 4, помещенным на дно тигля. Затем контактором 5 замыкается цепь, и происходит сварка термопары. Продолжительность сварки определяется опытным путем, исходя из условия получения на конце скрученных проволок однородного гладкого шарикового сая.

Тарировка термопары производится согласно схеме на рис. 1.3. Изготовленная термопара 1 вместе с ртутным термометром 2 погружаются в сосуд 3 с минеральным маслом или тигельную печь. Затем включают подогрев сосуда. По мере повышения температуры через каждые 10–30 °С производят отсчет показаний ТЭДС термопары по милливольтметру 4. Результаты опытов заносятся в табл. 1.4.

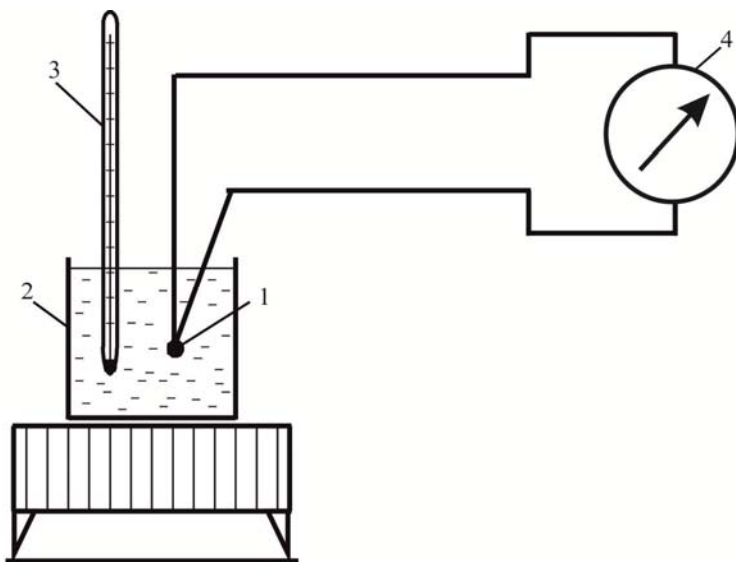


Рис. 1.3. Принципиальная схема тарировки термопары

Результаты измерений при тарировке термопары

№ п/п	Температура горячего спая $t_1, ^\circ\text{C}$	Температура холодного спая $t_0, ^\circ\text{C}$	Разность температур спаев термопары $\Delta t, ^\circ\text{C}$	ТЭДС термопары $E, \text{мВ}$

По результатам опытов строится тарировочная кривая термопары $E = f(\Delta t)$.

Содержание отчета

1. Принцип действия термопары и способы внесения поправки на температуру холодного спая термопары.
2. Краткое описание и схемы устройств для изготовления и тарировки термопары.
3. Таблица результатов измерений и построенная тарировочная кривая.

Лабораторная работа № 2**ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ МЕХАНИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ДВИГАТЕЛЯ МЕТОДОМ ВЫКЛЮЧЕНИЯ ЦИЛИНДРОВ*****Цель работы:***

1. Ознакомление с методикой определения мощности механических потерь в двигателе методом выключения цилиндров.
2. Определение основных индикаторных показателей работы двигателя и величины мощности механических потерь по методу выключения цилиндров.

Теоретические сведения

Индикаторной мощностью называется мощность, развиваемая газами в цилиндрах двигателя; *эффективной мощностью* – мощность,

снимаемая с коленчатого вала двигателя и используемая потребителем. Эффективная мощность меньше индикаторной на величину мощности механических потерь.

Определение мощности механических потерь может производиться методами выключения цилиндров, прокручивания двигателя посторонним источником энергии, часового расхода топлива и др. В данной работе будет рассматриваться метод выключения цилиндров, который основан на допущении, что величина механических потерь двигателя не зависит от нагрузки, т. е. от числа работающих цилиндров.

Порядок выполнения работы

Перед испытаниями подготовить табл. 2.1, в которую будут занесены результаты измерений. Число строк в таблице равно числу цилиндров двигателя.

Таблица 2.1

Результаты измерений при испытаниях двигателя по методу отключения цилиндров

№ п/п	Частота вращения коленчатого вала n , об/мин	Показания весов тормоза P , Н	Эффективная мощность N_e , кВт	Эффективная мощность при отключенном цилиндре N_{e_i} , кВт	Индикаторная мощность отключенного цилиндра N_{i_i} , кВт	Расход топлива			
						Доза топлива G_0 , г	Время расхода дозы топлива t , с	Часовой расход топлива G_T , кг/ч	Удельный эффектив- ный расход топлива g_e , г/кВт·ч

Измерения производятся нижеприведенным образом.

1. Установить заданный режим работы двигателя и определить показатели работы двигателя на этом режиме: частоту вращения, показания весов тормоза, расход топлива, показания контрольных приборов.

2. Прекратить подачу топлива в первый цилиндр, отвернув гайку крепления трубопровода высокого давления к форсунке в дизельных двигателях, или убрать подачу искры путем короткого замыкания свечи на массу в двигателях с принудительным зажиганием. Сохраняя положение рейки топливного насоса (дрессельной заслонки), разгрузить двигатель до восстановления первоначальной частоты вращения, после чего произвести все замеры предыдущего опыта.

3. Включить в работу первый цилиндр, установить заданную частоту вращения и произвести контрольные замеры при всех работающих цилиндрах.

4. Повторить опыт, отключая поочередно все цилиндры и производя все замеры.

Выполнив все серии опытов, далее следует на основании результатов измерений произвести расчеты основных показателей работы двигателя по приведенным ниже формулам и занести результаты испытаний в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Результаты обработки экспериментальных данных

№ п/п	Частота вращения коленчатого вала n , об/мин	Эффективная мощность N_e , кВт	Индикаторная мощность N_i , кВт	Мощность механических потерь N_M , кВт	Среднее эффективное давление P_e , МПа	Среднее индикаторное давление P_i , МПа	Среднее давление механических потерь P_M , МПа	Механический КПД η_M	Индикаторный КПД η_i	Эффективный КПД η_e	Удельный индикаторный расход топлива g_i , г/кВт·ч	Удельный эффективный расход топлива g_e , г/кВт·ч

Эффективная мощность двигателя определяется по формуле

$$N_e = \frac{M_e n}{9549} = \frac{P l n}{9549} = \frac{P n}{k}, \text{ кВт}, \quad (2.1)$$

где M_e – эффективный крутящий момент, Н·м;

n – частота вращения коленчатого вала, об/мин;

P – усилие на плечо тормоза, Н;

l – длина плеча тормоза, м;

k – постоянная тормоза.

При $l = 0,9549$ м величина постоянной тормоза $k = 10\,000$.

Среднее эффективное давление определяется как

$$P_e = \frac{30 \tau N_e}{V_h n}, \text{ МПа}, \quad (2.2)$$

где τ – тактность двигателя;

V_h – рабочий объем двигателя, л.

Часовой расход топлива определяется по формуле

$$G_T = \frac{3,6 G_0}{t}, \text{ кг/ч}, \quad (2.3)$$

где G_0 – массовый расход топлива, г;

t – время расхода топлива, с.

Удельный эффективный расход топлива

$$g_e = \frac{1000 G_T}{N_e}, \text{ г/кВт·ч}. \quad (2.4)$$

Индикаторная мощность одного цилиндра определяется из выражения

$$N_{i1} = N_e - N'_e, \text{ кВт},$$

где N_e – эффективная мощность двигателя при работе всех цилиндров, кВт;

N'_e – эффективная мощность двигателя при одном выключенном цилиндре, кВт.

Определив поочередно индикаторную мощность всех цилиндров, получают индикаторную мощность двигателя согласно формуле

$$N_i = N_{i1} + N_{i2} + \dots + N_{ik},$$

где $N_{i1}, N_{i2}, \dots, N_{ik}$ – индикаторные мощности 1, 2, ..., k -го цилиндров.

Среднее индикаторное давление

$$P_i = \frac{30\tau N_i}{V_h n}, \text{ МПа.} \quad (2.5)$$

Среднее давление механических потерь

$$P_M = P_i - P_e, \text{ МПа.}$$

Механический коэффициент полезного действия

$$\eta_M = \frac{N_e}{N_i} = \frac{P_e}{P_i}. \quad (2.6)$$

Мощность механических потерь

$$N_M = N_i - N_e, \text{ кВт.}$$

Удельный индикаторный расход топлива

$$g_i = \frac{1000G_T}{N_i}, \text{ г/кВт}\cdot\text{ч.} \quad (2.7)$$

Индикаторный коэффициент полезного действия

$$\eta_i = \frac{3600N_i}{G_T H_U}, \quad (2.8)$$

где H_U – теплота сгорания топлива, кДж/кг.

Эффективный коэффициент полезного действия

$$\eta_e = \frac{3600N_e}{G_T H_U}. \quad (2.9)$$

Эффективный коэффициент полезного действия

$$\eta_e = \eta_i \eta_M.$$

Коэффициент равномерности работы двигателя

$$\delta = \frac{N_{i \min}}{N_{i \max}},$$

где N_{\min} – наименьшая индикаторная мощность цилиндра;
 N_{\max} – наибольшая индикаторная мощность цилиндра.

Содержание отчета

1. Краткое изложение методики определения мощности механических потерь по методу выключения цилиндров.
2. Результаты измерений и расчетов в виде таблицы.
3. График зависимости мощности механических потерь N_M и механического КПД η_M от частоты вращения коленчатого вала n .

Лабораторная работа № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ МЕХАНИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ДВИГАТЕЛЯ МЕТОДОМ ПРОКРУТКИ

Цель работы:

1. Ознакомление с методикой определения мощности механических потерь в двигателе методом прокрутки.
2. Определение основных индикаторных показателей работы двигателя и величины мощности механических потерь по методу прокрутки.

Теоретические сведения

Определение мощности механических потерь в двигателе по методу прокрутки возможно при наличии балансирующего электрического тормоза, работающего в этом случае в режиме электродвигателя. При этом делается допущение, что мощность, затрачиваемая на прокручивание коленчатого вала двигателя, равна мощности его механических потерь.

Прокручивание двигателя производится при выключенном зажигании для бензиновых двигателей и отсутствии подачи топлива в цилиндры для дизельных двигателей. Так как температурное состояние трущихся деталей двигателя существенно влияет на величину механических потерь, определять механические потери этим методом можно только после предварительного прогрева двигателя до рабочего теплового состояния. Кроме этого, уменьшение нагрузки на детали кривошипно-шатунного механизма при прокрутке по сравнению с работой нагруженного двигателя снижает величину механических потерь. Также величины потерь мощности на осуществление насосного хода имеют различные значения. Все эти различия учесть точно невозможно. Поэтому определение мощности механических потерь N_M методом прокручивания носит приближенный характер. Полученная таким образом величина N_M чаще всего имеет завышенное значение.

Порядок выполнения работы

1. Запустить двигатель, прогреть, нагрузить до номинального режима и дать поработать 15 мин.
2. Определить эффективные показатели двигателя на заданных режимах.
3. Остановить двигатель.
4. Прокрутить двигатель электрическим тормозом, работающим в режиме электродвигателя, при тех же частотах вращения, что и при определении эффективных показателей.
5. По показаниям весового механизма тормоза и частоте вращения определить мощность механических потерь.

По результатам выполненных измерений следует произвести вычисления по приведенным ниже формулам.

Мощность механических потерь определяется по формуле

$$N_M = \frac{Pn}{k}, \text{ кВт},$$

где P – усилие на плечо тормоза, Н;

n – частота вращения коленчатого вала, мин^{-1} ;

k – постоянная тормоза.

При $l = 0,9549$ м величина постоянной тормоза $k = 10\,000$.

Для определения индикаторной мощности частоту вращения коленчатого вала двигателя при прокручивании необходимо довести до частоты вращения, при которой определялась эффективная мощность двигателя. Тогда индикаторная мощность двигателя на данном режиме определяется как сумма эффективной мощности и мощности механических потерь:

$$N_i = N_e + N_M, \text{ кВт}.$$

Кроме этого, следует произвести вычисления по формулам (2.1)–(2.9). Результаты вычислений заносят в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Результаты обработки экспериментальных данных

N_e П/П	Частота вращения коленчатого вала n , мин^{-1}	Показания весов тормоза P , Н	Эффективная мощность N_e , кВт	Индикаторная мощность N_i , кВт	Мощность механических потерь N_M , кВт	Среднее эффективное давление P_e , МПа	Среднее индикаторное давление P_i , МПа	Механический КПД η_M	Индикаторный КПД η_i	Эффективный КПД η_e	Часовой расход топлива G_T , кг/ч	Удельный индикаторный расход топлива g_i , г/кВт·ч	Удельный эффективный расход топлива g_e , г/кВт·ч

Содержание отчета

1. Краткое изложение методики определения мощности механических потерь методом прокручивания двигателя.
2. Таблицы с результатами измерений и расчетов.
3. График зависимости мощности механических потерь N_M и механического КПД η_M от частоты вращения коленчатого вала n .

Лабораторная работа № 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ МЕХАНИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ДВИГАТЕЛЯ ПО НАГРУЗОЧНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

Цель работы:

1. Ознакомление с методикой определения мощности механических потерь в двигателе по нагрузочной характеристике.
2. Определение основных индикаторных показателей работы двигателя и величины мощности механических потерь по нагрузочной характеристике.

Теоретические сведения

При исследовании рабочего процесса ДВС возникает необходимость определения мощности механических потерь N_M в зависимости от частотного и нагрузочного режимов работы двигателя. Такие методы определения мощности механических потерь N_M , как индцирование, выключение цилиндров, прокручивание коленчатого вала от постороннего источника, либо довольно трудоемки и требуют сложной измерительной аппаратуры, либо не дают возможности определить влияния нагрузки на механические потери. В этом случае удобным является метод определения мощности механических потерь по нагрузочной характеристике.

Метод основан на графической обработке кривой изменения часового расхода топлива $G_T = f(N_e)$ по нагрузочной характеристике в координатах G_T-N_e . Суть его заключается в том, что снимается нагрузочная характеристика двигателя для заданной частоты вращения и определяются значения G_T при различных значениях мощности, в том числе и при $N_e = 0$ (рис. 4.1).

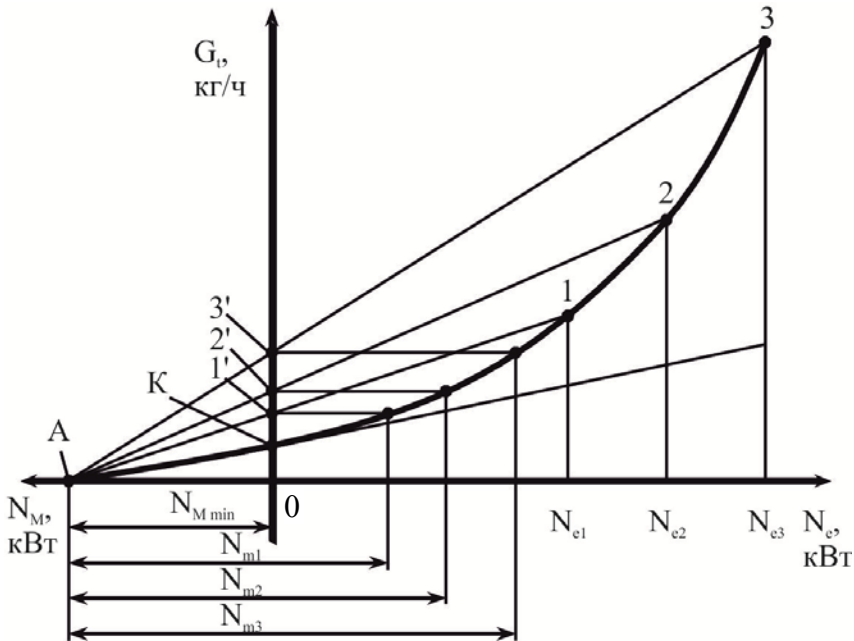


Рис. 4.1. Зависимость часового расхода топлива от эффективной мощности

Через точку K , расположенную на оси $0-G_T$ (при $N_e = 0$) проводится касательная к кривой $G_T = f(N_e)$ до пересечения с осью $0-N_M$ в точке A . Согласно методу часового расхода топлива, отрезок OA соответствует мощности механических потерь $N_{M \min}$ на данном частотном режиме при отсутствии нагрузки на двигатель.

Выберем на кривой $G_T = f(N_e)$ точки $1, 2, 3$, соответствующие значениям эффективной мощности N_{e1}, N_{e2}, N_{e3} . Если соединить точку A линиями с точками $1, 2, 3$ на кривой $G_T = f(N_e)$, то при пересечении этих линий с осью $0-G_T$ будут получены точки $1', 2', 3'$. Для определения мощности механических потерь на режимах $1, 2, 3$ (значения эффективной мощности N_{e1}, N_{e2}, N_{e3}) необходимо через точки $1', 2', 3'$ провести прямые, параллельные оси абсцисс. Проекции точек пересечения данных прямых с кривой $G_T = f(N_e)$ на ось $0-N_e$ будут соответствовать значениям мощности механических потерь N_{M1}, N_{M2}, N_{M3} .

Для известных значений N_M и N_e определяем механический КПД:

$$\eta_M = \frac{N_e}{N_e + N_M}.$$

Порядок выполнения работы

1. Запустить двигатель, прогреть.
2. Снять нагрузочную характеристику при заданной частоте вращения.
3. Построить зависимость $G_T = f(N_e)$ и обработать ее по изложенной выше методике.
4. Результаты измерений и вычислений занести в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Результаты испытаний двигателя по методу
часового расхода топлива

№ п/п	Частота вращения коленчатого вала n , мин ⁻¹	Показания весов тормоза P , Н	Эффективная мощность N_e , кВт	Мощность механических потерь N_M , кВт	Механический КПД η_M	Расход топлива		
						Доза топлива G_0 , г	Время расхода дозы топлива t , с	Часовой расход топлива G_T , кг/ч

Содержание отчета

1. Краткое изложение методики определения мощности механических потерь по нагрузочной характеристике.
2. Таблица с результатами измерений и расчетов.
3. График зависимости мощности механических потерь N_M и механического КПД η_M от нагрузки.

Лабораторная работа № 5

ТАРИРОВКА ИНДИКАТОРОВ ДАВЛЕНИЯ

Цель работы:

1. Изучение методики тарировки индикаторов давления.
2. Получение практических навыков тарировки датчиков.
3. Проведение статической тарировки одного из типов датчиков.

Теоретические сведения

Тарировка индикаторов давления производится для получения тарировочных графиков, необходимых для обработки индикаторных диаграмм и внесения в них поправок. Различают два способа тарировки индикаторов:

- статический;
- динамический.

Способ статической тарировки состоит в том, что датчик индикатора нагружают заранее известным статическим давлением и определяют соответствующую этому давлению величину выходного сигнала. Тарировку выполняют на полностью собранном и отлаженном индикаторе. Величина выходного сигнала определяется по осциллографу.

Динамическая тарировка осуществляется путем воздействия на датчик пульсирующего давления синусоидальной формы, амплитуда и частота колебания которого известны. Однако получение такого давления сопряжено с большими техническими трудностями. Поэтому часто при динамической тарировке датчик подвергают действию давления, быстро нарастающего от нуля до определенного значения. Так как закон изменения давления неизвестен, этот способ не позволяет определять динамические свойства индикатора.

Статическая тарировка датчика может производиться с помощью масляного пресса (рис. 5.1), позволяющего получать фиксированные значения тарировочных давлений. Тарировка индикатора осуществляется путем многократных (5–10) серий нагружений и разгрузений, обработка результатов которых позволяет получить надежную статическую характеристику индикатора и вычислить погрешность тарировки. Масляный пресс позволяет создавать давления величи-

ной до 100–200 МПа. Величина тарировочного давления измеряется предварительно проверенным пружинным манометром. Для надежной работы прессы необходимо следить за полным удалением воздуха из рабочей полости.

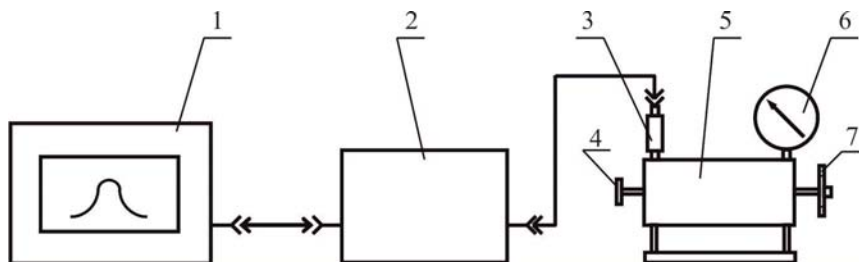


Рис. 5.1. Общая схема установки для статической тарировки индикаторов:
 1 – осциллограф; 2 – усилитель; 3 – датчик индикатора; 4 – вентиль;
 5 – масляный пресс; 6 – манометр; 7 – рычаг

Подобная статическая тарировка применима при использовании всех типов датчиков, но для пьезоэлектрических датчиков полученные данные будут иметь большую погрешность, так как при статическом способе тарировки давление повышается медленно и за это время успевают произойти значительная утечка заряда.

Существенным недостатком описанного метода тарировки является также то, что тарировка производится в условиях, существенно отличающихся от рабочих. В итоге результаты обработки индикаторных диаграмм могут иметь значительные погрешности. Поэтому часто применяется динамическая тарировка датчика на работающем двигателе по величине контрольного давления, фиксируемого образцовым датчиком. В качестве образцового датчика можно применять мембранный датчик электропневматического индикатора (рис. 5.2).

Мембранный датчик 2 электропневматического индикатора устанавливается на двигателе в одной камере сгорания с электрическим датчиком 1 и включается параллельно со шлейфом в цепь батареи б. К датчику 2 через распределительный кран 4 подводится сжатый воздух из баллона 3, величина давления которого замеряется манометром 8. Моменты замыкания и размыкания цепи датчика 2 при определенных давлениях записываются на светолучевом осциллографе П-образных сигналов одновременно с индикаторной диа-

граммой. Установлено, что момент размыкания контакта электропневматического датчика точно соответствует моменту выравнивания давления в цилиндре двигателя и полости датчика. Момент замыкания сильно запаздывает и проходит при давлениях в цилиндре двигателя более высоких, чем в полости датчика. Поэтому для тарировки индикаторов пользуются исключительно линией расширения индикаторной диаграммы.

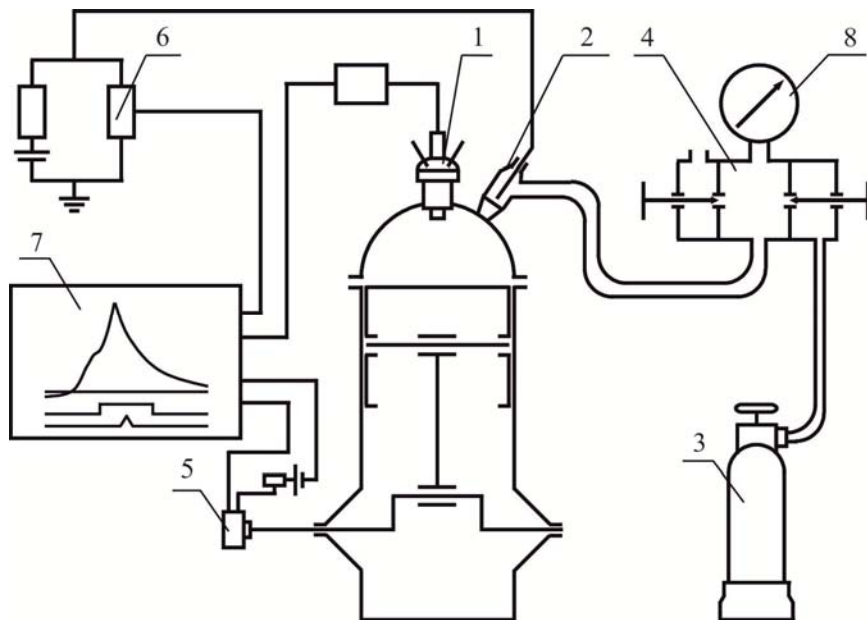


Рис. 5.2. Общая схема динамической тарировки пьезоэлектрического индикатора на работающем двигателе

По моменту размыкания контактов датчика электропневматического индикатора устанавливают ординату индикаторной диаграммы, соответствующую заданной величине контрольного давления. Определяя величину ординаты при различных величинах контрольного давления, строят график динамической тарировки пьезоэлектрического индикатора.

При проведении тарировки нулевая линия может определяться по линии впуска, которая на индикаторной диаграмме регистрируется

в виде прямой. Для дизельных двигателей величина давления впуска с достаточной точностью может быть принята равной 0,09 МПа.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с установкой для тарировки индикатора (см. рис. 5.1).

2. Установить датчик 3 в корпусе масляного пресса 5.

3. Вращением рычага 7 переместить поршень масляного пресса в крайнее переднее положение и заполнить маслом объем, соединенный с объемом вентиля 4.

4. Открыть ventиль 4 и вращением рычага 7 переместить поршень в крайнее заднее положение, наполнив маслом напорное пространство пресса.

5. При необходимости произвести удаление воздуха из напорного пространства пресса перемещением поршня из крайнего заднего положения в крайнее переднее при открытом вентиле. Операция может быть повторена несколько раз.

6. Собрать электрическую схему, после ее проверки подать питание и настроить усилитель 2 и осциллограф 1.

7. Закрыть ventиль 4 и перемещением поршня последовательно повышать давление в прессе на 1,0–2,0 МПа до заданного максимума. Тарировка производится измерением перемещения светового луча на экране осциллографа 1 в зависимости от давления в полости масляного пресса, измеряемого манометром 6.

8. При проведении тарировки первоначально замеры производятся при постепенном повышении давления до заданной величины, а затем при его понижении. Результаты тарировки занести в табл. 5.1.

Таблица 5.1

Результаты статической тарировки индикатора

№ п/п	Давление в полости масляного пресса $P_{пл}$, МПа	Величина перемещения светового луча h , мм	Масштаб давления, МПа/мм

Содержание отчета

1. Краткое изложение методики тарировки индикаторов.
2. Принципиальные схемы установок для статической и динамической тарировки пьезоэлектрических индикаторов.
3. Результаты тарировки в табл. 5.1 и тарировочный график $h = f(P_{\Pi})$, масштаб давления.

Лабораторная работа № 6

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ

Цель работы:

1. Ознакомление с назначением, принципом работы и конструкцией газоанализатора ГИАМ-29.
2. Освоение методики измерений с помощью газоанализатора ГИАМ-29.

Теоретические сведения

Газоанализатор ГИАМ-29 предназначен для определения содержания окиси углерода (СО), углеводородов (СН) (по гексану) в выхлопных газах, частоты вращения коленчатого вала двигателей внутреннего сгорания с принудительным воспламенением топлива. Содержание СО определяется в объемных долях, а содержание СН измеряется числом частиц СН на миллион частиц газовой смеси (обозначается английской аббревиатурой «ppm» – «частиц на миллион»).

В газоанализаторе использован оптико-абсорбционный метод анализа газа, основанный на измерении поглощения инфракрасной энергии излучения анализируемым компонентом. Степень поглощения инфракрасной энергии излучения зависит от концентрации анализируемого компонента в газовой смеси. Каждому газу присуща своя область длин волн поглощения. Это обеспечивает возможность проведения избирательного анализа газов.

Газоанализатор включает в себя газозаборник (пробозаборник – используется при температуре окружающей среды ниже 0 °С), фильтр, оптический блок, блок обработки сигнала, блок индикации, датчик частоты вращения коленчатого вала двигателя. Газозаборник

предназначен для отбора газовой пробы из выхлопной трубы. Далее газ из газозаборника поступает на входной штуцер фильтра, предназначенного для отделения жидких компонентов, образовавшихся при охлаждении, от газовой смеси и для очистки ее от механических примесей. Газовая проба поступает в оптический блок для анализа (рис. 6.1).

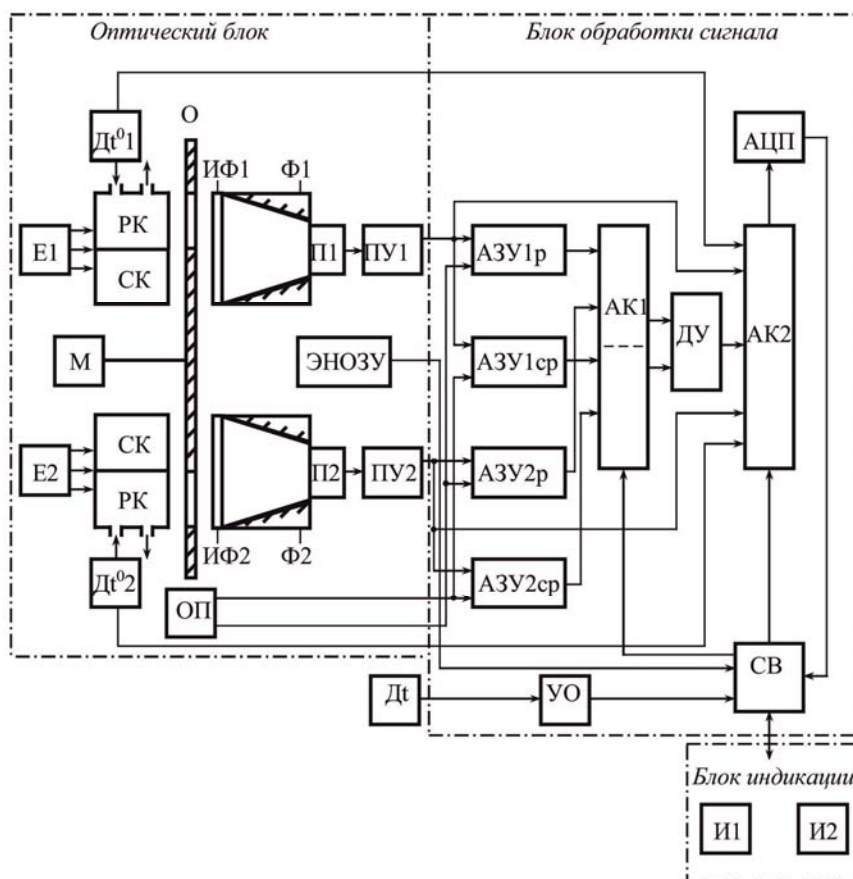


Рис. 6.1. Схема функциональная газоанализатора ГИАМ-29

Оптический блок состоит из двух излучателей $E1$ и $E2$, создающих потоки инфракрасной энергии, которые попадают в камеры,

каждая из которых имеет две полости, обозначенные РК (рабочая камера с анализируемой газовой смесью) и СК (сравнительная камера без анализируемой газовой смеси); обтюлятора O , вращающегося от электродвигателя M ; двух интерференционных фильтров ИФ1 и ИФ2; двух фоконов $\Phi 1$ и $\Phi 2$ с двумя приемниками инфракрасного излучения П1 и П2; оптоэлектронных пар ОП, выдающих информацию о положении обтюлятора; датчиков температуры Dt^{01} и Dt^{02} , предназначенных для температурной компенсации чувствительности; предварительных усилителей ПУ1 и ПУ2, обеспечивающих усиление сигналов с фоконов до одного уровня; энергонезависимого оперативного запоминающего устройства ЭНОЗУ с параметрами данного оптического блока.

В зависимости от положения обтюлятора поток инфракрасного излучения проходит интерференционный фильтр, фокус и попадает на приемник либо после рабочей камеры, либо после сравнительной. На приемнике регистрируется переменный сигнал, несущий информацию о количестве инфракрасной энергии, поглощенной анализируемым газом с частотой обтюрации, а значит, и о концентрации анализируемого газа. Данный сигнал после усиления поступает в блок обработки сигнала на аналоговые запоминающие устройства рабочих каналов АЗУ1р, АЗУ2р и аналоговые запоминающие устройства сравнительных каналов АЗУ1ср, АЗУ2ср. Выходные сигналы с АЗУ1р, АЗУ2р и АЗУ1ср, АЗУ2ср поступают на аналоговый коммутатор АК1, осуществляющий подключение входов дифференциального усилителя ДУ или к каналу СО, или к каналу СН. Затем все сигналы поступают на аналоговый коммутатор АК2, выходной сигнал с которого поступает на аналого-цифровой преобразователь АЦП. Считанная с АЦП информация обрабатывается специальным вычислителем СВ и выводится на блок индикации.

Параметры оптического блока считываются СВ из энергонезависимого оперативного запоминающего устройства ЭНОЗУ. Сигнал с датчика тахометра Dt через усилитель-ограничитель УО поступает на СВ. Подключением АК1 и АК2 управляет СВ в зависимости от необходимости получения информации или о содержании СО (канал СО), или о содержании СН (канал СН). Вывод информации на принтер и на компьютер осуществляется также со специального вычислителя СВ.

Порядок выполнения работы

1. Включив прибор в сеть, следует нажать на кнопку «ПУСК» на задней панели прибора. Далее происходит тестирование в течение 3 мин, а затем идет продувка системы. После этого прибор прогревается в течение 20 мин.

2. После прогрева газоанализатора следует одеть на выходной ниппель газозаборника трубку поливинилхлоридную и зафиксировать газозаборник на выхлопной трубе двигателя.

3. Запустить двигатель, прогреть его и установить режим холостого хода при минимальной устойчивой частоте вращения.

4. Перед проведением измерений следует обнулить показания двойным нажатием на кнопку «0». Для проведения измерений CO следует нажать на кнопку «CO». Чтобы затем снять показания CH, надо дважды нажать на кнопку «0» для обнуления прежних показаний, а затем нажать на кнопку «CH». Результаты измерений должны появиться на экране. Содержание CO и CH измеряется пять раз.

5. Содержание измеряемых компонентов в анализируемой газовой смеси, диапазоны измерения величин должны соответствовать табл. 6.1. Результаты измерений следует занести в табл. 6.2.

Таблица 6.1

Диапазоны значений измеряемых величин

Объемных долей CO, %	Молекул CH, ppm	Частоты вращения n , мин ⁻¹	Диапазон рабочих температур, °C
0–10	0–5000	500–9900	–20...+40

Таблица 6.2

Результаты измерений состава отработанных газов

№ п/п	Частота вращения холостого хода, мин ⁻¹	Содержание объемных долей CO, %	Содержание молекул CH, ppm

Содержание отчета

1. Краткое описание конструкции и принципа действия газоанализатора ГИАМ-29.
2. Функциональная схема газоанализатора ГИАМ-29.
3. Результаты измерений в табл. 6.2.
4. Анализ результатов измерений.

Лабораторная работа № 7

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЫМНОСТИ ОТРАБОТАННЫХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Цель работы:

1. Ознакомление с назначением, принципом работы и конструкцией переносного дымомера «СМОГ-1».
2. Освоение методики измерений с помощью переносного дымомера «СМОГ-1».

Теоретические сведения

Дымомер переносной «СМОГ-1» предназначен для контроля дымности отработанных газов дизельных двигателей с целью оценки качества работы систем выпуска, питания и смазывания.

Принцип работы дымомера основан на измерении части светового потока, прошедшего через вещество (отработанные газы), просвечиваемое источником света. Для получения светового потока используется источник света с цветовой температурой 2400–2900 °С, который дает широкий спектр видимого диапазона. Величина прошедшего через вещество светового потока определяется фотозлементом, спектральная чувствительность которого соответствует спектральной чувствительности человеческого глаза в условиях дневного зрения.

Отработанные газы содержат некоторое количество сажевых и других дисперсных частиц, из-за чего они утрачивают прозрачность. Голубовато-синеватый оттенок газов говорит о наличии в их составе аэрозолей масла и топлива, а черный цвет газам придают частицы сажи. Изменения цвета отработанных газов свидетельствуют

о нарушениях в процессе работы двигателя, поэтому измеренная величина дымности может служить оценкой технического состояния дизельного двигателя и его топливной аппаратуры, совершенства протекания рабочего процесса, наполнения и цикловой подачи топлива. Большая дымность отработанных газов недопустима, так как повышает их токсичность.

Величина дымности отработанных газов дизельных двигателей при выполнении данной лабораторной работы определяется по ГОСТ 17.2.2.02–98 «Нормы и методы определения дымности отработанных газов дизелей, тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин». Данный стандарт устанавливает нормируемые параметры, предельно допустимые нормы, методы измерения и объем стендовых испытаний. Измерения дымности отработанных газов проводятся на установившихся режимах и режиме свободного ускорения. Основным нормируемым параметром дымности является натуральный показатель ослабления светового потока K , м^{-1} ; вспомогательным – коэффициент ослабления светового потока N , %. Данные параметры связаны между собой зависимостью

$$K = -\frac{1}{L} \ln \left(1 - \frac{N}{100} \right), \text{ м}^{-1},$$

где $L = 0,43$ м – фотометрическая база дымомера, определяющая собой длину пути светового потока сквозь исследуемое вещество.

Натуральный показатель ослабления светового потока K отсчитывается по основной шкале дымомера, а коэффициент ослабления светового потока N – по вспомогательной.

На установившихся режимах дымность определяется при положении органа управления регулятором частоты вращения коленчатого вала дизеля, соответствующем полной подаче топлива, и следующих значениях частоты вращения коленчатого вала:

- 1) номинальная частота вращения коленчатого вала;
- 2) частота вращения коленчатого вала, соответствующая режиму максимального крутящего момента дизеля;
- 3) четыре частоты вращения коленчатого вала через равные интервалы в диапазоне между номинальной частотой и частотой вращения, соответствующей режиму максимального крутящего момента.

Результаты измерений дымности на обоих режимах не должны превышать значений, указанных в ГОСТ 17.2.2.02–98.

Измерение дымности отработанных газов дымомером переносным «СМОГ-1» осуществляется следующим образом: дым из выхлопной трубы поступает в оптический канал измерительной камеры (рис. 7.1), где находятся источник излучения (лампа 1) и приемник (фотоэлемент 4). Поток света от лампы проходит через дым и падает на фотоэлемент, который воспринимает непоглощенную часть света. Для защиты лампы и фотоэлемента установлены защитные стекла 2. При проверке работоспособного состояния дымомера вместо защитного стекла со стороны фотоэлемента устанавливается контрольный светофильтр 3. Датчик температуры (термопреобразователь сопротивления 5) предназначен для измерения температуры дыма в измерительной камере с целью введения температурной поправки. Сигнал с фотоэлемента поступает в блок обработки информации, включающий в себя предварительные усилители 6 и 7, блок коммутации аналоговых сигналов (с аналого-цифровым преобразователем) 8, блок сопряжения 9 клавиатуры и аналого-цифрового преобразователя индикации с центральным процессором, центральный процессор 10, клавиатуру 11, схему индикации 12, запоминающее устройство 13, блок питания 14, схему формирования напряжения питания 15. После обработки полученного с фотоэлемента сигнала результаты измерений выводятся на табло.

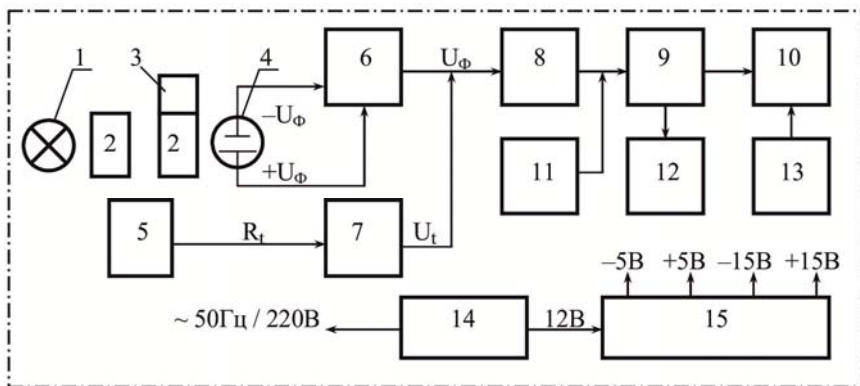


Рис. 7.1. Схема функциональная дымомера переносного «СМОГ-1»

Порядок выполнения работы

1. Прогреть двигатель до рабочих значений температуры охлаждающей жидкости и моторного масла.

2. Установить перемещением рычага управления подачи топлива максимальную частоту вращения вала двигателя. Продолжительность работы на данном режиме должна обеспечивать температуру отработанных газов, необходимую для проведения замеров.

3. Отпустить рычаг управления подачи топлива.

4. Закрепить газозаборник на выхлопной трубе двигателя. К измерениям приступить после контроля температуры отработанных газов, которая должна находиться в пределах от 60 до 120 °С. Контроль температуры производить следующим образом. Нажать кнопку «СБРОС» и кнопку «В/Н», после чего нажать кнопку «Кл/Т». На цифровом табло появится температура отработанных газов.

5. Выполнить измерения на режиме свободного ускорения:

5.1. Измерения текущего значения коэффициента ослабления светового потока N выполнить следующим образом:

5.1.1. Переместить орган управления в исходное положение;

5.1.2. Нажать на кнопку «СБРОС»;

5.1.3. Кнопка «В/Н» отжата, нажать на кнопку « N/N_{\max} »;

5.1.4. Переместить орган управления регулятором частоты вращения коленчатого вала в течение не более 0,5 с в положение, соответствующее максимальной подаче топлива. Такое положение органа управления сохраняют в течение 5–10 с;

5.1.5. Затем орган управления переместить в исходное положение;

5.1.6. По шкале дымомера зафиксировать максимальное значение дымности. Результаты измерений занести в табл. 7.1.

5.2. Испытания повторяют не менее восьми раз, пока разность между максимальным и минимальным значениями дымности четырех последних измерений не станет равной или менее $0,25 \text{ м}^{-1}$ и не образуют убывающей или возрастающей последовательности. За результат измерения принимают среднее арифметическое значение результатов последних четырех измерений.

5.3. При измерении показателя ослабления светового потока K выполнить указания пунктов 5.1.1, 5.1.2, 5.1.4–5.1.6 и пункта 5.2, при этом нажимая кнопку « K/K_{\max} ».

Таблица 7.1

Результаты измерений дымности отработанных газов

	Режим свободного ускорения								
	1	2	3	4	5	6	7	8	Среднее
Натуральный показатель ослабления светового потока K , m^{-1}									
Коэффициент ослабления светового потока N , %									

Содержание отчета

1. Краткое описание конструкции и принципа действия дымомера «СМОГ-1».
2. Описание методики определения дымности на режимах свободного ускорения.
3. Таблица результатов измерений.
4. Анализ результатов измерений.

Лабораторная работа № 8**ИНДИЦИРОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ*****Цель работы:***

1. Ознакомление с устройством и принципом работы электрических измерительных приборов, применяемых для индицирования двигателей.
2. Освоение методики индицирования двигателей.
3. Снятие индикаторной диаграммы.

Теоретические сведения

Исследование рабочего процесса двигателей связано с большими трудностями из-за сложности и быстротечности отдельных этапов этого процесса. Наиболее простым и универсальным способом исследования является индицирование, заключающееся в записи изменения давления в цилиндре двигателя в зависимости от времени, угла поворота коленчатого поршня или хода поршня. В применении

к цилиндрам двигателя такие записи называют *индикаторными диаграммами* или *осциллограммами*. Индицирование производится с целью определения среднего индикаторного давления, индикаторной мощности, максимального давления цикла, скорости нарастания давления при сгорании, периода задержки воспламенения и других индикаторных показателей двигателя.

При проведении индицирования наиболее широкое применение получили электропневматические (стробоскопические) и пьезоэлектрические индикаторы.

Принципиальная схема электропневматического (стробоскопического) индикатора представлена на рис. 8.1. Индикатор включает в себя: датчик 1 мембранного или клапанного типа, устанавливаемый в индицируемый цилиндр; записывающий механизм 2; барабан 3, соединенный с коленчатым валом двигателя; цилиндр 4 с поршнем и калиброванной пружиной; тиратронный преобразователь 5 для получения высокого напряжения, являющийся также пультом управления; баллон 6 с воздухом (инертным газом) под давлением, заведомо более высоким, чем максимальное давление цикла двигателя; отсчетчик верхней мертвой точки 7.

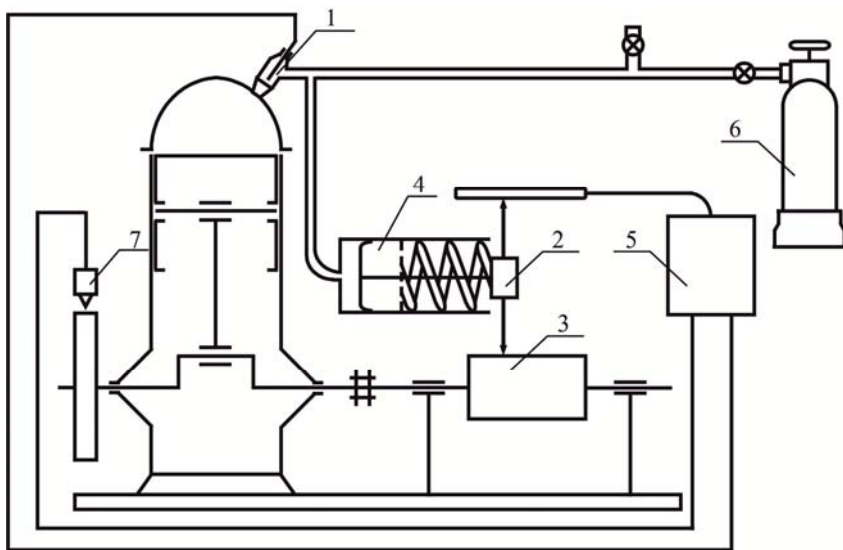


Рис. 8.1. Схема измерений электропневматическим (стробоскопическим) индикатором

Принцип работы индикатора заключается в следующем. Через пневмосистему индикатора *от баллона на мембрану датчика подается давление воздуха (инертного газа)*, которое перемещает поршень с разрядником записывающего механизма. Со стороны поршня двигателя на мембрану датчика действует переменное давление газов. В те моменты, когда давление воздуха (инертного газа) из баллона сравнивается с давлением газов в цилиндре двигателя, мембрана датчика размыканием цепи реле (катушки) вызывает искровой разряд между разрядником и барабаном записывающего механизма. Искровой разряд пробивает бумагу, закрепленную на барабане. Если изменить давление воздуха (инертного газа), то будут пробиты новые отверстия, соответствующие тому давлению газов в цилиндре, которое равно измененному давлению воздуха (инертного газа). По окружности барабана положение пробитого отверстия определится его угловым положением в момент искрового разряда, а по образующей барабана – величиной давления воздуха над мембраной датчика. В результате множество пробитых искровыми разрядами на бумаге отверстий сливаются в линию, образуя тем самым развернутую индикаторную диаграмму зависимости давления газов в цилиндре от угла поворота коленчатого вала двигателя.

К преимуществам электропневматического (стробоскопического) метода измерения относят то, что автоматически вычисляется среднее значение измеряемой величины за большое число единичных циклов, а также имеется возможность осуществления регистрации изменения давления в крупном масштабе, так как датчик не измеряет давление, а лишь фиксирует равенство измеряемой и контролируемой величины.

Принципиальная схема пьезоэлектрического индикатора изображена на рис. 8.2. Индикатор включает в себя: пьезокварцевый датчик давления 1; усилитель пьезотоков 2; датчик подъема иглы форсунки 3; промежуточный усилитель сигналов 4 от датчика 3; отметчик 5 верхней мертвой точки; светолучевой осциллограф 6; отметчик 7 времени.

Индицирование пьезоэлектрическими индикаторами осуществляется следующим образом. Переменный потенциал, возникающий на гранях пьезокварцевого датчика под действием переменного давления газов и пропорциональный его величине, проходит через усилитель и поступает на осциллограф. Аналогичным образом поступают

в осциллограф усиленный сигнал от датчика подъема иглы форсунки и сигналы от отметчиков верхней мертвой точки и времени. После преобразования данных сигналов на экране осциллографа появляются развернутая диаграмма давления газов в цилиндре двигателя, кривая движения иглы форсунки, а также отметки верхней мертвой точки и времени, позволяющие определить угол поворота коленчатого вала и его частоту вращения.

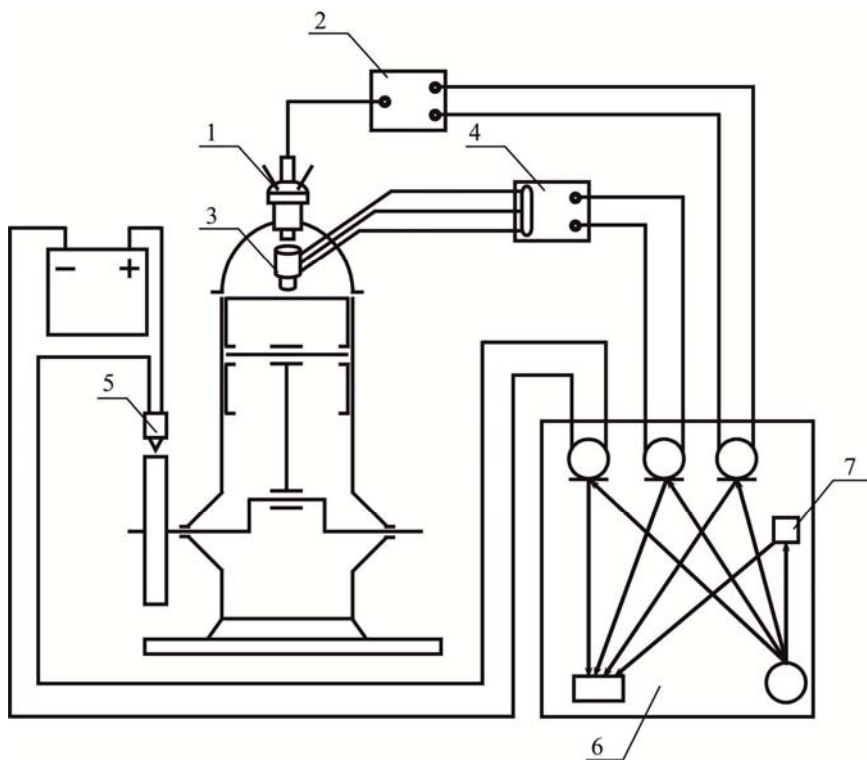


Рис. 8.2. Схема измерений пьезоэлектрическим индикатором

Пьезоэлектрические индикаторы получили свое дальнейшее развитие, управление работой усилителя, регистрация сигналов и их представление в зависимости от времени, угла поворота коленчатого вала или изменения рабочего объема осуществляется с помощью программ. Примером таких индикаторов является AVL IndiSmart 612 (рис. 8.3).

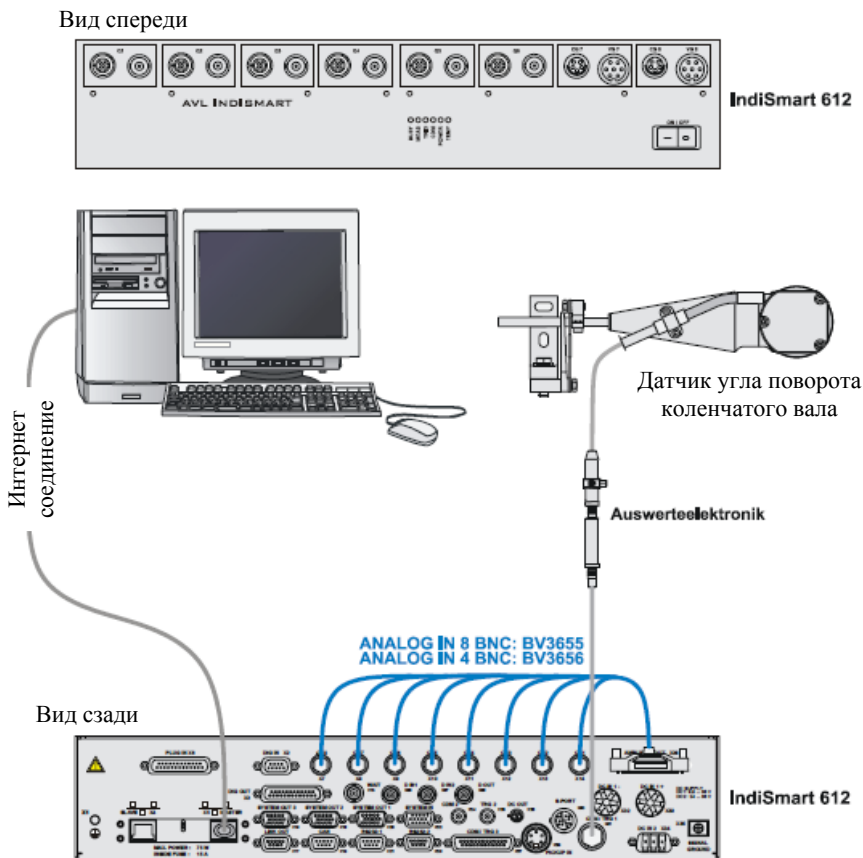


Рис. 8.3. Общий вид индикатора AVL IndiCom/IndiCom

AVL IndiSmart 612 – это многоканальная система индицирования (Mehrkanal-Indiziersystem) регистрации и обработки быстро изменяющихся во времени сигналов. IndiSmart 612 можно использовать также для регистрации других быстро изменяющихся сигналов в диапазоне частот, превышающем 1 кГц. В основном прибор применяется для регистрации таких величин, как давление в цилиндре, давление в трубопроводе, ход иглы, момент зажигания или сигнал управления впрыска в зависимости от угла поворота кривошипа. Данные записываются с разрешением до $0,1^\circ$ ПКВ. При расширении опций

программного обеспечения система может использоваться для контроля детонаций в режиме реального времени.

Физически IndiSmart 612 – это аппаратное средство, состоящее из устройства учета данных, которое управляет интерфейсом персонального компьютера с оперативной памятью более 1 ГБ.

Программное обеспечение состоит из встроенных программ процессора обработки сигналов, из интеллектуального драйвера устройств и системы сервиса Mobile AVL IndiCom/IndiCom. Возможности и особенности программного обеспечения детально описываются в отдельных руководствах.

Непосредственно индикатором IndiSmart 612 управляет персональный компьютер (стационарный или ноутбук), на котором установлено программное обеспечение Mobile AVL IndiCom/IndiCom. Персональный компьютер должен соответствовать следующему минимуму требований: Пентиум 4 процессор с 1.8 GHz, Windows XP или Vista, 1 гигабайт RAM 1 гигабит интерфейса Ethernet, компакт-диск ПЗУ, дисковод или вывод сети (к установке программного обеспечения).

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с экспериментальной установкой. Посмотреть место установки каждого датчика на двигателе, проследить пути подачи сигнала к усилителю и далее к осциллографу. Ознакомиться с источником питания осциллографа, с порядком включения осциллографа в работу и управления им, с техникой зарядки кассеты. Изучить схему соединений элементов индикатора IndiSmart 612. Ознакомиться с интерфейсом программы управления индикатором IndiSmart 612.

2. Запустить двигатель, а затем включить измерительную аппаратуру. После прогрева двигателя и аппаратуры установить заданный режим работы, замерить частоту вращения коленчатого вала, нагрузку двигателя по показаниям весового механизма, расход топлива и снять осциллограмму. Далее следует произвести вычисления основных показателей работы двигателя. Результаты заносятся в табл. 8.1.

3. Снять осциллограмму.

Таблица 8.1

Результаты измерений при проведении испытаний двигателя

№	Частота вращения коленчатого вала n , мин ⁻¹	Показания весов тормоза P , Н	Эффективная мощность N_e , кВт	Расход топлива			
				Доза топлива G_0 , г	Время расхода дозы топлива t , с	Часовой расход топлива G_T , кг/ч	Удельный эффективный расход топлива g_e , г/кВт·ч

Содержание отчета

1. Краткое описание работы.
2. Схема измерительной аппаратуры для снятия осциллограммы.
3. Вычисления и результаты в табл. 8.1.
4. Копия осциллограммы, содержащая следующие кривые: I – давление в цилиндре двигателя; II – движение иглы форсунки; III – отметки верхней мертвой точки; IV – отметки времени (рис. 8.4).

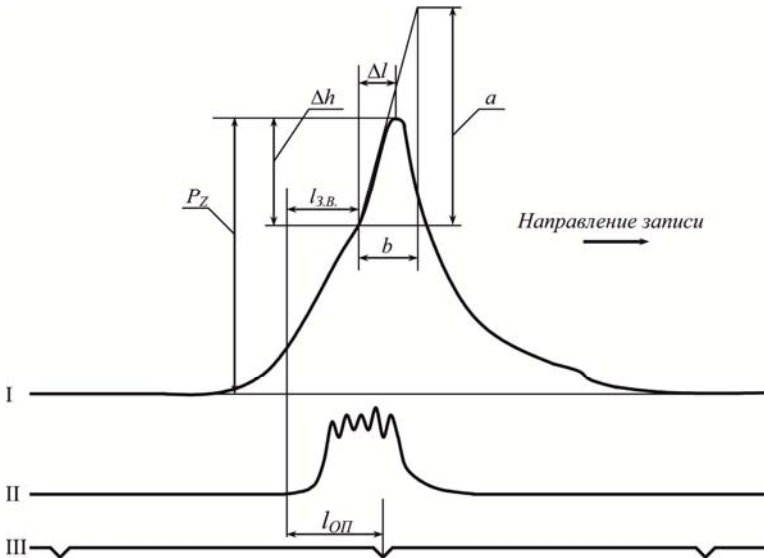


Рис. 8.4. Образец осциллограммы

Обработка индикаторной диаграммы проводится при выполнении соответствующей практической работы.

Лабораторная работа № 9

ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДА ВОЗДУХА

Цель работы:

1. Ознакомление с устройством и принципом работы приборов, предназначенных для измерения расхода воздуха.
2. Приобретение навыков работы с расходомером ИРВИС-РС4.
3. Получение скоростной характеристики расхода воздуха в двигателе внутреннего сгорания.

Теоретические сведения

Расход газов можно измерить непосредственно или используя косвенные методы. Для непосредственных измерений применяют газовые счетчики. Известно достаточно большое количество косвенных методов измерения расхода жидкостей и газов:

- дросселированием мерного трубопровода для получения перепада давлений в потоке;
- измерением динамического напора;
- изменением теплового состояния потока между двумя последовательно расположенными сечениями;
- определением скорости распространения ультразвуковых колебаний по движению и против движения потока.

На современном этапе развития техники измерения расходов газов достаточно широкое распространение получили расходомеры, принцип которых основан на эффекте формирования в следе за телом обтекания цепочки вихрей (вихревой дорожки Кармана), частота следования которых в широком диапазоне скоростей пропорциональна объемному расходу среды. Безразмерная частота формирования вихрей (число Струхала Sh) зависит только от соотношения инерционных и вязких сил при обтекании тела – числа Рейнольдса Re , определенного по поперечному размеру тела обтекания.

На безразмерную частоту формирования вихрей оказывает влияние профиль скорости в магистрали перед телом обтекания, который, при достаточно длинном прямолинейном участке трубопровода перед первичными преобразователями или при установленном устройстве

подготовки потока, зависит только от числа Рейнольдса, определенного по диаметру магистрали. Поскольку соотношение между этими двумя числами Рейнольдса остается постоянным, влияние геометрических размеров тракта первичных преобразователей, типа среды, ее объемного расхода, температуры и давления на частоту формирования вихрей сводится к зависимости $Sh(Re)$, которая является универсальной для различных сред и их параметров, что позволяет использовать расходомер-счетчик для измерения объема среды, отличной от той, для которой эта зависимость получена. Устойчивость вихреобразования обеспечивается специальной формой поперечного сечения тела обтекания.

Фиксация частоты срыва вихрей производится детектором вихрей – преобразователем пульсаций скорости или давления с чувствительным элементом, расположенным в теле обтекания (сечение А-А).

В состав первичных преобразователей входят:

- первичный преобразователь расхода (ППР);
- первичный преобразователь давления (ППД);
- первичный преобразователь температуры (ППТ).

Первичный преобразователь расхода выполнен в виде отрезка трубопровода с фланцами (рис. 9.1). На наружной поверхности трубопровода выполнены три отверстия, в которых установлены вихревой преобразователь расхода (ВПр), первичный преобразователь давления 3 и первичный преобразователь температуры 2. ВПр состоит из тела обтекания 1 и детектора вихрей (ДВ) 4. Тело обтекания представляет собой цилиндр, вдоль образующих которого с противоположных сторон выфрезерованы две параллельные площадки. Перпендикулярно площадкам в теле обтекания выполнены отверстия специальной формы, проходящие через корпус детектора вихрей.

Детектор вихрей представляет собой электронное устройство, которое содержит элемент, чувствительный к пульсациям измеряемой среды, регистрирует частоту вихреобразования, обрабатывает ее и формирует выходной частотный сигнал. Чувствительный элемент может быть выполнен в виде датчика давления пульсационного или термоанемометрического первичного преобразователя скорости. Детектор вихрей установлен в отверстие, выполненное с торца тела обтекания.

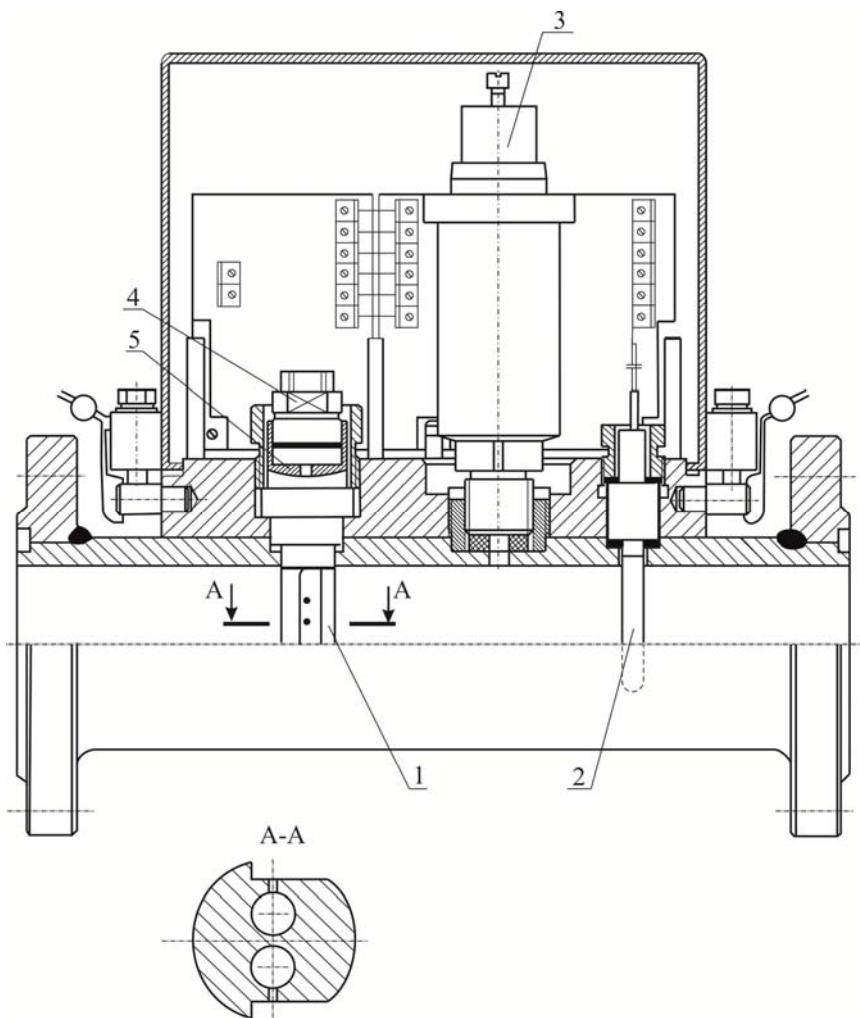


Рис. 9.1. Конструктивная схема блока первичных преобразователей

Первичный преобразователь давления – датчик абсолютного давления.

Первичный преобразователь температуры – термометр сопротивления.

Первичные преобразователи давления и температуры расположены в одной плоскости с телом обтекания, но ниже по потоку.

Рядом с первичными преобразователями расположен модуль электронных плат, состоящий из сигнального процессора 5 и блока обработки сигналов 6. Это позволяет обработать первичные сигналы детектора вихрей, первичных преобразователей давления и температуры и сформировать выходные цифровые сигналы, отправляемые на посылки для передачи регистратору информации.

Расходомер ИРВИС-РС4 обеспечивает регистрацию расхода газа с погрешностью, не превышающей $\pm 1\%$ при расходах от 64 до 2000 м³/ч. В случае расходов меньших 64 м³/ч погрешность рассчитывается с помощью зависимости

$$\delta = \pm \left(0,33 + 2,67 \cdot \frac{16}{Q} \right),$$

где Q – текущее значение расхода газа.

Если температура окружающей среды отклоняется от значений $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$, то погрешность измерения расхода газа дополнительно изменяется на $\pm 0,15\%$ / 10°C . При выходе динамической вязкости и давления измеряемой среды за пределы (от 6×10^{-6} до 35×10^{-6} Па·с от 0,05 до 1,6 (2,5; 10,0) МПа) дополнительная погрешность расходомера-счетчика равна $\pm 0,5\%$.

Для получения погрешности измерений не превышающей $\pm 1\%$ в трубопроводе должен быть обеспечен стационарный режим течения газа. В случае нестационарного режима амплитуда пульсаций параметров потока не должна превышать 25 % средних значений, а частота изменения параметров потока должна находиться в полосе пропускания частоты системы измерения. Период пульсаций параметров потока должен составлять не менее семи периодов вихреобразования. Период срыва вихрей можно рассчитать с помощью зависимости

$$T = 1400 \cdot \frac{D_y^3}{Q},$$

где D_y – диаметр условного прохода, м.

Основными источниками пульсаций являются:

- поршневые перекачивающие нагнетатели или двигатели;
- неисправные ротационные счетчики газа;
- изношенные клапаны или плохо настроенные регуляторы давления;
- скопление конденсата в газопроводах или газа в водопроводах, образование пробок;
- автоматический слив конденсата или удаление шлаков из сепараторов;
- тройники, заглушенные участки газопроводов, образующие «свистки»;
- срыв вихрей с различного рода неровностей (швов, уступов, углов, не полностью закрытой запорной арматуры);
- критические перепады на соплах, диафрагмах, задвижках, расположенных перед ПП, приводящие к формированию сверхзвуковых струй;
- симметричное разветвление газопровода с близкими значениями гидравлического сопротивления ветвей.

Для борьбы с пульсациями принимают следующие меры:

- устраняют источники пульсаций;
- удаляют расходомер-счетчик от оставшихся источников пульсаций;
- при прохождении потока по трубопроводу, частично или полностью заполненному жидкостью (конденсатом), предусматривают устройство для удаления этой жидкости;
- располагают расходомер-счетчик до редуцирующих систем газораспределительных станций (по направлению течения среды);
- избегают прямоугольных колен и «карманов» (заглушенных отводов), в которых могут возникать стоячие волны;
- избегают изгибов ЭТ непосредственно перед измерительными участками;
- зачищают сварные швы в измерительных участках, а уступы делают минимально возможными;
- в качестве запорной арматуры используют равнопроходные шаровые краны;
- в процессе измерений запорную арматуру полностью открывают;
- применяют балластные емкости, гидравлические (акустические) фильтры в ЭТ.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с принципом работы расходомера ИРВИС-РС4. Изучить конструкцию расходомера. Ознакомиться с установкой измерения расхода газа. Используя перечень причин возникновения погрешностей, найти недочеты в установке и предложить методы их устранения.

2. Изучить интерфейс работы с расходомером ИРВИС-РС4. Последовательно нажимая на кнопку «ВВОД» получить информацию о расходе газа за месяц, сутки и текущий расход газа. Определить текущие значения давления и температуры газов. Установить значения констант с помощью, которых рассчитывается нормальное значение расхода газа. Значения занести в табл. 9.1.

Таблица 9.1

Результаты исследований

Измеренные величины				Рассчитанные величины			
$n, \text{мин}^{-1}$	$V, \text{м}^3/\text{ч}$	$p, \text{МПа}$	$T, \text{К}$	$V_{\text{н}}, \text{м}^3/\text{ч}$	$G_{\text{Вд}}, \text{кг/ч}$	$G_{\text{Вт}}, \text{кг/ч}$	η_v

3. Построить зависимость изменения коэффициента наполнения по скоростной характеристике (при наличии дроссельной заслонки). Для этого в заданном диапазоне частот вращения коленчатого вала измерить нормальные расходы газа. Величину коэффициента наполнения рассчитать, используя зависимость

$$\eta_v = 15\pi D_{\text{п}}^2 S_{\text{п}} i \frac{n}{\tau} = 60V_h i \frac{n}{\tau},$$

где $D_{\text{п}}$ и $S_{\text{п}}$ – соответственно диаметр и ход поршня;

i – количество цилиндров;

n – частота вращения коленчатого вала;

τ – тактность;

V_h – рабочий объем цилиндра двигателя.

4. Определить погрешности измерения расхода газа. Построить графические зависимости изменения коэффициента наполнения и погрешностей измерения расхода газа от частоты вращения коленчатого вала.

Содержание отчета

1. Краткое описание работы.
2. Конструктивная схема первичного преобразователя расхода.
3. Вычисления и результаты в табл. 9.1.
4. Графические изменения коэффициента наполнения и погрешности измерения расхода газа (рис. 9.2).

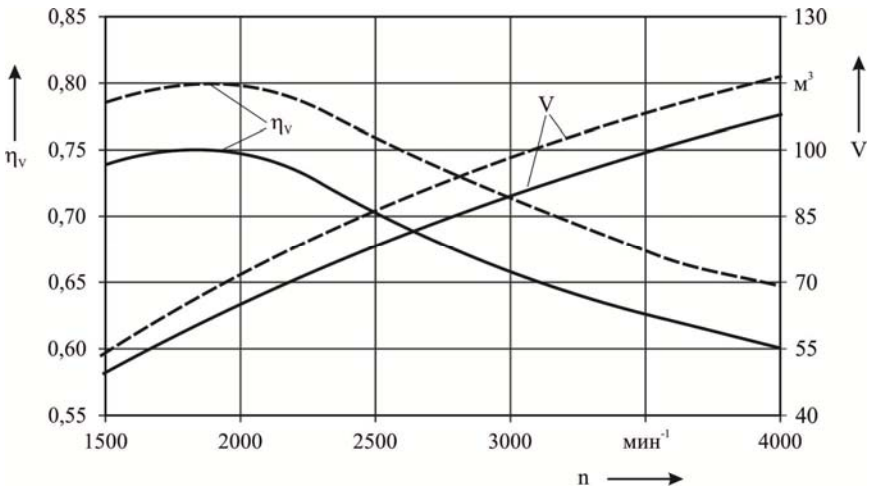


Рис. 9.2. Зависимости изменения коэффициента наполнения и расхода воздуха по скоростной характеристике на работающем и неработающем двигателе

Лабораторная работа № 10

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЖИМАЕМОСТИ МОТОРНЫХ ТОПЛИВ

Цель работы:

1. Изучение методики определения сжимаемости моторных топлив.
2. Ознакомление с установкой для определения сжимаемости моторных топлив.
3. Изучение и получение навыков работы с приборами для регистрации быстроизменяющихся процессов.
4. Получение навыком обработки данных регистрации быстропротекающих процессов.

Теоретические сведения

Одним из направлений развития дизелестроения на современном этапе является увеличение использования топлив не нефтяного происхождения, например, смесей дизельного топлива со спиртами, эфирами, растительными маслами, или самих растительных масел и их эфиров. В этом случае меняется не только элементный состав топлива, но и его физические свойства: плотность, вязкость, поверхностное натяжение, сжимаемость. На характеристики топливоподачи оказывает влияние: давление впрыска, мелкость распыливания, угол раскрытия топливной струи. Изменение сжимаемости топлива влияет на величину давлений впрыска, волновые явления в аккумуляторе, что, в конечном счете, сказывается на процессах смесеобразования и сгорания.

Сжимаемость – это способность жидкости уменьшать объем при увеличении давления. Учет сжимаемости топлива определяется процессом. При заполнении емкости топливом его считают не сжимаемым, в тоже время при рассмотрении процессов в линии высокого давления сжимаемостью пренебречь нельзя.

Мерой этого свойства жидкости сжимаемости служит коэффициент сжимаемости или объемный модуль упругости. Коэффициент сжимаемости увеличивается с ростом температуры, уменьшением давления и плотности жидкости.

Прямых методов определения сжимаемости жидкостей не существует. Сжимаемость жидкости β может быть выражена из зависимости

$$a = \sqrt{1/(\rho\beta)},$$

где a – скорость звука в топливе;

ρ – плотность топлива.

Скорость звука тождественна скорости распространения волны давления в топливе. С учетом конструктивных особенностей и условий проведения испытаний сжимаемость топлива может быть выражена из уравнения

$$a = \frac{1}{\sqrt{\rho_o (1 + \bar{\beta} p_n) \left[\beta + \frac{2}{E} \left(\frac{R^2 + r^2}{R^2 - r^2} - \mu \right) \right]}}, \quad (10.1)$$

где p_n – начальное давление в измерительном участке;

ρ_o – плотность топлива при атмосферном давлении;

$\bar{\beta}$ и β – соответственно среднее и действительное значение коэффициента сжимаемости.

Определение β по уравнению (10.1) представляет определенные трудности – неизвестны два параметра: среднее и действительное значение коэффициента сжимаемости. Для расчета сжимаемости удобнее воспользоваться другим уравнением:

$$\beta = -\frac{1 + p_n k}{2 p_n} + \sqrt{\left(\frac{1 + p_n k}{2 p_n} \right)^2 + \frac{1}{a^2 p_n \rho_o} - \frac{k}{p_n}}. \quad (10.2)$$

Значение параметра k определяется из выражения

$$k = \frac{2}{E} \left(\frac{R^2 + r^2}{R^2 - r^2} - \mu \right),$$

где E – модуль упругости материала трубопровода;

R и r – соответственно внешний и внутренний радиусы трубопровода;

μ – коэффициент Пуассона.

Скорость звука определяется экспериментально, для этого находят время t прохождения волны давления между двумя контрольными точками топливопровода высокого давления. Таким образом, скорость звука рассчитывают из выражения

$$a = \frac{L}{t},$$

где L – расстояние между двумя контрольными точками.

На рис. 10.1 представлена схема установки для определения времени прохождения волны давления между двумя контрольными точками.

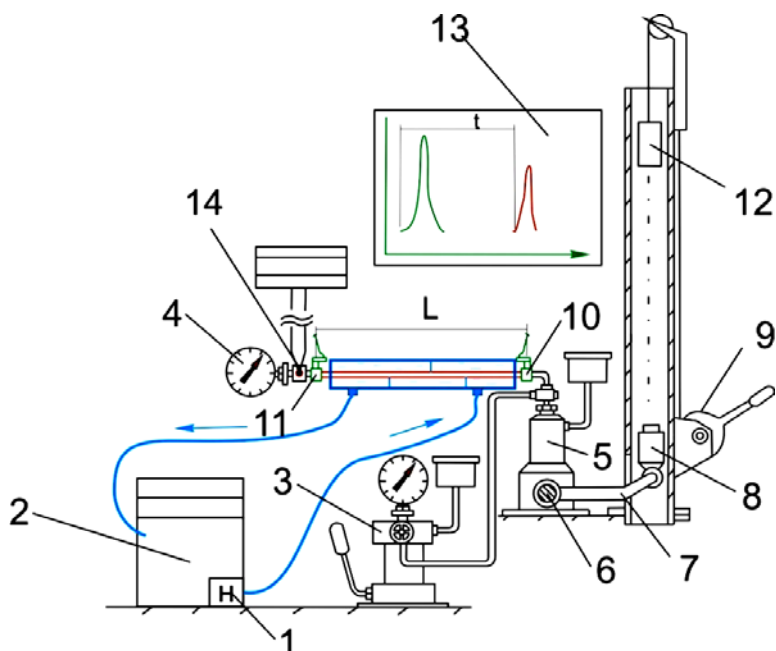


Рис. 10.1. Установка для определения времени прохождения волны давления между двумя контрольными точками

На валике 6 односекционного насоса 5 закреплен рычаг 7, конец которого выведен в вертикальную трубу. В этой трубе при помощи защелки 12 удерживается груз 8. Падение груза приводит к впрыску топлива в измерительный участок трубопровода, в начале и конце которого размещаются датчики давления 10 и 11, подключенные к многоканальному осциллографу 13. Подъемник 9 позволяет возвращать груз 8 в верхнее положение. Ручной насос 3 служит для создания в измерительном трубопроводе начального давления. Манометр 4 позволяет контролировать давление в измерительном трубопроводе. Измерительный участок трубопровода заключен в трубу, внутри которой циркулирует теплоноситель из

термостата 2, подаваемый насосом 1, что позволяет поддерживать исследуемое топливо в заданном тепловом состоянии, которое контролируется датчиком 14.

В соответствии со схемой, показанной на рис. 10.1, была собрана экспериментальная установка (рис. 10.2).



Рис. 10.2. Экспериментальная установка:

1 – датчик, запускающий отсчет времени; 2 – датчик, регистрирующий приход волны давления

Расстояние L определяется длиной отрезка, соединяющего оси пьезокварцевых датчиков. Время t – отрезок, соединяющий точку начала отсчета и точку момента отклонения графика от горизонтального участка, соответствующего сигналу, генерируемому вторым датчиком (рис. 10.3). Определение времени прихода волны давления непосредственно по графику, представленному на рис. 10.3, сопряжено со значительными погрешностями, вызванными непосредственным измерением длины отрезка и масштабного коэффициента. Более точно время прихода волны давления можно найти, обработав результаты измерений, сохраненные в файле.

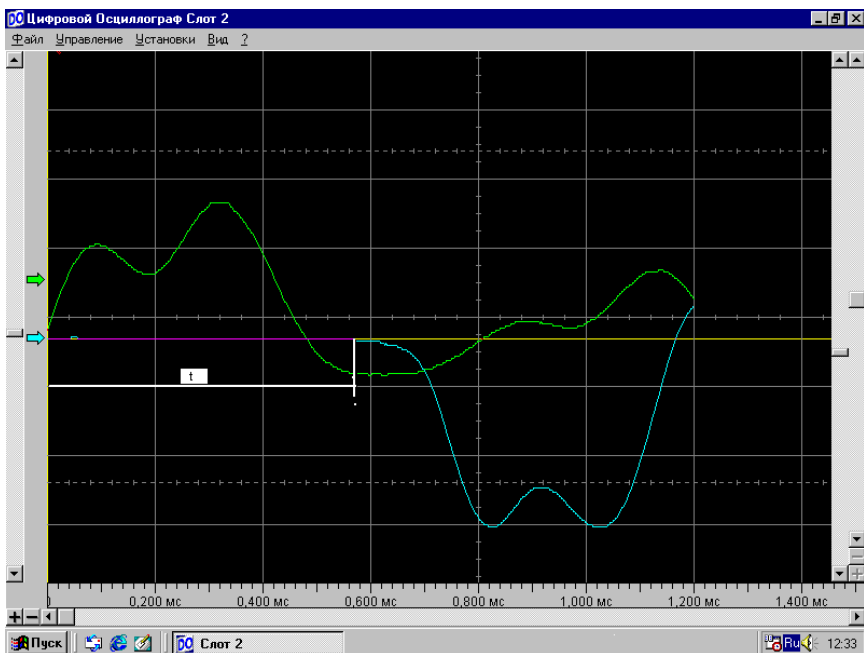


Рис. 10.3. Регистрация момента прохождения волны давления между двумя контрольными точками

Порядок выполнения работы

1. Измерить наружный и внутренний диаметры топливопровода. Установить пьезокварцевые датчики в начале и конце топливопровода и измерить длину L (расстояние между выводами датчиков).
2. Залить в установку испытываемое топливо и установить с помощью термостата его температуру. Включить осциллограф, компьютер и запустить программу управления осциллографом.
3. С помощью насоса установить начальное давление (5 МПа) в топливопроводе. В опции управления осциллографом выбрать единичное измерение и сбросить груз на рычаг 9. Сохранить файл с результатами испытаний.
4. Увеличить давление в топливопроводе и повторить пункт 3. Опыты проводятся в диапазоне изменения давлений в топливопроводе 5–40 МПа.

5. Обработать полученные зависимости с целью определения времени распространения волны давления в топливопроводе. Используя формулу (10.2) рассчитать коэффициент сжимаемости. Результаты обработки осциллограмм и расчета занести в табл. 10.1 и построить графические зависимости скорости звука и коэффициента сжимаемости в зависимости от давления в топливопроводе.

Таблица 10.1

Результаты определения скорости звука и сжимаемости моторного топлива

№	P_T , МПа	t_b , мс	a , м/с	β
1				

Содержание отчета

1. Краткое описание работы.
2. Схема установки для определения времени прохождения волны давления между двумя контрольными точками.
3. Вычисления и результаты в табл. 10.1.
4. Графики изменения коэффициента сжимаемости и скорости звука (рис. 10.4).

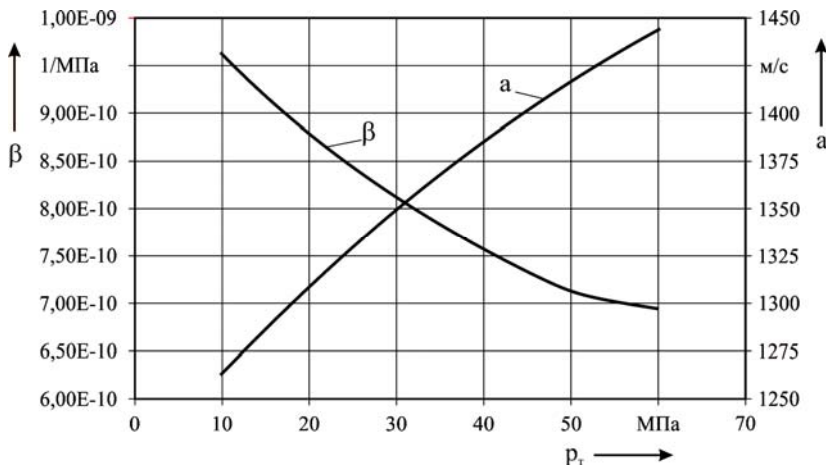


Рис. 10.4. Зависимости коэффициента сжимаемости топлива и скорости звука от давления в топливопроводе

Лабораторная работа № 11

ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ СТЕНД И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Цель работы:

1. Усвоение принципов работы систем обеспечения функционирования испытательного стенда.
2. Ознакомление с работой устройств измерения температур жидкостей и газов, расходов топлива и воздуха.

Теоретические сведения

Установка для лабораторных испытаний двигателей – это комплекс, состоящий из тормозного устройства, фундамента с подмоторной плитой, специальных картеров или подставок крепления двигателя, вала передающего крутящий момент от двигателя к тормозу, пульта управления, контрольных и измерительных устройств, других дополнительных устройств, обеспечивающих проведение испытаний.

Для проведения типовых испытаний установка должна быть оснащена устройствами для охлаждения двигателя и картерного масла, питания двигателя топливом и воздухом, отвода отработанных и картерных газов.

Стенд для испытания двигателя показан на рис. 11.1.



Рис. 11.1. Стенд для испытания двигателя

Функциональная схема испытательного стенда показана на рис. 11.2.

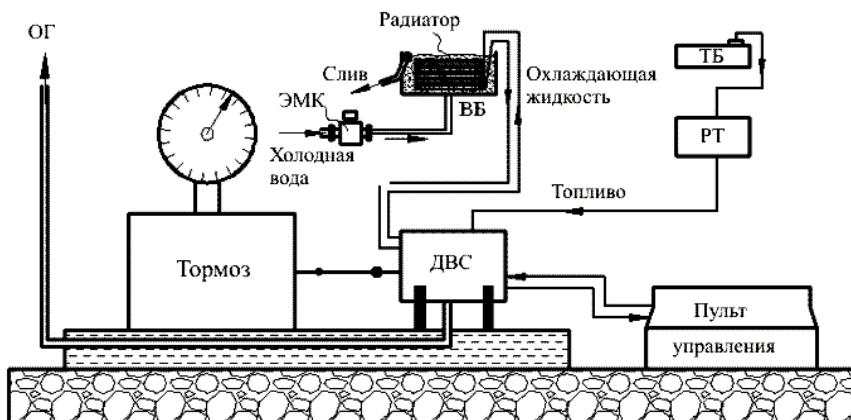


Рис. 11.2. Функциональная схема стенда для испытания двигателя внутреннего сгорания:

ТБ – топливный бак; РТ – расходомер топлива; ВБ – водяной бак;
ЭМК – электромагнитный клапан; ОГ – отработанные газы

Стенд включает в себя следующие основные агрегаты:

- а) устройство для установки и закрепления двигателя;
- б) тормозную установку;
- в) устройство для соединения двигателя с тормозом;
- г) устройство, обеспечивающее охлаждение двигателя;
- д) устройство для отвода отработанных и картерных газов за пределы бокса;
- е) устройство для питания двигателя топливом;
- ж) органы управления двигателем;
- з) пульт управления двигателем и приборы для проведения измерений.

Пульт управления двигателем и приборы для измерения показателей двигателя на рис. 11.1 не показаны. Они находятся в другом помещении, которое связано с данным посредством прозрачных окон. Пульт управления двигателем показан на рис. 11.3.



Рис. 11.3. Пульт управления

Двигатель установлен на массивном бетонном фундаменте, изолированном от стен здания и пола. Крепление выполнено с помощью специального универсального устройства, состоящего из плит на фундаменте и четырех стоек с регулируемыми по высоте консолями (рис. 11.4). Пазы в плитах и стойках позволяют закреплять последние в любом месте плиты, благодаря чему обеспечивается возможность установки на стенде двигателей с различными расстояниями между их точками крепления.



Рис. 11.4. Устройство для установки и крепления двигателя

Эффективная мощность (мощность, снимаемая с маховика), развиваемая двигателем, поглощается тормозной установкой. Данный стенд оснащен электрической тормозной установкой типа DS 736-4/V (рис. 11.5). Максимальная мощность при работе в режиме генератора 86 кВт, максимальная частота вращения 6400 мин^{-1} .



Рис. 11.5. Тормозная установка

Электрические тормоза представляют собой электрические машины, способные работать как в режиме генератора, так и в режиме мотора. Эффективная мощность испытуемого двигателя в данном случае трансформируется в электрическую. Для торможения двигателя используется машина постоянного тока. Корпус (статор) машины имеет балансирующую подвеску. Наряду с балансирующей машиной в их комплект входят весовое устройство, станция управления и пульт управления.

Средства поддержания температурного режима работы двигателя

Система охлаждения двигателя жидкостная, закрытого типа с принудительной циркуляцией охлаждающей жидкости водяным насосом. Система охлаждения также включает термостат, радиатор, расширительный бачок с паровоздушной пробкой. При необходимости радиатор помещается в специальный бак с водой для дополнительного охлаждения (рис. 11.6). В бак вода поступает из водопровода, слив воды осуществляется в канализацию.



Рис. 11.6. Бак с водой

Поддержание температуры охлаждающей жидкости в двигателе в заданных пределах осуществляется путем подачи холодной воды в бак. При достижении определенного уровня в баке вода сливается через сливное отверстие. Подача воды осуществляется с помощью электромагнитного клапана (рис. 11.7), управляемого измеритель-регулятором МТ2, в котором задаются пределы поддержания тем-

пературы охлаждающей жидкости в двигателе. При достижении верхнего предела температуры клапан отрывается, и холодная вода из водопровода поступает в бак, закрытие клапана и, соответственно, прекращение подачи воды осуществляется при падении температуры охлаждающей жидкости до нижнего заданного предела.



Рис. 11.7 Электромагнитный клапан

Измерение частоты вращения коленчатого вала и крутящего момента двигателя

Тормозная установка оборудована датчиком и регистрирующим устройством для измерения частоты вращения ротора, которая является и частотой вращения коленчатого вала двигателя. Крутящий момент можно определять не только по весовому устройству, но и в цифровом виде на экране при помощи специального устройства (рис. 11.8).



Рис. 11.8. Устройство вывода частоты вращения коленчатого вала и крутящего момента двигателя

Измерение расхода топлива

При данных испытаниях применяется массовый способ измерения расхода топлива. Для этого используются весы ВМЦ-2 с индуктивными датчиками и электрический секундомер, который в автоматическом режиме регистрирует время расхода двигателем заданной дозы топлива за опыт. Навеска топлива может задаваться 50, 100, 150 г.

Измерение температуры

При испытании двигателя измеряется температура воздуха в боксе, отработанных газов, охлаждающей жидкости и масла.

Температура охлаждающей жидкости измеряется на выходе из головки блока цилиндров в общем патрубке. Температура масла измеряется в картере двигателя (рис. 11.9).



Рис. 11.9. Датчики измерения температуры охлаждающей жидкости (слева) и масла (справа)

Измерение температур охлаждающей жидкости и масла чаще всего осуществляется с помощью термометров сопротивления. Действие этих термометров основано на свойствах некоторых проводников электричества изменять свое сопротивление при нагреве. Использовались термометры сопротивления следующего типа для охлаждающей жидкости и масла соответственно:

TSM-1199/21/Cu 50/B/1,428/3/60/6/-50...+180 °С,

TSM-1199/21/Cu 50/B/1,428/3/40/6/-50...+180 °С.

В табл. 11.1 представлены технические характеристики термометров сопротивления.

Таблица 11.1

Технические характеристики термометров сопротивления

Параметр	Значение
Рабочий диапазон измеряемых температур, °С	-50...+180
Класс допуска по ГОСТ 6651-94	В
Максимальное избыточное давление, МПа, не более	6,3
Номинальное значение сопротивления при 0 °С, Ом	50
Номинальная статическая характеристика преобразования	1,428
Предельное значение измерительного тока через ТСМ, мА	5
Длина погружаемой части, мм: для охлаждающей жидкости	60
для масла	40
Показатель тепловой инерции по ГОСТ 6651-94, с	14
Материал корпуса по ГОСТ 5632-72 сталь коррозионно-стойкая	12Х18Н10Т
Масса, кг, не более	0,2-0,3

В качестве регистрирующего устройства применяются измеритель-регуляторы МТ2, характеристики которых показаны в табл. 11.2.

Таблица 11.2

Технические характеристики измеритель-регуляторов МТ2

Параметр	Значение
Пределы основной приведенной погрешности, %	0,5
Время реакции, с, не более	3
Выходные реле	Электромеханические 2 × 240 В/3 А
Закон регулирования	трехпозиционный
Напряжение питания	~230 В±10 %, 50 Гц
Габаритные размеры, мм, не более	110 × 106 × 48
Потребляемая мощность, В·А, не более	4,0
Масса, кг, не более	0,35

Измеритель-регулятор МТ2 показан на рис. 11.10.



Рис. 11.10. Измеритель-регулятор МТ2

Температура отработанных газов измеряется на расстоянии не более 0,1 м за выходным фланцем выпускного трубопровода двигателя (рис. 11.11).



Рис. 11.11. Датчик для измерения температуры отработанных газов

Для измерения температуры отработанных газов применяется термоэлектрический термометр (пирометр). То есть при измерении используется хромель-алюмелевая термопара, сигнал с которой поступает на измеритель-регулятор МТ2, который показывает значение измеренной температуры.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Газоанализатор ГИАМ-29 : паспорт № 692 : ИБЯЛ.413311.018 ПС.
2. Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний : ГОСТ 14846–81.
3. Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний : ГОСТ 18509–88.
4. Нормы и методы определения дымности отработанных газов дизелей, тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин : ГОСТ 17.2.2.02–98.
5. Дымомер переносной «СМОГ-1» : паспорт № 234 : ИБЯЛ.413314.001 – 01 ПС.
6. Кочуров, А. А. Методика определения механических потерь в форсированном наддувом дизеле по нагрузочным характеристикам / А. А. Кочуров. – 1988. – № 9. – С. 53.
7. Кухарёнок, Г. М. Рабочий процесс высокооборотных дизелей. Методы и средства совершенствования / Г. М. Кухарёнок. – Минск: БГПА, 1999.
8. Основы научных исследований / под ред. В. И. Крутова, В. В. Попова. – Москва: Высшая школа. 1989 г.
9. Райков, И. Я. Испытание двигателей внутреннего сгорания. – Москва: Высшая школа, 1975.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ПРАВИЛА ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ	3
Лабораторная работа № 1. ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ТАРИРОВКА ТЕРМОПАРЫ	4
Лабораторная работа № 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ МЕХАНИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ДВИГАТЕЛЯ МЕТОДОМ ВЫКЛЮЧЕНИЯ ЦИЛИНДРОВ	10
Лабораторная работа № 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ МЕХАНИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ДВИГАТЕЛЯ МЕТОДОМ ПРОКРУТКИ	15
Лабораторная работа № 4. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ МЕХАНИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ДВИГАТЕЛЯ ПО НАГРУЗОЧНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ	18
Лабораторная работа № 5. ТАРИРОВКА ИНДИКАТОРОВ ДАВЛЕНИЯ	21
Лабораторная работа № 6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА ОТРАБОТАННЫХ ГАЗОВ	25
Лабораторная работа № 7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЫМНОСТИ ОТРАБОТАННЫХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ.....	29
Лабораторная работа № 8. ИНДИЦИРОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ.....	33
Лабораторная работа № 9. ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДА ВОЗДУХА	40
Лабораторная работа № 10. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЖИМАЕМОСТИ МОТОРНЫХ ТОПЛИВ	46
Лабораторная работа № 11. ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ СТЕНД И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ	53
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	62

Учебное издание

ИСПЫТАНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ

Практикум

для студентов специальности

1-37 01 01 «Двигатели внутреннего сгорания»

Составители:

КУХАРЁНОК Георгий Михайлович
ПЕТРУЧЕНКО Александр Николаевич

Редактор *Т. В. Грищенкова*

Компьютерная верстка *Н. А. Школьниковой*

Подписано в печать 12.02.2019. Формат 60×84¹/₁₆. Бумага офсетная. Печать цифровая.

Усл. печ. л. 3,72. Уч.-изд. л. 2,91. Тираж 200. Заказ 438.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.