

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра автомобильного транспорта

Р.Ф. Калимуллин, С.Ю. Коваленко

СТЕНДОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Оренбургский государственный университет» в качестве методических указаний для студентов, обучающихся по программам высшего профессионального образования по направлению подготовки 190600.62 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов

Оренбург
2012

УДК 629.33 (076.5)
ББК 39.35-07я7
К 17

Рецензент – профессор, доктор технических наук А.Т. Кулаков

Калимуллин, Р.Ф.

К 17 Стендовые испытания автомобильных двигателей: методические указания к лабораторным работам / Р.Ф. Калимуллин, С.Ю. Коваленко; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург : ОГУ, 2012. - 103 с.

Основное содержание: техника безопасности при проведении стендовых испытаний автомобильных двигателей, общие сведения об организации стендовых испытаний, устройство и конструкция обкаточно-тормозного стенда, методики и оборудование, используемое при испытаниях, снятие основных характеристик автомобильных двигателей на обкаточно-тормозном стенде.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Силовые агрегаты» для бакалавров направления подготовки *190600.62 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов* всех форм обучения

УДК 629.33 (076.5)
ББК 39.35-07я7

© Калимуллин Р.Ф.,
Коваленко С.Ю., 2012
© ОГУ, 2012

Содержание

Введение.....	4
1 Лабораторная работа № 1. Общие сведения об организации испытаний ДВС..	8
2 Лабораторная работа № 2. Изучение моторного стенда	23
3 Лабораторная работа № 3. Измерительные устройства испытательного моторного стенда.....	37
4 Лабораторная работа № 4. Согласование характеристик тормоза испытательного моторного стенда и ДВС	53
5 Лабораторная работа № 5. Снятие характеристик холостого хода карбюраторного ДВС	62
6 Лабораторная работа № 6. Снятие скоростной характеристики карбюраторного ДВС.....	69
7 Лабораторная работа № 7. Снятие нагрузочной характеристики карбюраторного ДВС	82
8 Лабораторная работа № 8. Снятие регулировочной характеристики карбюраторного ДВС по углу опережения зажигания.....	88
Заключение.....	94
Список использованных источников.....	95
Приложение А.....	96
Приложение Б.....	98
Приложение В.....	99
Приложение Г.....	100
Приложение Д.....	101
Приложение Е.....	102

Введение

Целями лабораторных работ по дисциплине «Силовые агрегаты» являются:

- установление связей теории с практикой в форме экспериментального подтверждения положений теории;
- приобретение практических навыков по организации и проведению испытаний двигателей внутреннего сгорания;
- обучение студентов умению анализировать полученные результаты, сопоставлять их с теоретическими положениями и расчетными данными;
- контроль самостоятельной работы студентов по освоению курса.

Исходя из целей лабораторных работ при освоении дисциплины, студент должен научиться:

- технически грамотно и правильно пояснить устройство основного оборудования и приборов испытательного стенда, а также пользования ими;
- самостоятельно провести заданное испытание двигателя, включая обработку результатов испытания;
- правильно и четко объяснить основные закономерности и явления, полученные при испытаниях;
- самостоятельно провести научно-экспериментальное исследование какого-либо вопроса рабочего процесса автомобильного двигателя.

Для наилучшего усвоения материала перед проведением испытаний студенту необходимо изучить теорию вопроса, предполагаемого к исследованию, ознакомиться с руководством по соответствующей работе и подготовить протокол проведения работы, в который заносится название, цель работы, протоколы испытания, расчетные формулы. При подготовке к защите лабораторной работы необходимо провести анализ экспериментальных результатов, сопоставить их с известными теоретическими положениями или эмпирическими справочными данными, обобщить результаты исследований в виде выводов по работе и подготовить ответы на контрольные вопросы, приведенные в методических указаниях к выполнению лабораторных работ.

Ввиду того, что работающие двигатели внутреннего сгорания (ДВС) являются объектами повышенной опасности, при проведении испытаний необходимо соблюдать требования техники безопасности. Также, кроме самих ДВС определенную опасность представляют аппаратура и некоторые приборы, применяемые при испытаниях.

Основную опасность при испытании двигателя представляют:

- вращающиеся детали ДВС и используемых стендов;
- детали ДВС, имеющие высокую температуру и вызывающие ожоги (выпускной коллектор);
- выхлопные газы ДВС, вызывающие отравление организма или раздражение кожных покровов;
- система зажигания карбюраторных двигателей, вызывающая удар электротоком;
- топливо, вызывающее отравление организма или раздражение кожных покровов;
- приборы, имеющие питание от сети высокого напряжения (например, осциллографы, газоанализаторы и т.д.);
- шумы, возникающие при работе ДВС.

Кроме того, ДВС представляют большую пожарную опасность. Все это вызывает необходимость в разработке и соблюдении специальных правил для лиц, работающих в лаборатории ДВС.

Каждый студент должен усвоить правила техники безопасности и поведения в лаборатории, для чего преподавателем проводится соответствующий инструктаж. Студенты расписываются в специальном журнале о том, что они ознакомлены с правилами техники безопасности и обязуются их выполнять:

1) необходимо быть предельно осторожным около двигателя, несмотря на то, что все приводные и соединительные устройства вращающихся деталей снабжаются надежными ограждениями;

2) до начала испытаний необходимо осмотреть двигатель снаружи, проверить и, при необходимости, подтянуть крепления. Особое внимание следует обратить при

проверке крепления гаек болтов гибкой муфты, соединяющей валы двигателя и тормоза. Во избежание захвата одежды вращающимися деталями испытательного стенда запрещается проводить испытания двигателя с развевающимися концами одежды (шарфы, галстуки, шейные косынки, полы халатов, пиджаков и т.д.);

3) перед пуском двигателя включить вытяжную и приточную вентиляцию;

4) не допускать работу двигателя в случае подтекания топлива, масла и охлаждающей жидкости, а также при выходе отработавших газов через неплотности в соединениях выпускной системы;

5) запрещается производить регулировки, отсоединять трубопроводы горючесмазочных материалов и охлаждающей жидкости, обтирать и смазывать вращающиеся части во время работы двигателя;

6) не допускать перелива бензина через верхнюю кромку топливной ёмкости в процессе измерения расхода топлива. В случае попадания бензина на кожный покров необходимо немедленно смыть его теплой водой с мылом;

7) запрещается бесцельное и без разрешения преподавателей включение приборов, двигателей, кнопочных пускателей, рубильников и переключателей;

8) двигатель, тормозная установка и рабочие места у тормозного стенда должны содержаться в чистоте;

9) запрещается прикасаться руками к системе выпуска отработавших газов (коллектор двигателя и трубопровод), а также находиться вблизи этих деталей, особенно при работе двигателя на полной нагрузке;

10) запрещается проводить любые испытания двигателя одному. Присутствие второго лица обязательно для оказания, в случае необходимости, первой помощи;

11) внутри помещения лаборатории должны быть расположены в необходимом количестве противопожарные средства: огнетушители, ящики с песком, кошма, пожарный рукав и т.д.;

12) пользование открытым огнем (факелами, фонарями, лампами и т.д.), разжигание и прогрев паяльных ламп, а также курение в помещении лаборатории категорически запрещается;

13) запас топлива для каждого двигателя держать только в расходном топлив-

ном баке, ёмкость которого не должна превышать ёмкость бака заводского изготовления. Воспрещается хранение топлива и масла в дополнительных ёмкостях (бочках, флягах, бидонах и др.) в помещении лаборатории;

14) после окончания работы по испытанию двигателя отключить топливный бак, рубильник силовой электросети, водопроводную магистраль.

испытаний ДВС

1.1 Общие положения

Целью работы является усвоение общих сведений об организации и проведении испытаний ДВС.

Задачами работы являются:

- получение представления о назначении и видах испытаний двигателей внутреннего сгорания;
- знание порядка подготовки ДВС к испытаниям, общих условий и порядка проведения испытаний;
- усвоение методик графической и статистической обработок результатов испытаний;
- знание основных показателей работы ДВС, а также формул, по которым проводится расчет данных показателей.

1.2 Назначение и виды испытаний ДВС

Нормативным документом, регламентирующим испытания ДВС, является стандарт ГОСТ 14846-81 «Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний» с дополнениями от 2008 г.

Под *испытанием* понимают проверку работоспособности ДВС или получение данных по его рабочему процессу и конструкции при работе в определенных условиях на специально оборудованной стационарной установке (стендовые испытания) или в условиях работы на той машине, для которой этот ДВС предназначен (ходовые испытания). В дальнейшем мы будем говорить о стендовых испытаниях.

Основное назначение испытаний ДВС следующее:

- 1) всестороннее исследование качества ДВС, выпускаемых заводами, а также определение основных конструктивных, динамических и экономических качеств новых и отремонтированных ДВС с проверкой износостойкости и механической

точности как ДВС в целом, так и его отдельных узлов и деталей;

2) получение исходных данных для конструирования;

3) оценка влияния различных конструктивных и эксплуатационных факторов на показатели ДВС;

4) получение исходных данных о процессах, протекающих в ДВС.

Для получения сравнимых результатов испытания должны проводиться по определенным методам и правилам, для которых установлен стандарт, определяющий виды, объемы и методы типовых испытаний автотракторных двигателей серийного производства, а также двигателей новых и модернизированных конструкций.

ГОСТ 14846-81 включает следующие виды испытаний:

- кратковременные контрольные испытания серийных ДВС, имеющие целью проверить соответствие мощностных, экономических и других показателей ДВС стандартам или техническим условиям на них;

- длительные контрольные испытания серийных ДВС, проводимые для проверки качества изготовления и соответствия показателей ДВС стандартам или техническим условиям на них;

- приемочные испытания ДВС модернизированных конструкций.

Указанные виды испытаний должны проводиться в точном соответствии с положениями ГОСТ 14846-81.

При проведении испытаний, не предусмотренных ГОСТ 14846-81 (например, исследовательских), нужно соблюдать требования, изложенные в ГОСТ 14846-81, насколько это позволяют задачи и программа испытаний.

1.3 Подготовка ДВС к испытанию

В общем случае подготовка ДВС к испытанию состоит из наружного осмотра, разборки, микрометрического обмера деталей, сборки, регулировки, установки и обкатки на стенде. При осмотре ДВС обязательно должен быть составлен акт, в котором отмечаются все недостатки, обнаруженные при осмотре и разборке.

До начала испытаний после установки ДВС на стенд проводятся следующие работы:

- регулировка тепловых зазоров в толкателях всех клапанов;
- проверка фаз газораспределения;
- определение давления в конце такта сжатия (компрессии) во всех цилиндрах;
- установка угла опережения зажигания и тарировка органов управления опережением зажигания;
- проверка и установка редукционного клапана масляной системы.

Помимо этого у дизельных двигателей проверяют:

- регулировку топливopодающей аппаратуры (топливный насос высокого давления, подкачивающий насос, форсунки);
- герметичность топливной магистрали и отсутствие в ней воздуха.

Новый двигатель перед испытанием должен пройти холодную обкатку и горячую обкатку на режиме холостого хода и под нагрузкой.

Перед запуском ДВС обязательно проверяются:

- уровень масла в картере;
- уровень охлаждающей жидкости в системе охлаждения;
- наличие топлива в топливном баке;
- надежность сочленения в приводе тормозного устройства;
- возможность беспрепятственного выхода продуктов сгорания по системе выпуска за пределы лаборатории.

1.4 Условия проведения испытаний

До ввода в режим испытаний ДВС должен быть прогрет (температуры охлаждающей жидкости и масла должны соответствовать требованиям завода-изготовителя). При отсутствии указаний завода-изготовителя, температура охлаждающей жидкости должна поддерживаться в пределах от 75 до 85 °С, температура масла – в пределах от 80 до 100 °С.

До начала замеров на каждом из выбранных режимов работы должна быть сделана выдержка продолжительностью от 1 до 3 минуты, достаточная для достижения устойчивой работы ДВС (постоянства крутящего момента и частоты вращения коленчатого вала). Продолжительность замера на каждой опытной точке должна быть не менее 1,5 мин. Для каждой характеристики должно быть получено не менее шести равномерно расположенных опытных точек. В области максимальных и резких изменений значений показателей интервалы между опытными точками рекомендуется уменьшать.

Температура охлаждающей жидкости и масла в процессе испытания должна поддерживаться постоянной в вышеуказанных пределах.

Испытания рекомендуется проводить во взаимнообратных направлениях изменения той величины, влияние которой определяется данным исследованием.

Все однородные испытания должны проводиться без длительных разрывов во времени (по возможности в течение одного дня).

Все изменения положения рычагов управления производятся плавно, с соблюдением необходимой выдержки времени для установки требуемого режима работы ДВС. Исключением могут явиться случаи, связанные с предотвращением аварии ДВС.

Перед каждой лабораторной необходимо хорошо усвоить цель и программу предстоящего испытания, прочитать соответствующие разделы в данном руководстве и в рекомендуемой литературе.

Во время проведения работы студенты распределяются по рабочим местам, где проводят запись показаний измерительных приборов и устройств, а также работы по установлению и поддержанию нужных режимов. Запись показаний измерительных приборов и устройств должна производиться всеми студентами одновременно по команде преподавателя. Каждый должен записывать только то, что ему было ранее поручено, а не стараться записывать себе показания всех приборов.

После окончания испытаний все результаты замеров заносятся в протоколы. Бланк протокола должен быть подготовлен перед каждой работой. Пример формы бланка протокола приведен на рисунке 1.1.

Принятые обозначения основных показателей:

n - частота вращения коленчатого вала двигателя;

P_y - показания весов тормозного устройства;

M_k - крутящий момент двигателя;

p_e - среднее эффективное давление;

N_e - эффективная мощность двигателя;

$\Delta V, \Delta G$ - объём и вес, израсходованный при замере дозы топлива;

ΔT - время расходования дозы топлива;

G_T - часовой расход топлива;

g_e - удельный эффективный расход топлива;

p_m - давление масла в двигателе;

$t_{ож}$ - температура охлаждающей жидкости;

t_m - температура масла в картере;

G_v - часовой расход воздуха;

Δh_e - перепад давления в воздухомерной диафрагме;

α - коэффициент избытка воздуха;

η_v - коэффициент наполнения;

Θ - угол опережения зажигания.

При обработке результатов испытания необходимо соблюдать следующие правила:

- все подсчеты при обработке результатов испытаний должны проводиться с точностью до трех значащих цифр;

- графики характеристик могут быть построены на миллиметровой бумаге формата А 4 либо с использованием программного продукта, например, *Microsoft Office Excel*; пример построения графических зависимостей показателей работы двигателя представлен на рисунке 1.2;

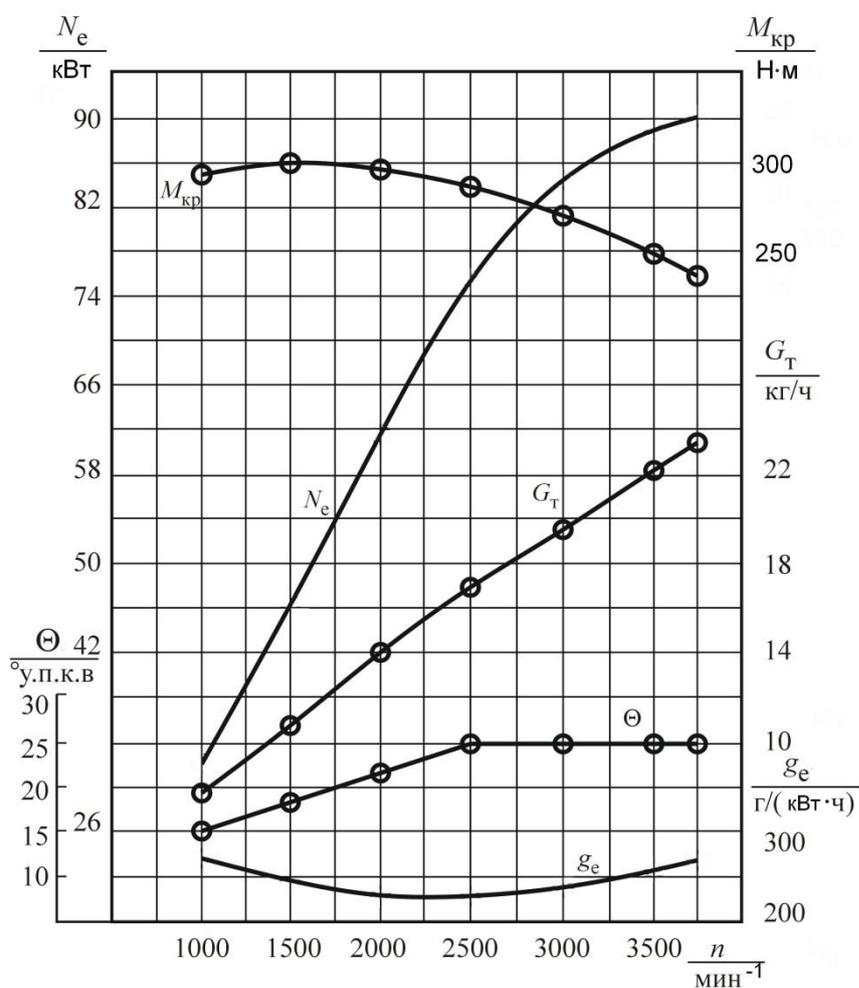


Рисунок 1.2 – Пример графического построения скоростной характеристики карбюраторного ДВС

- график должен быть изображен в виде, удобном для использования; не сле-

дует стремиться разместить все кривые на одном листе; лучше сделать два или три отдельных графика;

- следует избегать многократного пересечения кривых на графике;

- масштабы графиков должны быть удобны для работы; рекомендуется использовать масштабы, кратные 10.

При построении графиков характеристик обязательно следует соблюдать общее правило: графики первичных непосредственно измеряемых величин (M_k , n , G_T , G_e , t_m и т.п.) строятся по результатам замеров. При построении этих графиков наносятся и отмечаются опытные точки, а затем по этим точкам с помощью лекала проводится определенная линия таким образом, чтобы наибольшее количество опытных точек равно отстояли от проведенной линии.

При использовании компьютера при оформлении отчета по лабораторным работам для построения графиков рекомендуется использовать табличный редактор *Microsoft Office Excel*. При построении кривых рекомендуется использовать тип диаграммы «точечная», далее, после построения точечной диаграммы построить для нее линию тренда в том виде, который дает максимальную точность аппроксимации (величина достоверности аппроксимации $R^2 \rightarrow 1$) с выводом уравнения данной кривой на графике.

Эта линия (в графическом виде) и уравнение (в численном) и будут выражать общую закономерность изменения соответствующей величины.

Графики вторичных величин (N_e , p_e , g_e , α , η_v , η_e) строятся по результатам расчетов, причем значения первичных величин для этих расчетов должны браться не из результатов непосредственных измерений, а по ранее построенным осредненным кривым или полученным из уравнения аппроксимации кривой. Опытные точки на графиках вторичных величин не ставятся.

Полученные в ходе испытаний данные подвергаются обработке с использованием формул, приведенных в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Формулы для вычисления показателей

Показатель	Обозначение, ед. изм.	Формула для вычисления	Обозначения и размерности величин
1	2	3	4
Крутящий момент	M_k , Н·м	$M_k = 7,46 \cdot P_y$	P_y – показания весов тормоза, ед. дел. шк.
Среднее эффективное давление	p_e , МПа	$p_e = \frac{\pi \cdot M_k \cdot \tau \cdot 10^{-3}}{i \cdot V_h}$	τ – тактность, $\tau=4$ i – число цилиндров, V_h – рабочий объем цилиндра, дм^3
Эффективная мощность двигателя	N_e , кВт	$N_e = \frac{\pi \cdot n}{30} \cdot M_k \cdot 10^{-3}$	n – частота вращения коленчатого вала двигателя, мин^{-1}
Часовой расход топлива (при объемном способе замера)	G_T , кг/ч	$G_T = 3,6 \frac{\Delta V \cdot \rho_m}{\Delta T}$	ΔV – объем топлива, израсходованный за время замера, см^3 ΔT – время замера, сек; ρ_m – плотность топлива, г/см^3
Удельный эффективный расход топлива	g_e , $\frac{\text{г}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$	$g_e = 10^3 \frac{G_T}{N_e}$	
Часовой расход воздуха (при измерении с помощью нормальной диафрагмы)	G_B , кг/ч	$G_B = a \sqrt{\Delta h_B \cdot \rho_B}$ $\rho_B = 0,464 \cdot \frac{B_0}{T_0}$	a – постоянная для данной диафрагмы, $a=13,55$; Δh_B – показания дифференциального манометра (пьезометра), мм вод. ст. ρ_B – плотность воздуха, кг/м^3 B_0 – барометрическое давление, мм рт. ст.; T_0 – температура окружающего воздуха, К.
Коэффициент избытка воздуха	α	$\alpha = \frac{G_B}{l_0 \cdot G_T}$	l_0 – теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива, $l_0 = 14,9$ кг (для бензина)

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3	4
Коэффициент наполнения	η_V	$\eta_V = \frac{10^3 \cdot G_B}{30 \cdot V_h \cdot i \cdot n \cdot \rho_B}$ $V_h = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot S \cdot 10^{-6}$	D – диаметр цилиндра, мм; S – ход поршня, мм
Эффективный к.п.д.	η_e	$\eta_e = \frac{3,6 \cdot 10^3}{H_u \cdot g_e}$	H_u – низшая теплотворная способность топлива, для бензина: $H_u = 44$ МДж/кг

Мощность ДВС, а, следовательно, и показания весового устройства тормоза при полном открытии дроссельной заслонки определяются количеством горючей смеси, поступившей в цилиндры двигателя, которое зависит от давления, температуры и влажности воздуха. Поэтому при испытании бензиновых ДВС с полностью открытой дроссельной заслонкой, а дизелей – с полной подачей топлива, мощность, крутящий момент и среднее эффективное давление приводят к стандартным атмосферным условиям. При испытании дизелей без наддува и с наддувом от нагнетателя, имеющего механический привод, к стандартным атмосферным условиям приводят также и часовой расход топлива.

ГОСТ 14846-81 устанавливает следующие стандартные атмосферные условия: барометрическое давление 760 мм рт. ст.; температура воздуха 20 °С; относительная влажность воздуха 50 % (давление водяных паров 9 мм рт. ст.).

Для приведения параметров N_e , M_k , p_e к стандартным атмосферным условиям, если испытания проводились при температуре воздуха $t > 20$ °С или давлении воздуха $p < 760$ мм рт. ст. (с учетом влажности воздуха), полученные при испытаниях значения перечисленных параметров должны быть увеличены в соответствии с данными таблицы 1.2. Наоборот, когда $t < 20$ °С или $p > 760$ мм рт. ст. (с учетом его влажности), они должны быть соответственно уменьшены.

Таблица 1.2 - Поправки для приведения к стандартным условиям

Условия применения поправок	Изменение $N_e, M_k, p_e, \%$	
	бензиновые двигатели	дизели без наддува и с наддувом от нагнетателя с механическим приводом
Изменение температуры воздуха на каждые 10 °С в диапазоне от 10 до 60 °С	1,8	2,2
Изменение давления на каждые 10 мм рт. ст. не ниже 600 мм рт. ст.	1,35	1,35

Давление воздуха при подсчетах определяют вычитанием из барометрического давления водяных паров, которое определяют по графику в зависимости от температуры и относительной влажности воздуха.

Для приведения часового расхода топлива к стандартным атмосферным условиям у дизелей при изменении температуры воздуха на каждые 10 °С часовой расход топлива (при неизменном положении рейки топливного насоса) увеличивается на 1,5 %. Для случаев, когда $t > 20$ °С, замеренный расход топлива увеличивают на указанную поправку и, соответственно, снижают, если $t < 20$ °С. Часовой расход топлива карбюраторных двигателей к стандартным атмосферным условиям не приводят.

1.6 Погрешности измерений и точность определения результатов испытаний

Зависимости, полученные при обработке опытных данных, являются осредняющими и приближенными. Объясняется это невозможностью строгого соблюдения заданного режима и неточной воспроизводимостью процессов в цилиндрах двигателя в пределах каждого опыта, погрешностями измерений и некоторыми другими факторами.

При обработке опытных данных принято вычислять относительную погреш-

ность как непосредственных, так и косвенных измерений и оценивать разброс опытных точек относительно осредняющих кривых на построенных графиках. Под косвенными измерениями подразумевают результаты расчета тех или иных параметров по величинам параметров, измеренных непосредственно.

Вероятное значение измеряемой величины X определяют как среднюю арифметическую величину из всех выполненных n отдельных равноточных измерений одного и того же численного значения физической величины:

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{n}. \quad (1.1)$$

Абсолютные ошибки в общем случае равны разности между искомой величиной и результатами ее измерения. А поскольку истинное значение измеряемой величины вообще остается неизвестным, то для практических расчетов принимают во внимание ее вероятное значение.

$$\Delta X_i = \bar{X} - X_i. \quad (1.2)$$

Средняя квадратичная ошибка σ отдельного измерения:

$$\sigma_x = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{\Delta X_i^2}{(n-1)}}. \quad (1.3)$$

Относительные погрешности $\delta_{\Delta x}$, $\delta_{\sigma x}$ отдельных измерений:

$$\delta_{\Delta x} = \frac{\Delta X_i}{X}, \quad \delta_{\sigma x} = \frac{\sigma_x}{X}. \quad (1.4)$$

Ошибки косвенных измерений находят из условия, что числовое значение определяемой физической величины является функцией или одного, или ряда независимых переменных, т.е. $y = f(X_1, X_2, \dots, X_i, \dots, X_n)$, где X_i - независимая переменная величина, которую необходимо измерить, чтобы по полученным результатам определить числовое значение функции.

Абсолютная ошибка в определении функции нескольких независимых переменных X_i равна:

$$\Delta y = \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial f}{\partial X_i} \cdot \Delta X_i \right|. \quad (1.5)$$

Среднеквадратичная ошибка в определении функции нескольких независимых переменных X_i равна:

$$\sigma_y = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left[\frac{\partial f}{\partial X_i} \cdot \sigma_{xi} \right]^2}. \quad (1.6)$$

Соответствующие относительные погрешности равны:

$$\delta_{\Delta y} = \frac{\Delta Y_i}{Y}, \delta_{\sigma_y} = \frac{\sigma_y}{Y}. \quad (1.7)$$

Величины ΔX_i и σ_{xi} берутся в соответствии с классом точности прибора по стандарту, формуляру или паспорту прибора, с помощью которого производилось измерение данного параметра или по известному значению соответствующей величины всего измерительного канала.

Пример 1 – Максимальная относительная погрешность определения среднего давления потерь по формуле:

$$P_M = P_i - P_e,$$

равна $\delta_P = \frac{\Delta P_i + \Delta P_e}{P_i - P_e}$.

Здесь P_i и P_e - найденные средние индикаторное и эффективное давления, МПа;

ΔP_i и ΔP_e - абсолютные погрешности их определения, МПа.

Пример 2 – Максимальная относительная погрешность определения коэффициента избытка воздуха по формуле:

$$\eta_V = \frac{10^3 \cdot G_B}{30 \cdot i \cdot V_h \cdot \rho_B \cdot n}$$

равна:

$$\sigma_\eta = \frac{\Delta G_B}{G_B} + \frac{\Delta V_h}{V_h} + \frac{\Delta \rho_B}{\rho_B} + \frac{\Delta n}{n}.$$

Здесь:

$$\frac{\Delta G_B}{G_B} = 2 \cdot \frac{\Delta d}{d} + \frac{1}{2} \frac{\Delta P_0}{P_0} + \frac{\Delta h_B}{h_B} + \frac{1}{2} \frac{\Delta T_0}{T_0}$$

и

$$\frac{\Delta \rho_B}{\rho_B} = \frac{\Delta P_0}{P_0} + \frac{\Delta T_0}{T_0},$$

где $\frac{\Delta d}{d}$ - максимальная относительная погрешность при определении диаметра

отверстия измерительной диафрагмы;

$\frac{\Delta P_0}{P_0}$ - максимальная относительная погрешность при определении давления

окружающего воздуха;

$\frac{\Delta h_B}{h_B}$ - максимальная относительная погрешность при определении перепада

давления в дроссельной шайбе;

$\frac{\Delta T_0}{T_0}$ - максимальная относительная погрешность при определении абсолют-

ной температуры окружающего воздуха.

После простых преобразований исходного выражения для σ_η можно записать:

$$\sigma_\eta = 2 \cdot \frac{\Delta d}{d} + \frac{3}{2} \frac{\Delta P_0}{P_0} + \frac{\Delta h_B}{h_B} + \frac{3}{2} \frac{\Delta T_0}{T_0} + \frac{\Delta V_h}{V_h} + \frac{\Delta n}{n}.$$

1.7 Контрольные вопросы

1. Что подразумевается под испытанием двигателей?
2. Какие существуют виды испытаний?
3. Какие основные виды работ проводятся при подготовке ДВС перед проведением испытаний?
4. Каковы основные условия проведения испытаний?
5. Что представляет собой методика обработки полученных результатов испытаний?
6. Что подразумевается под стандартными атмосферными условиями?
7. Для чего используются коэффициенты приведения к стандартным атмосферным условиям?
8. Назовите причины возникновения погрешностей при измерениях?
9. Какие существуют виды погрешностей и ошибок измерений?

2 Лабораторная работа № 2. Изучение моторного стенда

2.1 Общие положения

Целью работы является изучение устройства и принципа работы испытательного моторного стенда.

Задачами работы являются:

- знание основных требований, предъявляемых к испытательным моторным стендам;
- получение представления о видах тормозных устройств;
- изучение устройства и принципа работы тормозного устройства с электрической балансирной машиной переменного тока;
- получение представления о характеристиках электрической балансирной машины и схем ее подключения в электрическую сеть;
- изучение устройства испытательного моторного стенда на примере стенда КИ-5543.

2.2 Основные требования, предъявляемые к моторным стендам

Стендовые испытания двигателей внутреннего сгорания проводятся на специальной стационарной установке – испытательном моторном стенде.

На испытательном моторном стенде должно быть установлено необходимое оборудование для измерения таких основных параметров работы ДВС, как:

- крутящий момент на коленчатом валу ДВС M_k , Н·м;
- частота вращения коленчатого вала n , мин⁻¹;
- часовой расход топлива по массе G_T , кг/ч или по объему V_T , м³/ч;
- часовой расход воздуха по массе G_g , кг/ч или по объему V_g , м³/ч;
- температуры t , °С: окружающего воздуха, охлаждающей жидкости, масла в картере, отработавших газов на выходе из коллектора ДВС, газа перед смесителем для газовых ДВС;
- давления p , МПа: окружающего воздуха, масла в магистрали, топлива перед входом в насос высокого давления для дизельных ДВС;

- разрежение h , мм рт. ст. во впускном трубопроводе $h_{вп.тр.}$ (для карбюраторных и газовых ДВС) или перед смесителем $h_{см.}$ (для газовых ДВС);

- угол опережения зажигания Θ , у.п.к.в. (угол поворота коленчатого вала).

При проведении специальных испытаний стенд может иметь дополнительное оборудование для снятия индикаторных диаграмм, определения дымности и токсичности отработавших газов, измерения расхода охлаждающей жидкости, масла и т.д.

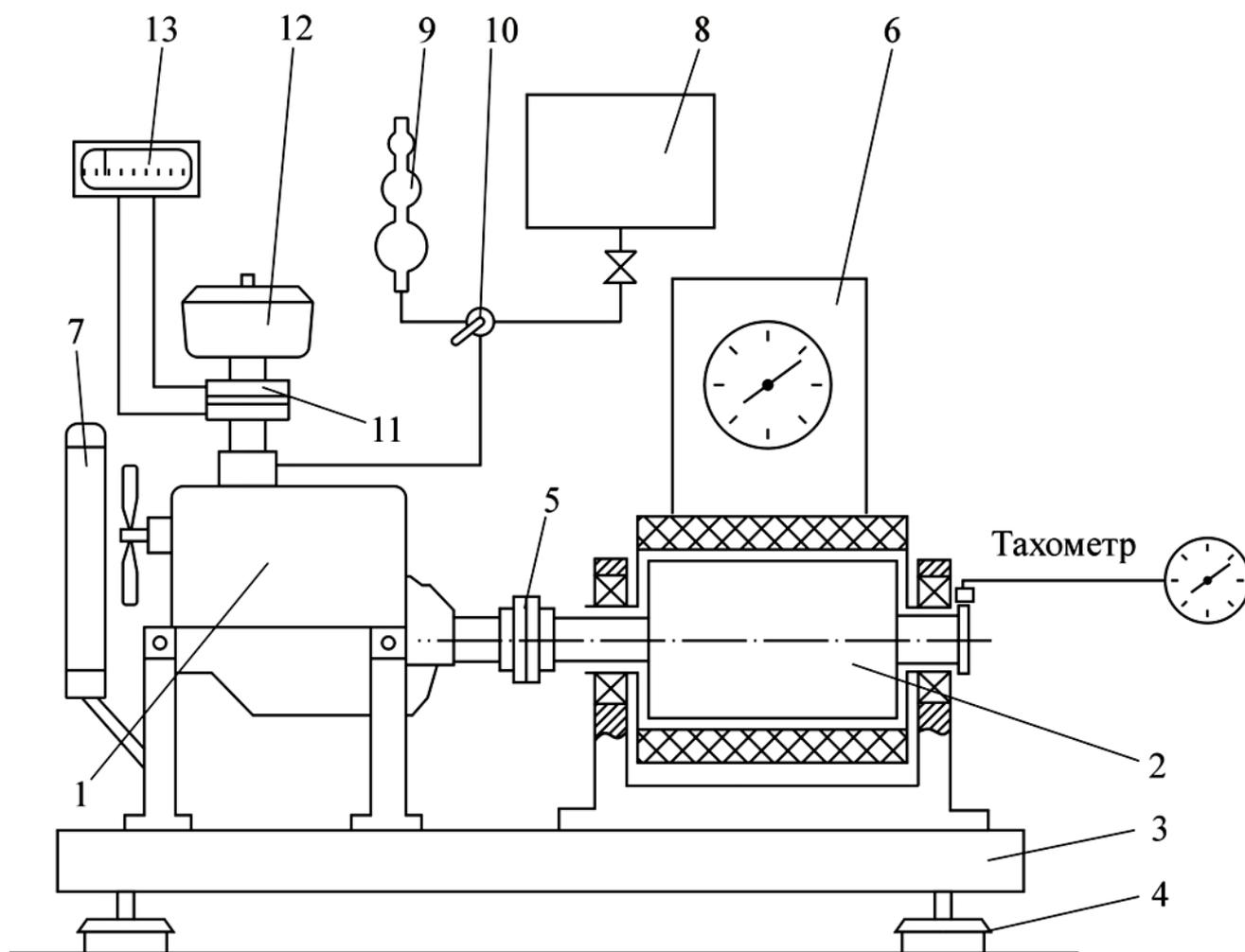
Перечисленные выше измерения должны проводиться с помощью приборов, предварительно поверенных или протарированных, о чем должны иметься акты поверки или протоколы тарировки.

В соответствии с ГОСТ 14846-81 оборудование испытательного моторного стенда должно обеспечивать точность измерений при испытании ДВС в области номинальных значений следующих параметров: крутящего момента $\pm 0,5 \%$, частоты вращения $\pm 0,5 \%$, расходов жидкого и газообразного топлива $\pm 0,5 \%$, температуры атмосферного воздуха на входе в двигатель $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$, температур охлаждающей жидкости, масла и топлива $\pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$, давления масла ± 20 кПа, угла опережения зажигания или начала впрыска топлива $\pm 1^\circ$ у.п.к.в. Эти величины включают неточности применяемых приборов и погрешности отсчета.

2.3 Общее устройство моторного стенда

Испытательный моторный стенд, используемый в лабораторных работах, изготовлен на базе обкаточно-тормозного стенда КИ-5543. Данный стенд предназначен для проведения обкатки и испытания ДВС, номинальный крутящий момент которых находится в пределах от 18 до 37 кгс·м (от 177 до 363 Н·м), а частота вращения коленчатого вала от 1700 до 3000 мин⁻¹.

Устройство испытательного моторного стенда показано на рисунке 2.1.



1 – ДВС; 2 – балансирная машина; 3 – рама стенда; 4 – виброопоры; 5 – упругая муфта; 6 – весовое устройство; 7 – радиатор; 8 – топливный бак; 9 – штихпробер; 10 – трехходовой кран; 11 – мерная диафрагма; 12 – воздухоочиститель; 13 – дифференциальный манометр

Рисунок 2.1 - Схема моторного стенда

Моторный стенд устанавливается на железобетонном фундаменте. ДВС 1 и балансирная машина 2 установлены на раме 3, которая имеет виброопоры 4 для гашения вибраций, передаваемых от стенда на фундамент. Коленчатый вал ДВС и вал балансирной машины соединены через коробку перемены передач между собой валами, между которыми установлена упругая муфта 5, компенсирующая перекосы осей валов.

Крутящий момент на валу ДВС измеряется с помощью весового устройства 6,

соединенного системой рычагов с корпусом балансирной машины, установленным в опорах качения.

ДВС охлаждается с помощью радиатора 7. Однако, при стендовых испытаниях ДВС может устанавливаться без радиатора и вентилятора. В этом случае моторный стенд имеет устройство, обеспечивающее нормальную работу системы охлаждения двигателя.

Топливо поступает в двигатель самотеком из топливного бака 8 или из штихпробера 9 в зависимости от положения шпинделя трехходового крана 10. Штихпробер служит для замера расхода топлива.

Расход воздуха, поступающего в ДВС, измеряется с помощью мерной диафрагмы 11.

Трубопровод для отвода отработавших газов при испытаниях в закрытом помещении не должен иметь противодавления у выходного сечения фланца выпускного трубопровода более 20 мм рт. ст. при работе ДВС на режиме максимальной мощности.

Система зажигания карбюраторного двигателя на стенде подвергается следующим изменениям: центробежный и вакуумный регуляторы угла опережения зажигания отключаются; устанавливается устройство для ручной регулировки угла опережения зажигания с выводом рукоятки управления на пульт управления стенда, а стенд оснащается прибором для измерения величины угла опережения зажигания.

Управление работой стенда и контроль за параметрами работы двигателя осуществляется с пульта управления. На пульт выведены органы управления открытием дроссельной заслонки или положением рейки топливного насоса высокого давления; углом опережения зажигания; приборы, контролирующие работу двигателя: тахометр, термометры, показывающие температуру охлаждающей жидкости и масла, манометр для контроля давления масла в системе двигателя, замок зажигания и др.

Запуск ДВС при испытаниях осуществляется с помощью балансирной машины. Также при испытаниях на других стендах возможен запуск электрическим стартером; стационарным электромотором с редуктором и храповой муфтой, автомати-

чески отсоединяющей электромотор от ДВС после запуска последнего; пусковой рукояткой (для двигателей относительно малого литража и невысокой степени сжатия).

2.4 Общие сведения о тормозных устройствах

Применяемые при испытаниях ДВС различные виды тормозных устройств служат для создания внешнего сопротивления, которое поглощает мощность, развиваемую ДВС. Одновременно тормозные устройства позволяют измерять крутящий момент ДВС, работающего на стенде.

Тормозное устройство любого типа характеризуется следующими параметрами:

- 1) максимальной N_T^{\max} и минимальной N_T^{\min} поглощаемыми мощностями;
- 2) максимальной n_{\max} и минимальной n_{\min} частотами вращения;
- 3) максимальным M_T^{\max} и минимальным M_T^{\min} тормозными моментами;
- 4) пределом регулирования тормоза по частоте вращения, характеризующимся

коэффициентом $\beta_n = \frac{n_{\max}}{n_{\min}}$;

- 5) пределом регулирования тормоза по тормозному моменту, характеризующимся коэффициентом $\beta_M = \frac{M_T^{\max}}{M_T^{\min}}$;

6) пределом регулирования тормоза по мощности, характеризующимся коэффициентом $\beta_N = \frac{N_T^{\max}}{N_T^{\min}}$;

- 7) частотой вращения, при котором тормозное устройство развивает максимальный крутящий момент n_M .

В зависимости от принципа создания тормозного момента различают механические, пневматические, гидравлические, электрические, индукторные и комбинированные тормозные устройства.

Механические тормозные устройства бывают барабанного или дискового типа. Тормозной момент в таких устройствах создается за счет трения фрикционных колодок или дисков о вращающуюся поверхность. Механические тормозные устройства просты по устройству, но имеют существенные недостатки – обладают малой энергоемкостью вследствие затруднений в отводе возникающей при трении теплоты и имеют нестабильные характеристики (изменение коэффициента трения вследствие случайных факторов). Поэтому для испытания автомобильных двигателей их применяют редко.

Пневматические тормозные устройства представляют собой воздушные винты или компрессоры. Мощность в этих тормозных устройствах затрачивается на перемещение и нагрев воздуха. Воздушные тормозные устройства применяются в пневматических тормозных установках, используемых для испытаний тракторных двигателей в полевых условиях.

Гидравлические тормозные устройства просты по конструкции, энергоемки и позволяют регулировать в широких пределах нагрузку и частоту вращения. Действие гидравлического тормозного устройства основано на использовании сил трения между вращающимся ротором и водой. Энергия торможения превращается в тепло, затрачиваемое на нагрев воды. Отвод теплоты осуществляют путем постоянной смены воды, нагревающейся в тормозе, на холодную. Для этого тормозное устройство запитывается от водопроводной сети. Недостатком гидравлических тормозных устройств является изменение тормозного момента вследствие колебаний давления в водопроводной сети.

Электрические тормозные устройства обладают рядом преимуществ по сравнению с механическими и гидравлическими. Они представляют собой электрические машины, вал которых соединяют с валом испытываемого ДВС. Механическая энергия, вырабатываемая ДВС, превращается в электрическую и обычно отдается в общую трехфазную сеть. Кроме этого, электрические машины обратимы и, в

случае питания их от внешней сети, превращаются в электрический двигатель. Электрическое тормозное устройство может работать как в генераторном, так и в двигательном режиме, что позволяет прокручивать коленчатый вал испытуемого ДВС, проводить его холодную обкатку, запускать ДВС, определять величину механических потерь в нем. Электрические тормозные устройства подразделяют на тормозные устройства постоянного и переменного тока. Разновидностью их являются индукторные (или электромагнитные) тормозные устройства.

2.5 Устройство и работа тормозного устройства с электрической балансирной машиной переменного тока

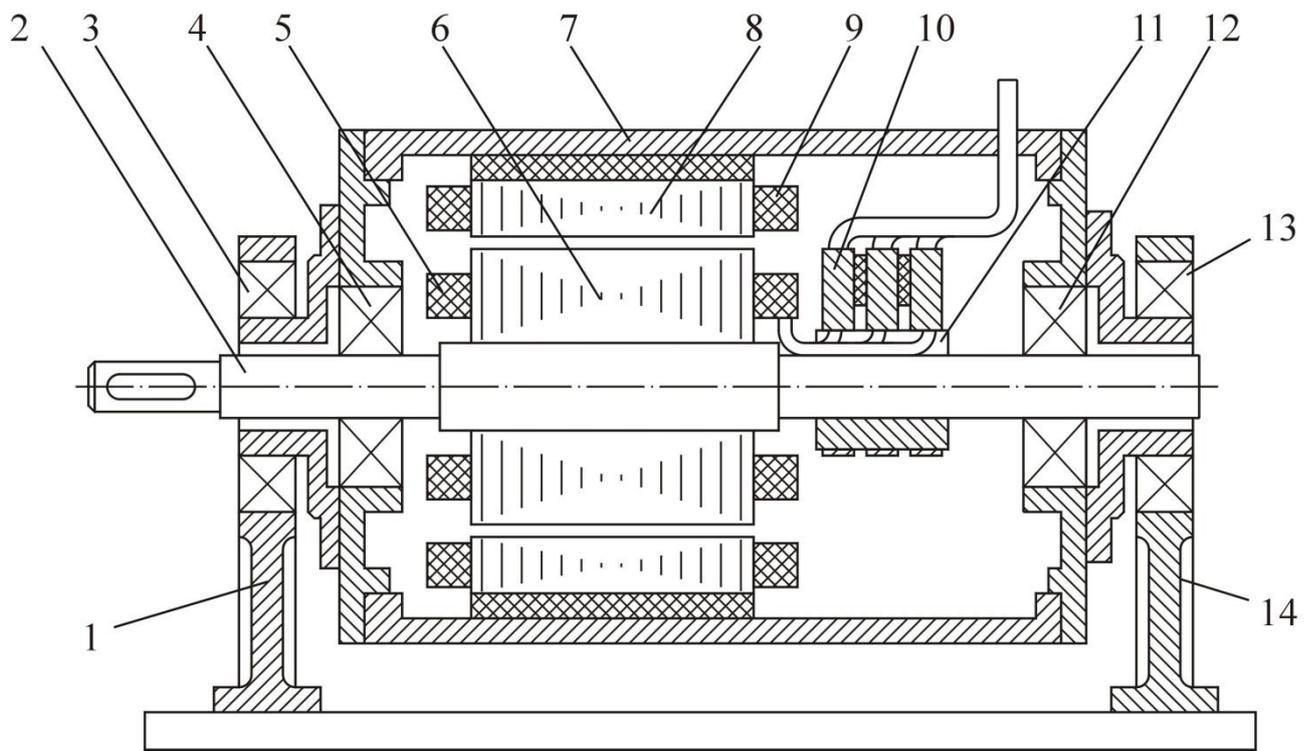
Рассмотрим устройство и принцип работы электрического тормозного устройства на примере обкаточно-тормозного стенда КИ-5543, оснащенного балансирной асинхронной машиной с фазовым ротором типа АКБ.

Балансирная электрическая машина (рисунок 2.2) посредством двух опорных цапф подвешена на опорных стойках 1, 14, что позволяет корпусу машины 7 поворачиваться на некоторый угол в обе стороны.

Эта машина в отличие от асинхронного электродвигателя с короткозамкнутой обмоткой ротора имеет узел контактных колец 11 на валу ротора 2 и щеточный механизм 10, что позволяет присоединять омическое сопротивление к обмотке ротора 5.

Работу асинхронной электрической машины с фазным ротором можно уяснить по ее механической характеристике (рисунок 2.3), представляющей зависимость изменения момента от частоты вращения ротора.

Кривая 1 называется естественной характеристикой. Она соответствует короткому замыканию концов обмотки ротора, выведенных на токосъемные кольца. Кривые 2 и 3 называются искусственными характеристиками.



1, 14 - опорные стойки; 2 - вал ротора; 3, 13 - подшипники статора; 4, 12 - подшипники ротора; 5 - обмотка ротора; 6 - сердечник статора; 7 - корпус статора; 8 - сердечник ротора; 9 - обмотка статора; 10 - щеточный механизм; 11 - узел контактных колец

Рисунок 2.2 - Электрическая балансирная машина переменного тока

Их получают подключением сопротивления к обмотке ротора через токосъемные кольца. Если изменить сопротивление, то искусственных характеристик можно получить множество. Все характеристики пересекаются с осью абсцисс в одной точке, соответствующей синхронной частоте вращения электрической машины n_c .

Она представляет собой частоту вращения магнитного поля статора машины и определяется частотой переменного тока сети и числом пар полюсов статора.

Из графиков видно, что при синхронной частоте вращения крутящий момент на валу машины равен нулю.

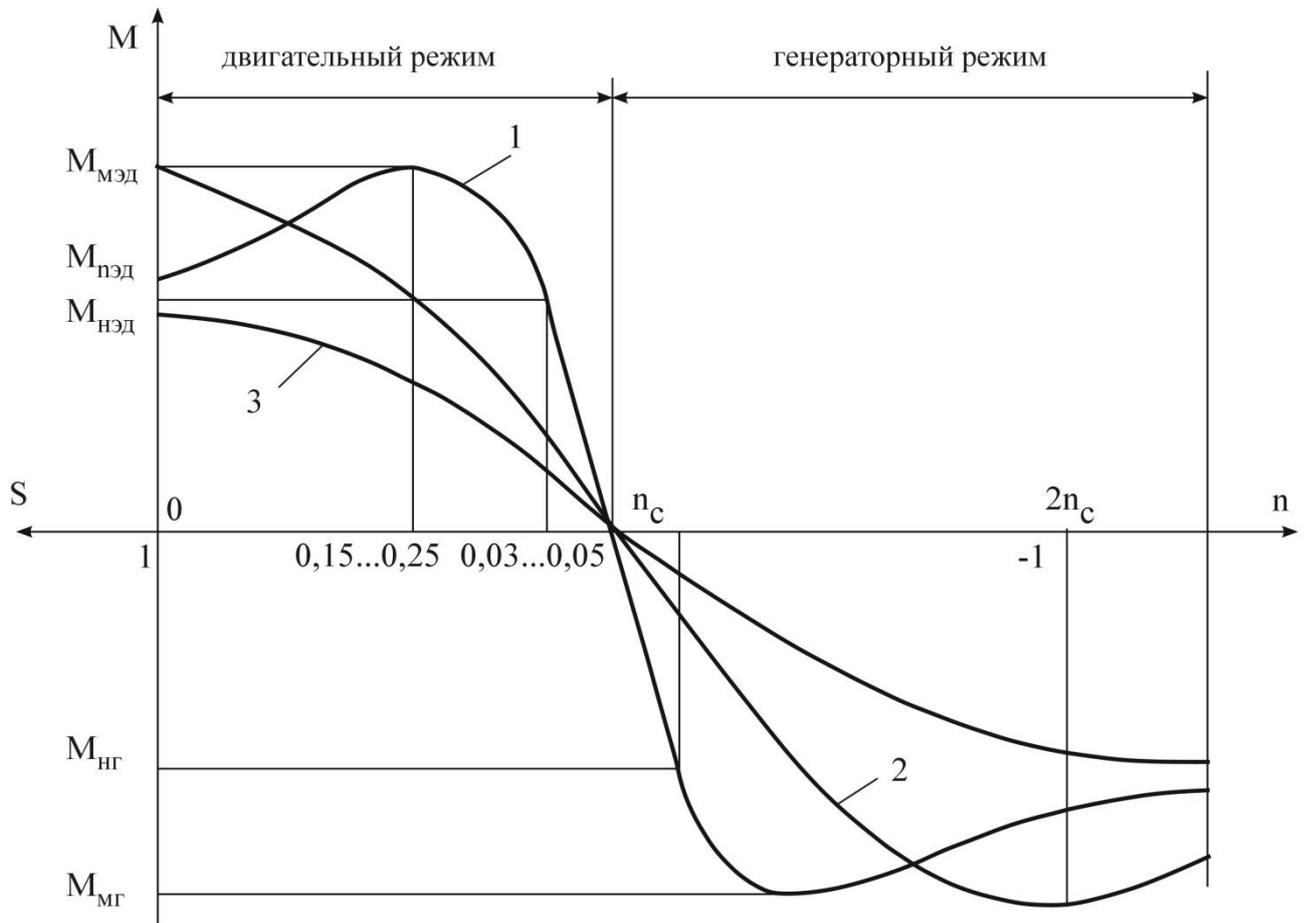


Рисунок 2.3 - Механическая характеристика асинхронной машины

Частота вращения вала машины, работающей как электродвигатель, меньше синхронной частоты и характеризуется коэффициентом скольжения S :

$$S = \frac{(n_c - n)}{n_c} = 1 - \frac{n}{n_c}, \quad (2.1)$$

где n – фактическая частота вращения.

При $S = 1$ ротор электродвигателя не вращается. Это может быть в случае, если фазовая обмотка ротора разомкнута или крутящий момент машины меньше пускового момента ДВС.

Различают три значения крутящего момента при работе машины в качестве электродвигателя: номинальный, максимальный и пусковой.

Под номинальным крутящим моментом $M_{нэд}$ понимают такое его максимальное значение, при котором машина как электродвигатель может работать продолжительное время при короткозамкнутой обмотке ротора и допустимой температуре нагрева. Это соответствует коэффициенту скольжения $S = 0,03 \dots 0,05$.

Максимальный крутящий момент $M_{мэд}$ в 1,8 – 2,3 раза больше номинального и достигается при коэффициенте скольжения 0,15 – 0,25. Характерно, что максимальный момент для естественной и всех искусственных характеристик равновелик – верхние точки кривых характеристик лежат на прямой линии, параллельной оси абсцисс.

Пусковым моментом $M_{пэд}$ называют крутящий момент при трогании машины (при $S = 1$) под нагрузкой. При коротком замыкании обмотки ротора он может быть меньше номинального (характеристика 1), а при некоторой величине сопротивления, включенного в обмотку ротора, может достигать максимального значения (характеристика 2). Это свойство асинхронной машины с фазовой обмоткой ротора используется в обкаточно-тормозном стенде для запуска обкатываемых двигателей.

Для получения генераторного режима ротор машины должен вращаться с частотой, большей синхронной. При этом электрическая машина создает тормозной момент на валу ДВС.

Момент в генераторном режиме по частоте вращения изменяется аналогично. По абсолютной величине скольжение, соответствующее номинальному $M_{нг}$ и максимальному $M_{мг}$ моментам в генераторном режиме, будет практически как и в двигательном режиме.

При $S = -1$ частота вращения ротора становится вдвое больше синхронной. Обычно этот скоростной режим принимают за максимальный. Дальнейшее увеличение частоты вращения может привести к выходу из строя обмоток ротора из-за больших центробежных сил.

Таким образом, испытания и обкатку ДВС под нагрузкой возможно проводить только когда электрическая балансирная машина работает в генераторном режиме при частоте вращения коленчатого вала выше синхронной. Холодная обкатка и про-

крутка коленчатого вала ДВС выполняется на частотах, меньших синхронной частоты.

При работе в генераторном режиме электрическая машина превращает механическую работу, совершаемую ДВС, в электрическую энергию, до 75 % которой поступает в сеть.

Асинхронная электрическая машина с фазным ротором включается в трехфазную электрическую сеть по схеме, приведенной на рисунке 2.4.

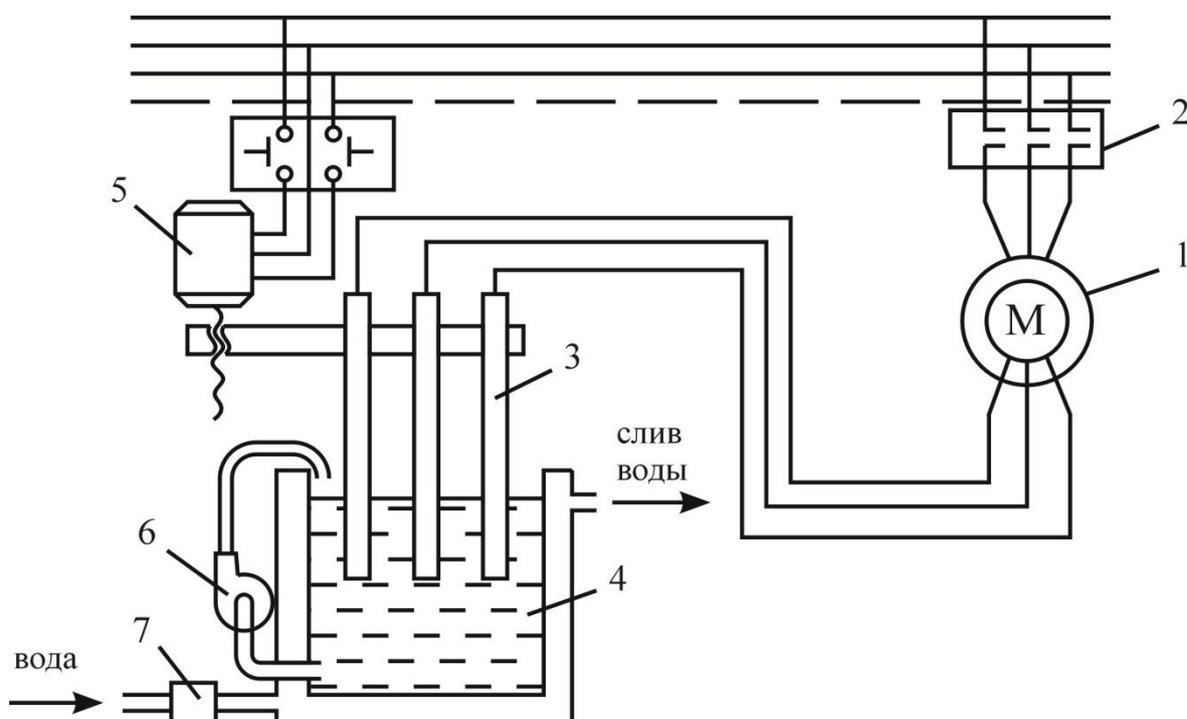


Рисунок 2.4 - Схема подключения балансирной электрической машины

Обмотка статора балансирной машины 1 включается в сеть магнитным пускателем 2. Обмотки ротора подключены к электродам 3 жидкостного реостата 4, который предназначен для регулирования нагрузки и частоты вращения ротора электрической машины при ее работе как в двигательном, так и в генераторном режиме.

Реостат состоит из бака емкостью 300 л, наполненного от 1 до 3 % водным раствором кальцинированной соды. Изменение положения электродов реостата осуществляется исполнительным механизмом 5 (редуктор с приводом от электродвигателя), управляемым дистанционно.

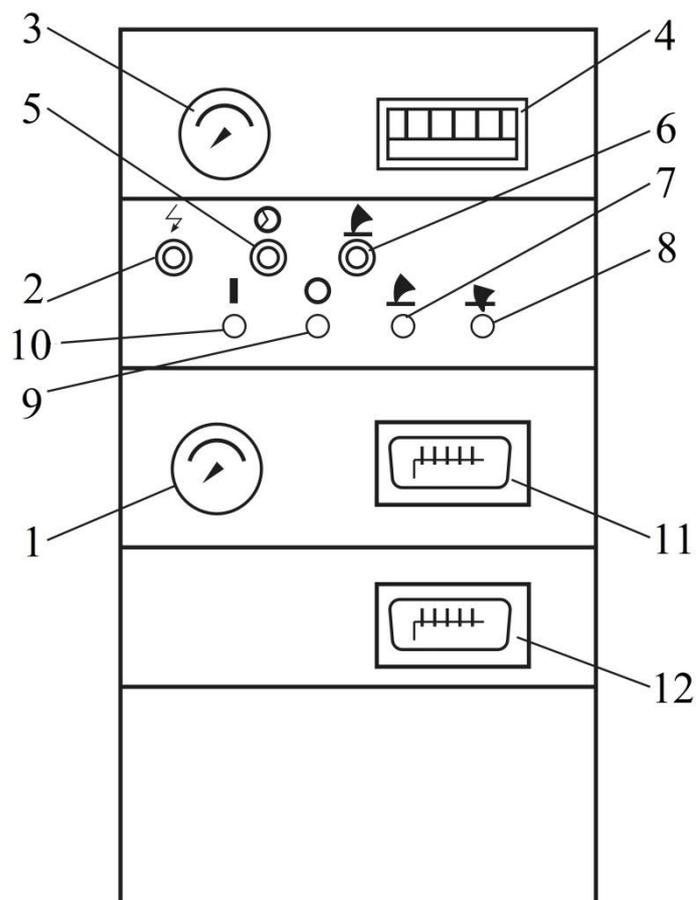
Для отключения электродвигателя исполнительного механизма в крайних положениях электродов на исполнительном механизме установлены концевые выключатели. По мере погружения электродов площадь контакта их с раствором увеличивается, а сопротивление уменьшается. Минимальное сопротивление жидкостного реостата зависит не только от величины площади контакта электродов с раствором, но также и от длины пути прохождения тока в растворе, концентрации раствора и его температуры.

Для исключения неравномерного нагрева раствора и его интенсивного испарения в области электродов, а также выпадения в осадок частиц кальцинированной соды раствор перемешивается центробежным насосом 6.

С целью охлаждения раствора бак реостата имеет двойные стенки, в пространство между которыми подается проточная вода через регулятор температуры 7, состоящий из термометрической системы и клапана. Регулятор поддерживает температуру раствора в пределах от 50 до 60 °С.

Управление работой стенда осуществляется дистанционно с приборной стойки, на которой размещены органы дистанционного управления, контрольно - измерительные и сигнальные приборы (рисунок 2.5).

Сигнальная лампа 2 на приборной стойке загорается при подаче напряжения в электрическую цепь стенда. При нажатии на кнопку 10 подается напряжение на обмотку статора машины и загорается сигнальная лампа 5. При нажатии на кнопку 8 электроды реостата погружаются в раствор; при нажатии на кнопку 7 электроды выводятся из раствора. При нахождении электродов в крайнем верхнем положении загорается сигнальная лампа 6. В электрической схеме стенда предусмотрен автоматический вывод электродов реостата из раствора при выключении электромашины кнопкой 9.



1 - манометр давления масла; 2, 5, 6 - сигнальные лампы; 3 - тахометр стрелочный; 4 - тахометр цифровой; 7, 8, 9, 10 - кнопки управления; 11 - логометр температуры масла; 12 - логометр температуры воды

Рисунок 2.5 - Стойка приборная

2.6 Контрольные вопросы

1. Какие основные параметры работы ДВС возможно измерять на стенде?
2. Какую точность измерения параметров работы ДВС должно обеспечивать оборудование испытательного стенда?
3. Расскажите общее устройство тормозного стенда?
4. Какими параметрами характеризуются тормозные устройства любого типа?
5. Какие существуют виды тормозных устройств?

6. Расскажите устройство электрической балансирной машины переменного тока?
7. Что характеризует коэффициент скольжения?
8. Что понимается под номинальным, максимальным и пусковым крутящими моментами электродвигателя?
9. Какова схема подключения балансирной электрической машины в сеть? Назначение и конструктивные особенности жидкостного реостата?
10. Какие органы управления и контроля расположены на приборной стойке испытательного моторного стенда?

3 Лабораторная работа № 3. Измерительные устройства испытательного моторного стенда

3.1 Общие положения

Целью работы является изучение и принципа действия измерительных устройств испытательного моторного стенда.

Задачами работы являются:

- знание назначения и применения измерительных устройств испытательного моторного стенда;
- получение представления о принципе работы основных измерительных устройств;
- умение применять на практике измерительные устройства при проведении испытаний ДВС.

3.2 Весовое устройство

Весовое устройство предназначено для измерения вращающего крутящего момента или момента сопротивления прокручиванию коленчатого вала ДВС при его испытаниях на стенде.

Конструктивно статор электрической балансирной машины тормозного устройства стенда установлен на роликовых опорах для обеспечения возможности его перемещения вокруг своей оси. Так как замер установившегося крутящего момента сводится к измерению силы, приложенной к определенному плечу, в данном случае измеряется сила, приложенная к кронштейну, смонтированному на статоре тормоза. Из разнообразных типов весовых устройств, предназначенных для этой цели, наибольшее применение получили маятниковые и квадрантные, первый из которых, установленный на обкаточно-тормозном стенде КИ-5543, показан на рисунке 3.1.

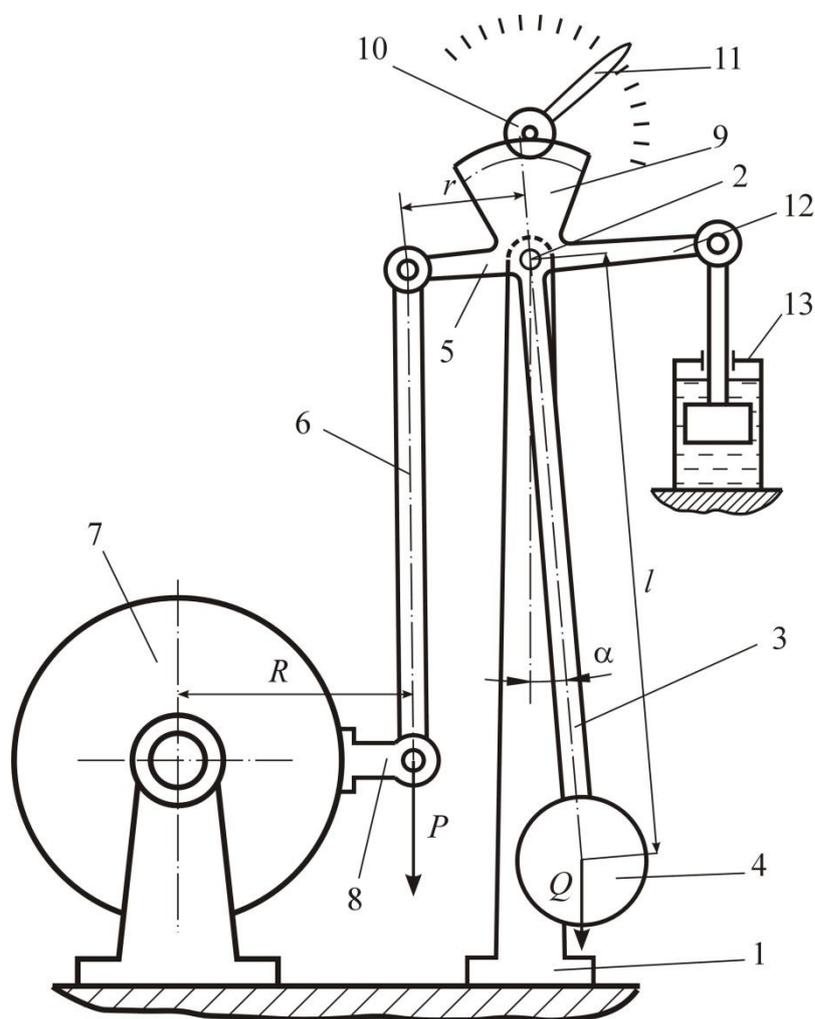


Рисунок 3.1 – Весовое устройство маятникового типа

Маятниковое весовое устройство смонтировано на стойке 1. В верхней части стойки на оси 2 закреплены: рычаг 3 с уравновешивающим грузом 4; рычаг 5, соединенный через тягу 6 с закрепленным на корпусе балансирной машины 7 кронштейном 8; зубчатый сектор 9, входящий в зацепление с малой шестерней 10, на оси которой установлена стрелка 11; рычаг 12, соединенный с демпфирующим устройством 13.

Маятниковый динамометр представляет собой двуплечий рычаг, к плечу «*r*» которого прикладывается измеряемая сила *P*, а на плече «*l*» закрепляется уравновешивающий груз *Q*. Равновесие двуплечего рычага достигается при условии:

$$P \cdot r \cdot \cos \alpha = Q \cdot l \cdot \sin \alpha, \quad (3.1)$$

откуда:

$$P = Q \cdot \frac{l}{r} \cdot \operatorname{tg} \alpha . \quad (3.2)$$

Реактивный момент M , возникающий на статоре балансирной машины, равен:

$$M = P \cdot R = Q \cdot \frac{l}{r} \cdot R \cdot \operatorname{tg} \alpha , \quad (3.3)$$

где R – расстояние от оси балансирной машины до оси крепления тяги 6 на кронштейне 8.

Таким образом, измеряемый тормозной момент теоретически будет пропорционален тангенсу угла отклонения маятника.

Вследствие зазоров в шарнирах и трения в них условия равновесия нарушаются, поэтому шкала маятниковых весов наносится по результатам тарировки.

Для быстрого успокоения колебаний маятника, возникающих при резких изменениях нагрузки и крутящего момента, весовое устройство снабжено гидравлическим демпфирующим устройством 13, которое представляет собой цилиндр, заполненный маслом, с поршнем. Успокаивающее действие демпфера обеспечивается гидравлическим сопротивлением при перетекании масла, вызванном колебаниями поршня, между верхней и нижней полостями цилиндра через два отверстия в поршне и зазор между цилиндром и поршнем.

В зависимости от режима работы электрической машины (двигательный или генераторный), корпус поворачивается по ходу часовой стрелки или против, соответственно отклоняются груз и показывающая стрелка. Поэтому на циферблате весового механизма нанесены от нулевого деления две шкалы: одна для двигательного режима, другая – для генераторного.

3.3 Устройство для измерения расхода топлива

Особенностью измерения расхода топлива автомобильных двигателей является значительная разница в количестве потребляемого топлива в зависимости от режима работы ДВС. Так, на режимах полных нагрузок часовые расходы составляют от 20 до 50 кг/ч и снижаются до 0,5 – 2,0 кг/ч на холостых оборотах.

Существует два способа измерения расхода топлива: по его массе (массовый способ) и по его объему (объемный способ).

Массовый способ применяется преимущественно для дизельных двигателей и заключается в измерении с помощью секундомера времени, за которое определенная доза топлива поступает из сосуда, установленного на весах, в двигатель. Масса дозы топлива определяется по изменению показаний весов.

Массовый расход топлива (в кг/ч) в этом случае определяется по формуле:

$$G_T = 3,6 \frac{\Delta G}{\Delta T}, \quad (3.4)$$

где ΔG – доза топлива, израсходованная двигателем, г;

ΔT – время, за которое израсходована данная доза, с.

Второй способ, объемный, применяется преимущественно для бензиновых двигателей и осуществляется с помощью специального устройства – штихпробера (рисунок 3.2). Основу его составляют шаровидные мерные емкости (от двух до шести) 1, соединенные между собой узкими протоками. Обычно нижние емкости большего размера, предназначенные для замера больших расходов топлива, а верхние меньшего размера, для малых расходов топлива. Мерные объемы протарированы и на узких протоках сделаны риски (отметки), ограничивающие объемы.

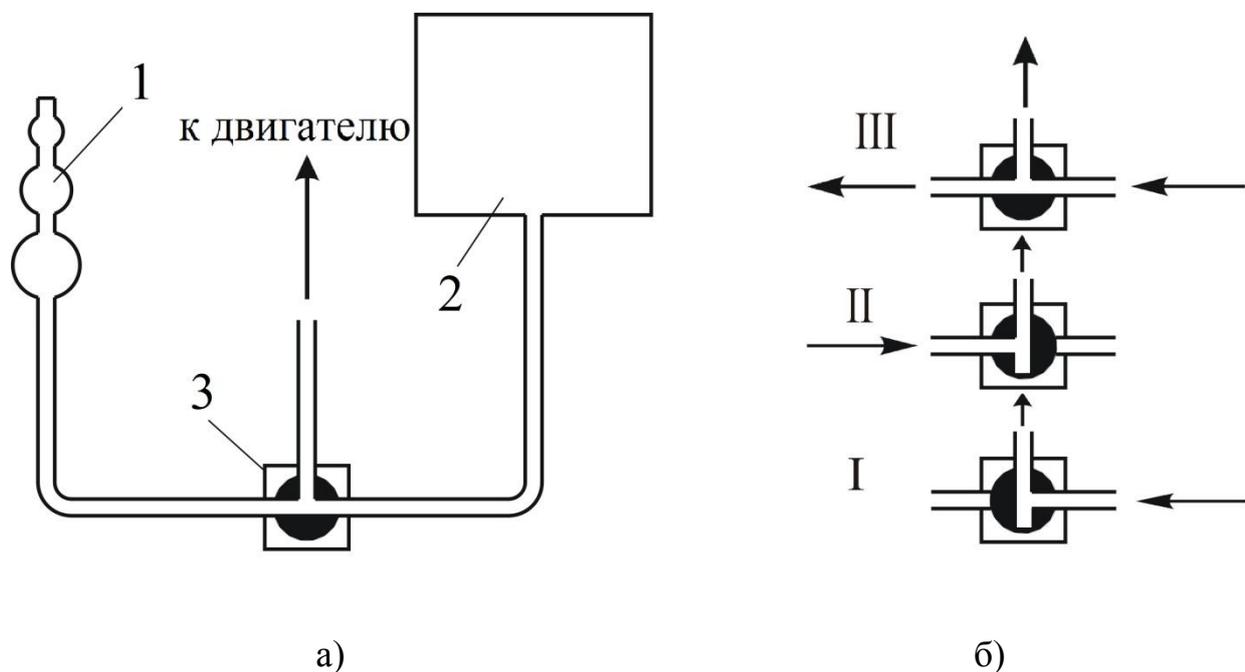


Рисунок 3.2 – Схема измерения расхода топлива объемным способом: а) схема подключения штихпробера к системе питания двигателя, б) режимы работы трехходового крана

Мерные емкости 1 (рисунок 3.2, а) соединены с топливным баком 2 и двигателем через трехходовой кран 3, который позволяет переключать питание двигателя либо непосредственно из бака 2, либо из мерных емкостей 1.

В положении I (рисунок 3.2, б) топливо из бака поступает непосредственно к двигателю; в положении II – бак отключен и двигатель питается из мерных емкостей; в положении III – топливо поступает одновременно к двигателю и в мерные емкости.

Определение расхода топлива по этому методу сводится к измерению секундомером времени ΔT , за которое топливо расходуется из мерного объема (между метками). Часовой расход топлива (в кг/ч) в этом случае определяется по формуле:

$$G_T = 3,6 \frac{\Delta V}{\Delta T} \rho_T, \quad (3.5)$$

где ρ_T – плотность топлива, г/см³;

ΔV – израсходованный объем топлива, см³.

3.4 Устройство для измерения расхода воздуха

Поток воздуха в двигателях внутреннего сгорания имеет пульсирующий характер, а величина расхода воздуха значительно меняется в зависимости от степени открытия дроссельной заслонки (для карбюраторных двигателей), что вызывает дополнительные трудности при измерении расхода воздуха.

Расход воздуха определяют непосредственным измерением его объема, протекающего через мерное устройство, или же косвенным путем – измерением определенных параметров потока, характеризующих среднюю или мгновенную скорость его движения.

Для снижения влияния пульсаций устройство для замера расхода воздуха снабжают ресивером (специальным резервуаром, размещенным между испытываемым двигателем и измерительным прибором). Объем ресивера рекомендуется выбирать из расчета не менее 200-кратного объема одного цилиндра испытываемого двигателя. Эффективность гашения пульсаций возможно повысить, если одну из стенок ресивера полностью или частично выполнить из листовой резины.

Измерение расхода воздуха путем дросселирования потока основано на измерении его давления при прохождении суженного сечения канала. Для дросселирования каналов применяются нормальные диафрагмы, сопла и трубы Вентури. Установленные в трубопровод постоянного проходного сечения, они создают сопротивление прохождению воздуха, приводящее к местному увеличению скорости потока и снижению давления. По установившемуся перепаду давления, возникающему в зоне сужения канала, можно определить кинетическую энергию, скорость и, следовательно, расход воздуха.

Схема устройства для измерения расхода воздуха при помощи диафрагмы

приведена на рисунке 3.3. Устройство состоит из насадки 1, размещенной между воздухоочистителем 2 и карбюратором 3. Проходное сечение насадки 1 перекрывает диафрагма 4 с отверстием, выполненным в соответствии с требованиями стандарта, предъявляемыми к нормальным диафрагмам. Пространства над и под диафрагмой соединены трубопроводами с дифференциальным манометром 5.

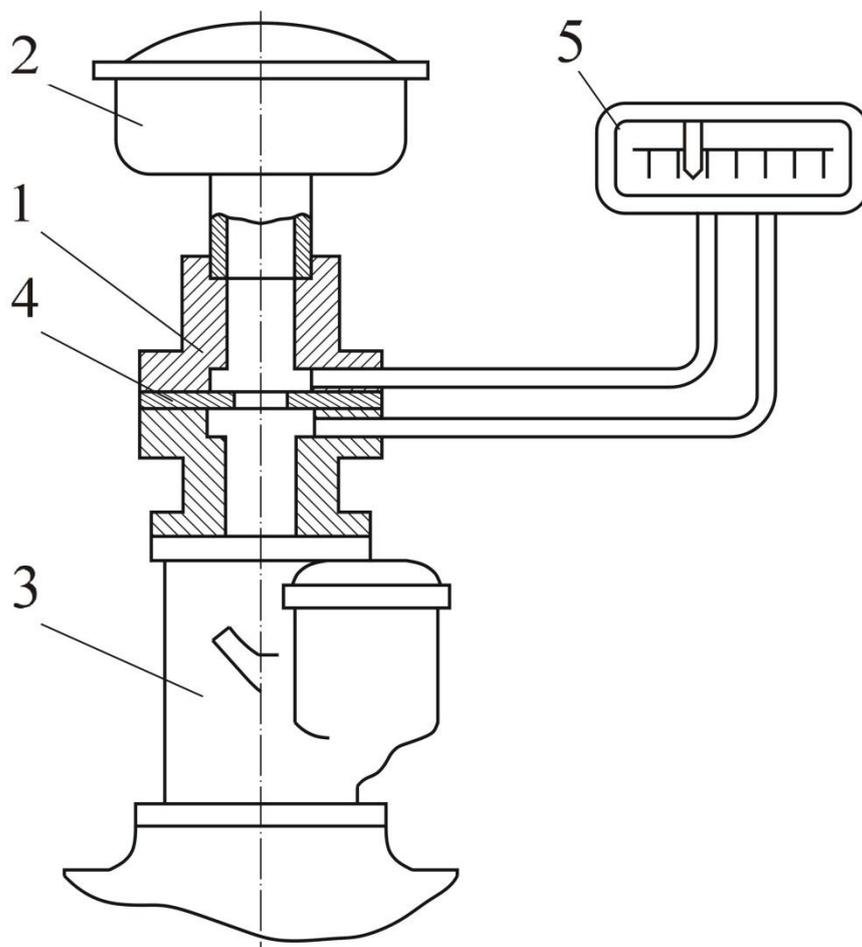


Рисунок 3.3 – Устройство для измерения расхода воздуха

Расход воздуха (кг/ч) определяется по перепаду давления Δh_B на диафрагме, регистрируемому дифференциальным манометром, по формуле:

$$G_B = A \cdot \sqrt{\Delta h_B \cdot \rho_B}, \tag{3.6}$$

где A – постоянная для данной диафрагмы, определяемая расчетом или тарировкой

(для насадки с диаметром проходного сечения 60 мм и диаметром отверстия в диафрагме 40 мм $A = 13,55$);

ρ_B – плотность воздуха, кг/м³.

Плотность воздуха ρ_B определяется по формуле:

$$\rho_B = 0,464 \cdot \frac{B_0}{T_0}, \quad (3.7)$$

где B_0 – барометрическое давление, мм рт. ст.;

T_0 – температура окружающего воздуха, К.

3.5 Устройства для измерения частоты вращения коленчатого вала двигателя

Частоту вращения коленчатого вала двигателя измеряют приборами двух типов: тахометрами, показывающими непосредственное число оборотов в минуту, и суммарными счетчиками, фиксирующими число оборотов за определенный отрезок времени.

По принципу действия тахометры делятся на центробежные, электрические, магнитные или индукционные, стробоскопические и электронные тахометры.

На приборной стойке испытательного моторного стенда (рисунок 2.5) размещены стрелочный 3 и цифровой 4 тахометры.

3.6 Устройства для измерения давлений и температур

При испытаниях автомобильных двигателей для измерения давления и разре-

жения широко применяются ртутные или механические барометры (для измерения атмосферного давления), водяные или ртутные пьезометры, пружинные манометры.

Пружинные манометры используют для измерения давления масла в системе смазки и давления топлива в системе питания дизельных двигателей.

Для измерения температуры охлаждающей жидкости применяют приборы различных принципов действия: термометры расширения (ртутные, спиртовые и др.); манометрические термометры; электрические термометры сопротивления; термоэлектрические пирометры. Температура окружающей среды измеряется ртутным или спиртовым термометром, расположенным на расстоянии от 2 до 3 м от двигателя. При этом следует предохранять термометр от нагрева инфракрасным излучением от работающего ДВС.

Температура отработавших газов и газов во впускном коллекторе обычно измеряется при помощи термопар (термоэлектрические пирометры). Принцип действия их основан на использовании термоэлектрического эффекта, возникающего при нагревании спаянных или сваренных концов двух проводов, изготовленных из разных металлов, например, хромель – копель, медь – константан, платина – родий и др. Кроме датчика – термопары необходим еще измеритель, в качестве которого обычно используют гальванометр (логометр) или цифровые измерительные приборы с функцией замера температуры от термопар (мультиметры).

На приборной стойке испытательного моторного стенда (рисунок 2.5) размещены: манометр 1 давления масла; логометр 11 температуры масла; логометр 12 температуры охлаждающей жидкости.

3.7 Устройство для измерения угла опережения зажигания

При испытании карбюраторных ДВС часто возникает необходимость определять угол опережения зажигания. Для этой цели применяются приборы, основанные на использовании стробоскопического эффекта.

При проведении лабораторных работ применяется прибор автомобильный стробоскопический СТБ 04.01 «ЛУЧ» (в дальнейшем «стробоскоп»), который представляет собой осветительный прибор с импульсным источником света и предназначен для проверки момента зажигания рабочей смеси и измерения угла опережения зажигания карбюраторных четырехтактных ДВС с напряжением электрооборудования 12 В постоянного тока.

Подключение и отключение стробоскопа производится только при неработающем двигателе.

Категорически запрещается прикосновение к частям, освещаемым стробоскопической лампой, кажущимся неподвижными вследствие стробоскопического эффекта.

Проверка угла опережения зажигания производится стробоскопическим методом по контрольным меткам, имеющимся на шкиве коленчатого вала и крышке привода механизма газораспределения (на примере двигателей ВАЗ-2101...2106). Метки выполнены в виде делений в градусах (как правило, метка, соответствующая 0 ° у.п.к.в., имеет большую длину по сравнению с остальными) на крышке, а метка на шкиве – в виде небольшой прорези на поверхности шкива. При совмещении прорези на шкиве с нулевым делением на крышке поршень первого цилиндра будет находиться в ВМТ.

Для получения стробоскопического эффекта используется импульсная лампа, вспышки которой синхронизированы с моментом искрообразования в первом цилиндре. В результате стробоскопического эффекта вращающаяся метка кажется неподвижной. Положение этой метки относительно метки на крышке ДВС показывает угол опережения зажигания.

Внешний вид стробоскопа СТБ 04.01 «ЛУЧ» приведен на рисунке 3.4. Корпус 1 стробоскопа имеет прямоугольную форму, с одной стороны которого с торца расположен оптический элемент 2 лампы. С другой стороны корпуса выходят три про-

вода, два из которых (3 и 4) предназначены для питания и оканчиваются зажимами типа «крокодил», а третий провод 5 на конце имеет зажим с индукционным датчиком, который крепится к высоковольтному проводу системы зажигания первого цилиндра. На губках зажимов 3 и 4 имеется маркировка полярности.

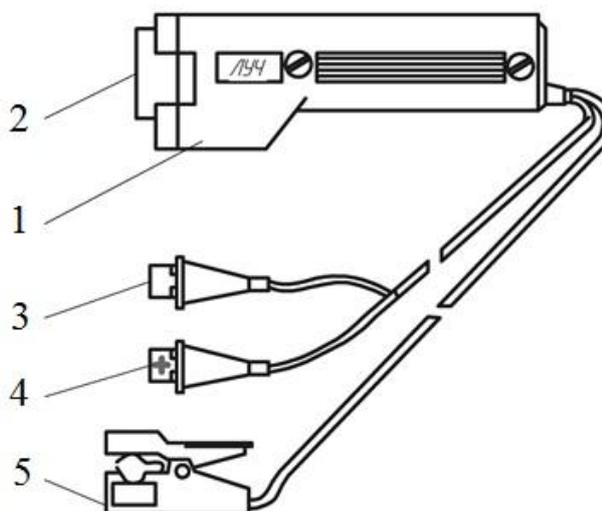


Рисунок 3.4 – Стробоскоп автомобильный СТБ 04.01 «ЛУЧ»

Для подготовки к работе необходимо присоединить зажим «+» к положительной клемме, а зажим «-» к отрицательной клемме аккумуляторной батареи и надеть датчик на высоковольтный провод первого цилиндра.

3.8 Устройства для определения токсичности и дымности отработавших газов

Для определения токсичности отработавших газов бензиновых ДВС используются специальные приборы, называемые газоанализаторами. Для определения дымности отработавших газов дизельных ДВС применяют дымомеры. Данные приборы выпускаются многими производителями, как отечественными, так и зарубежными производителями.

Рассмотрим устройство и принцип работы газоанализаторов на примере 4-х компонентного газоанализатора «Инфракар М». Внешний вид представлен на рисунке 3.5.

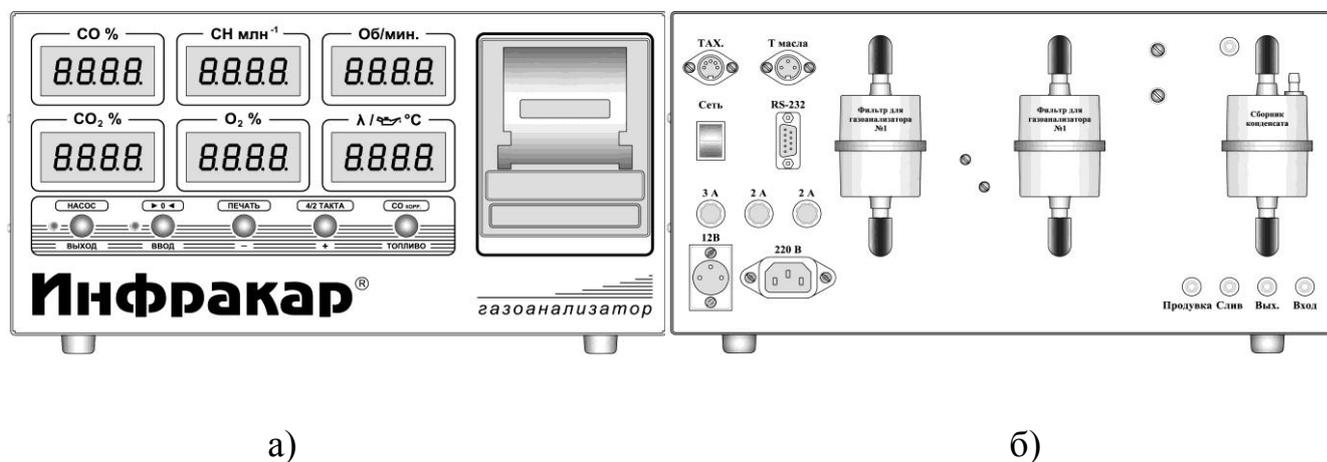


Рисунок 3.5 – Внешний вид газоанализатора «Инфракар М»: а) вид спереди; б) вид сзади

Газоанализатор «Инфракар М» предназначен для измерения объемной доли оксида углерода (CO), углеводородов (в пересчете на гексан), диоксида углерода (CO₂), кислорода (O₂) в отработавших газах автомобилей с бензиновыми двигателями.

В газоанализаторе имеется канал для измерения частоты вращения коленчатого вала двигателей автомобилей, осуществляется расчет коэффициента избытка воздуха λ . Тахометр предназначен для измерения и отображения в цифровом виде частоты вращения коленчатого вала двух и четырехтактных двигателей внутреннего сгорания, с бесконтактной и контактной одноискровой системой зажигания с высоковольтным распределением.

Прибор состоит из системы пробоотбора и пробоподготовки, блока измерительного (БИ) и блока электронного (БЭ).

Конструктивно газоанализатор выполнен в металлическом корпусе, предназначенном для установки на горизонтальной поверхности. Система пробоотбора и пробоподготовки газоанализатора включает газозаборный зонд, пробоотборный

шланг, бензиновый фильтр, 2-х камерный насос, клапан пневматический, каплеотбойник, 3 фильтра №1 для газоанализатора (фильтры тонкой очистки).

Каплеотбойник в нижней части соединен со штуцером **СЛИВ** для автоматического слива конденсата побудителем расхода. Принцип действия датчиков объемной доли (CO, CO₂, углеводородов) – оптико-абсорбционный. Принцип действия датчика измерения концентрации кислорода – электрохимический. Принцип действия датчика частоты вращения коленчатого вала основан на индуктивном методе определения частоты импульсов тока в системе зажигания.

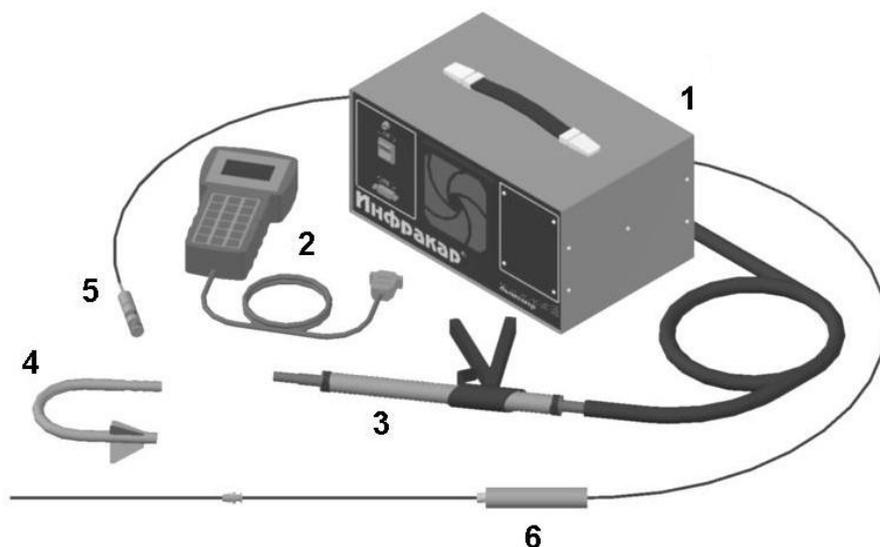
Блок измерительный содержит оптический блок, в котором имеются излучатель, измерительная кювета, 4 пирозлектрических приемника излучения, перед которыми размещены 4 интерференционных фильтра. Излучение модулируется обтюратором. В измерительном блоке также размещен электрохимический датчик кислорода. Блок электронный предназначен для измерения выходных сигналов первичных преобразователей газоанализаторов «Инфракар М», обработки и представления результатов измерения. Газоанализатор через разъем RS 232 кабелем соединяется с компьютером через COM-порт для вывода на экран и сохранения данных об измерении в компьютере.

Перед началом измерений установить пробозаборник прибора в выхлопную трубу на глубину не менее 300 мм от среза (до упора) и зафиксировать его зажимом. Произвести настройку нулей всех каналов нажатием кнопки ►0◄. При этом должно быть обеспечено поступление чистого воздуха, не загрязненного выбросами CO₂, CO и CH.

Включить **Насос** нажатием кнопки. Газоанализатор готов к работе. После окончания режима настройки нуля (чувствительности - по каналу O₂) газоанализатор переходит в режим измерения концентраций всех каналов, а также частоты вращения коленчатого вала двигателя, производится расчет коэффициента λ . Показания следует фиксировать через 40...60 с после начала измерения. Нажатием кнопки ПЕЧАТЬ производится распечатка измеренных величин с указанием реального времени. По окончании замеров вынуть пробозаборник из выхлопной трубы, отсоединить тахометр.

Рассмотрим устройство и принцип работы дымомеров для определения дымности отработавших газов дизельных двигателей на примере дымомера «Инфракар Д».

Дымомер состоит из оптического блока, пульта управления и пробоотборного устройства (рисунок 3.6).



1 – оптический блок, 2 – пульт управления, 3 – газозаборный зонд с пробоотборным шлангом, 4 – зонд для вертикально расположенной выпускной системы, 5 – датчик частоты вращения коленчатого вала, 6 – датчик температуры масла

Рисунок 3.6 – Общий вид дымомера «Инфракар Д»

В дымомере использован метод просвечивания столба отработавших газов источником света и его поглощение. Длина траектории лучей света называется эффективной оптической базой L . Эффективная оптическая база дымомера $L = 0,43$ м.

Источник света и фотоприемник имеют спектральную характеристику, соответствующую кривой человеческого глаза в диапазоне от 430 до 680 нм.

Сигнал фотоприемника, пропорциональный степени поглощения однородного по плотности дыма, обрабатывается контроллером и отображается на дисплее в виде коэффициента поглощения светового потока K , м^{-1} , и коэффициента ослабления све-

тового потока N , %. Оптическая система защищена от возможных загрязнений принудительным обдувом.

Конструктивно оптический блок выполнен в виде прямоугольного каркаса с защитным кожухом, связанный кабелем связи с переносным пультом управления. Газовый тракт состоит из газозаборного зонда с пробоотборным шлангом, входного штуцера, переключающего клапана и вентилятора.

Для контроля дымности необходимо установить зонд для отбора отработавших газов из выпускной трубы в дымомер и запустить двигатель.

Замеры дымности отработавших газов проводятся при работе дизеля на режиме холостого хода, при свободном ускорении и на максимальной частоте вращения коленчатого вала.

При замере на режиме свободного ускорения необходимо переместить равномерно рычаг подачи топлива за 0,5 – 1 с до упора, удерживать рычаг в этом положении 2 – 3 с и вернуть его в начальное положение и через 8 – 9 с приступить к повторному измерению. В нижней строке дисплея появится бегущая линия для выдержки времени цикла измерения. Циклы свободного ускорения повторяются не менее 6 раз. После первого цикла измерения произойдет автоматический переход к следующему циклу измерения и обновится экран. После шестого цикла на дисплее появится результат измерения.

При замере на максимальной частоте вращения коленчатого вала двигателя запуск измерения происходит только при превышении установленного порога дымности (5 %). Время измерения составляет 12 секунд с момента превышения порога. Необходимо перевести рычаг управления подачей топлива до упора и удерживать его в этом положении пока экран не сменится на вывод результата.

3.9 Контрольные вопросы

1. Для чего предназначено весовое устройство? Каковы основы конструкции и принцип его работы?
2. Какие существуют способы измерения расхода топлива и их особенности?
3. Каковы устройства и принцип работы устройства для измерения расхода воздуха?
4. Какие существуют устройства для измерения частоты вращения коленчатого вала двигателя?
5. Какие устройства применяют для измерения давлений и температур?
6. Каково назначение и принцип работы стробоскопа?
7. Каково назначение, устройство и принцип работы газоанализатора?
8. Каково назначение, устройство и принцип работы дымомера?

4 Лабораторная работа № 4. Согласование характеристик тормоза испытательного моторного стенда и ДВС

4.1 Общие положения

Целью работы является изучение способа построения характеристик испытательных моторных стендов на основе анализа характеристик электрических машин и умение сопоставлять их с характеристиками ДВС.

Задачами работы являются:

- получение представления об обкаточно-тормозных характеристиках испытательных моторных стендов;
- умение построения обкаточно-тормозных характеристик стенда;
- умение построения внешней характеристики тормоза и согласования ее с характеристиками ДВС.

4.2 Обкаточно-тормозная характеристика моторного стенда

Обкаточно-тормозной характеристикой моторного стенда называется зависимость крутящего и тормозного моментов от частоты вращения ротора электродвигателя.

Обкаточно-тормозная характеристика испытательного моторного стенда с асинхронной балансирной машиной состоит из двух частей (рисунок 4.1): обкаточной (левая часть) – для работы машины в двигательном режиме и тормозной (правая часть) – для работы машины в генераторном режиме.

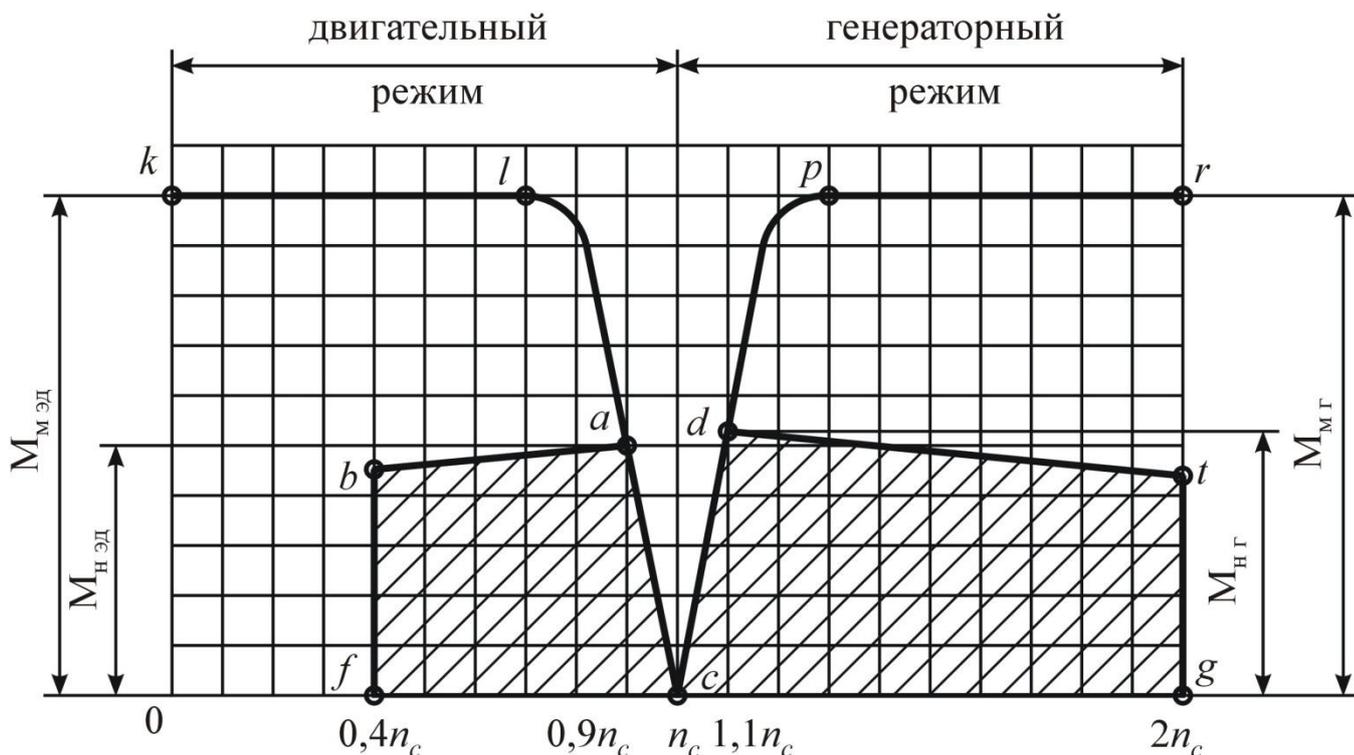


Рисунок 4.1 – Обкаточно-тормозная характеристика испытательного моторного стенда

Границей этих двух характеристик является синхронная частота вращения электрической машины n_c .

Применение стенда для прокрутки и холодной обкатки ДВС ограничивается контуром $0-k-l-c$, а для испытаний и горячей обкатки – контуром $c-p-r-g$, т.е. до удвоенной синхронной частоты вращения.

Заштрихованная площадь представляет область действия нормальной характеристики. В этой области стенд можно использовать продолжительное время.

Область характеристики, находящаяся вне заштрихованной площади, является перегрузочной. При удалении от заштрихованной площади продолжительность безостановочной работы моторного стенда уменьшается. Максимальной перегрузочной характеристикой (линии $k-l$ и $p-r$) можно пользоваться кратковременно, в течение нескольких минут.

Площадь, ограниченная контуром $l-c-p$, является «мертвой зоной». В данной области частоты вращения ротора и нагрузки нельзя получить ни двигательный, ни

генераторный режимы. Это является недостатком стендов с асинхронными машинами, так как за пределами «мертвой зоны» нельзя осуществить прокрутку коленчатого вала и холодную обкатку двигателей с частотой вращения коленчатого вала выше синхронной частоты электрической машины и нагружение испытываемых ДВС при частоте вращения коленчатого вала ниже синхронной частоты электрической машины.

Длительное использование стенда в двигательном режиме при частоте вращения ротора электрической машины, находящейся в пределах $0-f$ (т.е. менее $0,4n_c$), не рекомендуется вследствие неудовлетворительной устойчивости работы электрической машины и ее перегрева.

Верхняя граница нормальной характеристики стенда в генераторном $d-t$ и двигательном $a-b$ режимах снижается при удалении от синхронной частоты вращения вследствие ухудшения отвода тепла от электрической машины. Для недопущения ее перегрева необходимо уменьшить момент при двойной синхронной частоте вращения примерно на 10 %.

4.3 Устойчивость работы тормозного устройства

Характер зависимости тормозного момента от частоты вращения ротора электрической машины определяет устойчивость равновесного режима работы тормозного устройства. Устойчивость работы тормоза – это его способность к саморегулированию.

Из рисунка 4.1 видно, что величина тормозного момента изменяется пропорционально частоте вращения (линия $c-d$). Изобразим данную зависимость для двух режимов: для частичной M_T и полной M_T^n нагрузок (рисунок 4.2). На данном рисунке также изображена зависимость крутящего момента M_e ДВС от частоты вращения коленчатого вала. Такой характер зависимости крутящего момента двигателя и тормозного момента тормоза от частоты вращения обеспечивает устойчивую работу системы «двигатель – тормоз» с частотами вращения n_A или n_B .

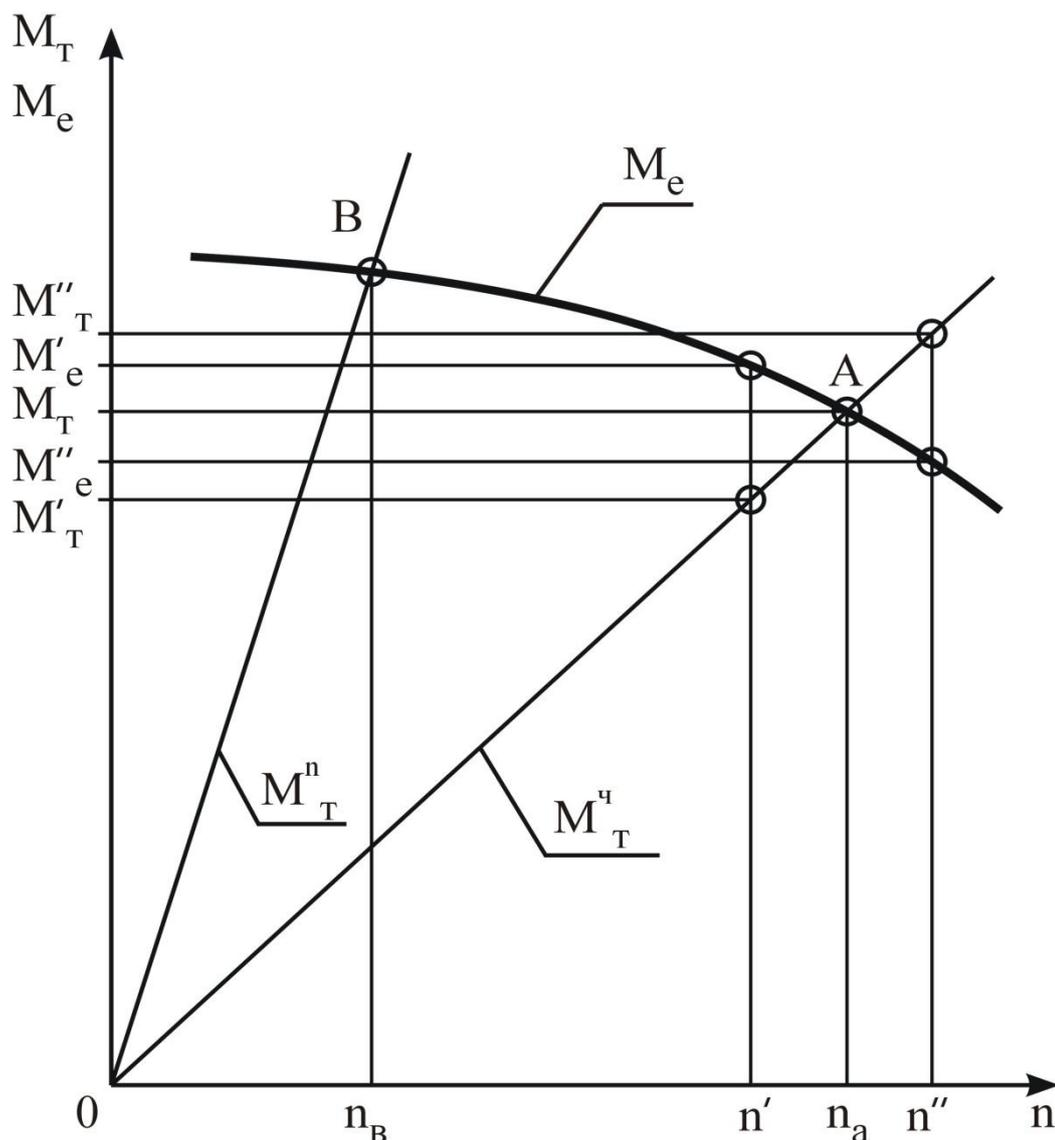


Рисунок 4.2 – Зависимости крутящего момента двигателя и тормозного момента тормоза от частоты вращения

При нарушении равновесия (например, в точке A) частота вращения системы может увеличиться до n'' или уменьшиться до n' . В первом случае тормозной момент возрастает до значения M_T'' , а крутящий момент ДВС уменьшится до величины M_e'' . Возникает избыточный тормозной момент $\Delta M'' = M_T'' - M_e''$, под действием которого частота вращения коленчатого вала уменьшится до первоначальной величины n_A . При уменьшении частоты вращения до n' возникает избыточный крутящий

момент $\Delta M' = M'_E - M'_T$. Под действием этого момента частота вращения системы «двигатель – тормоз» повысится до первоначальной n_A и наступит равновесный режим.

Аналогично обеспечивается устойчивость работы при полной нагрузке тормоза в точке B .

Очевидно, что устойчивость работы системы «двигатель – тормоз» будет тем больше, чем выше избыточные моменты, восстанавливающие первоначальный режим работы. Наибольшей устойчивостью обладают гидравлические тормоза, промежуточной – электрические, и наименьшей – механические и индукторные. Механические и индукторные тормоза вообще не обеспечивают устойчивой работы при полных нагрузках (в точке B). Поэтому при испытаниях ДВС на тормозах этих типов обычно применяют устройства для автоматического регулирования скоростного режима.

4.4 Построение обкаточно-тормозной характеристики испытательного моторного стенда

Для построения обкаточно-тормозной характеристики испытательного моторного стенда требуются координаты основных характерных точек, для определения которых необходимо знать основные характеристики электрической машины.

Испытательный моторный стенд КИ-5543 оснащен балансирной асинхронной электрической машиной типа АКБ 82-4УЗ. Технические данные электрической машины при работе в двигательном режиме:

- частота вращения: $n_{эд} = 1440 \text{ мин}^{-1}$;
- мощность: $N_{нэд} = 55 \text{ кВт}$;
- синхронная частота вращения: $n_c = 1500 \text{ мин}^{-1}$.

Номинальный крутящий момент электродвигателя $M_{нэд}$, (Н·м) определяется

по формуле:

$$M_{нэд} = 9554 \cdot \frac{N_{нэд}}{n_{эд}}. \quad (4.1)$$

После выбора масштабов частоты вращения и крутящего момента по полученному значению $M_{нэд}$ нанести на график точку «а» (рисунок 4.1).

Далее необходимо определить координаты точки «b» и нанести на график момент $M_b = 0,9 \cdot M_{нэд}$ при частоте вращения $n_b = 0,4 \cdot n_c$.

Максимальный крутящий момент электродвигателя (при отсутствии его значения в паспорте машины) можно принять $M_{Mэд} = 2 \cdot M_{нэд}$ (прямая $k-l$ на графике).

Далее необходимо нанести на график точки тормозного режима электрической машины. Координаты точки «d» – номинальный момент в тормозном режиме: $M_{нг} = 1,05 \cdot M_{нэд}$ при частоте вращения равной $1,1 \cdot n_c$. Координаты точки «t» – момент $M_t = 0,9 \cdot M_{нг}$ – при частоте вращения $n_t = 2 \cdot n_c$. Максимальная величина тормозного момента $M_{Mг} = 2 \cdot M_{нг}$.

Полученные точки соединяются линиями, как показано на рисунке 4.1.

4.5. Построение внешней характеристики тормозного устройства и согласование ее с характеристикой ДВС

Внешней характеристикой тормозного устройства называют зависимость поглощаемой мощности от частоты вращения ротора электрической машины (рисунок 4.3).

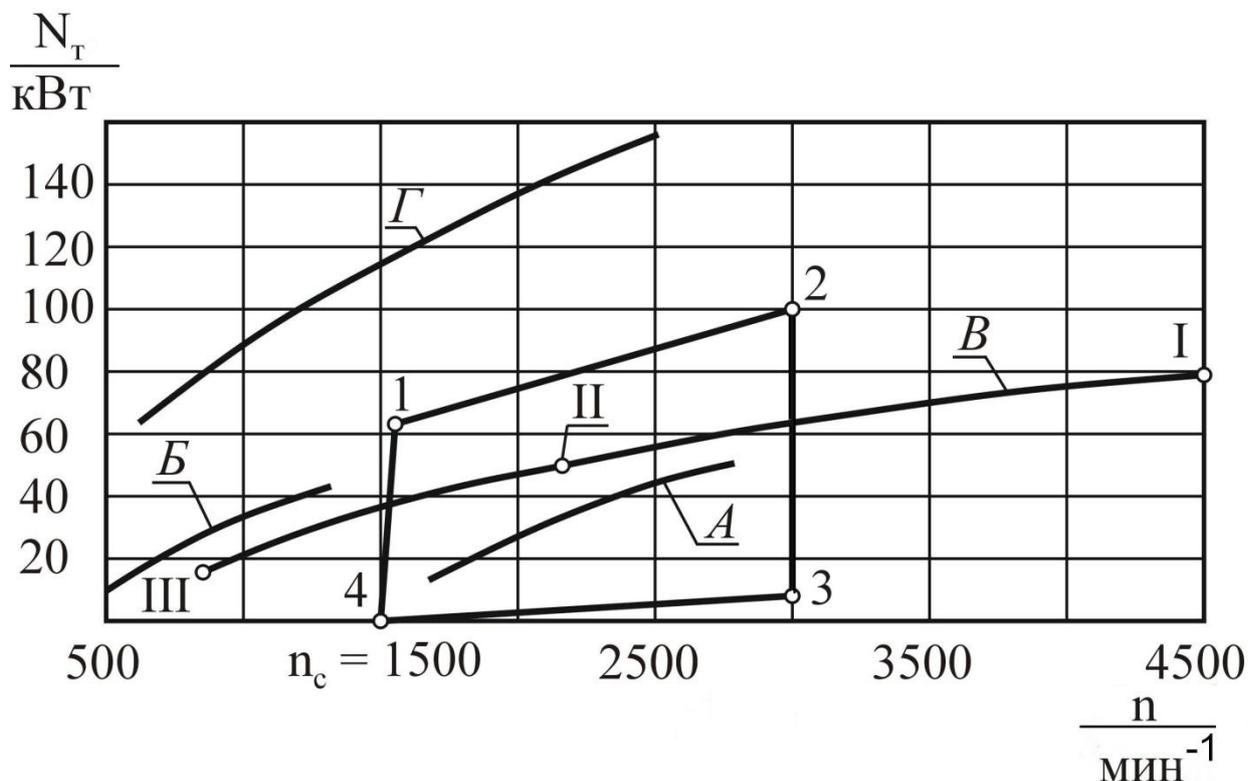


Рисунок 4.3 – Согласование внешней характеристики тормозного устройства с характеристикой ДВС

Для ее построения используют правую часть обкаточно-тормозной характеристики.

Величину тормозной мощности (кВт) в точках «1» и «2» подсчитывают по формулам:

$$N_{T1} = \frac{M_d \cdot n_d}{9554}; \tag{4.2}$$

$$N_{T2} = \frac{M_t \cdot n_t}{9554}. \tag{4.3}$$

Тормозной момент и частоту вращения определяют по рисунку 4.1 для точек «d» и «t». Линия 2-3 ограничивает наибольшую частоту вращения вала тормозного устройства (ротора электрической машины), определяемую предельной нагрузкой от действия центробежных сил. Линия 4-3 характеризует минимальную мощность,

поглощаемую тормозным устройством при полной его разгрузке (электроды жидкостного реостата подняты). Линия 4-1 соответствует максимальной тормозной мощности (электроды реостата полностью опущены).

При согласовании характеристик достаточно построить приближенную внешнюю скоростную характеристику ДВС.

Для этого необходимо взять по паспортным данным ДВС его номинальную мощность и соответствующую ей частоту вращения коленчатого вала (приложение А). Это будет одна точка скоростной характеристики (точка «I» на кривой В). Для определения второй точки требуется подсчитать мощность двигателя по максимальному крутящему моменту и соответствующей ему частоте вращения коленчатого вала (точка «II»). Третья точка характеристики «III» принимается для минимальной частоты вращения коленчатого вала ДВС, величина которой соответствует примерно от 20 до 25 % от номинальной. Величина мощности в этой точке составляет примерно от 25 до 30 % от номинальной. Полученные точки соединить плавной кривой.

Соответствие тормозного устройства ДВС по мощности и скоростным данным устанавливаются путем наложения внешней скоростной характеристики ДВС на внешнюю характеристику тормозного устройства. Если характеристика ДВС укладывается внутри поля, ограниченного внешней характеристикой тормозного устройства (4-1-2-3-4), то оно обеспечит необходимые мощностной и скоростной режимы (вариант А).

Если характеристика испытываемого ДВС выходит за граничную линию 4-1 (вариант Б), тормозное устройство для данного ДВС является слишком быстроходной, а если выходит за пределы линии 2-3 (вариант В) – слишком тихоходной. В этих случаях необходимо устанавливать между коленчатым валом ДВС и валом тормозного устройства повышающую или понижающую передачи. В некоторых случаях, когда необходимо проводить испытания ДВС на всем рабочем диапазоне частот вращения коленчатого вала (например, снятие внешней скоростной характеристики), требуется установка КПП, имеющей как понижающие, так и повышающие передачи. Когда же характеристика ДВС располагается выше граничной линии 1-2 (вариант Г), тормозное устройство непригодно для полноценных испытаний данного

ДВС. В данном случае следует ограничивать диапазон мощности ДВС.

4.6 Контрольные вопросы

1. Что представляет собой обкаточно-тормозная характеристика испытательного моторного стенда?
2. Каковы условия устойчивой работы системы «двигатель – тормоз»?
3. Каким образом выполняется построение обкаточно-тормозной характеристики испытательного моторного стенда?
4. Каким образом проводится построение внешней тормозной характеристики тормозного устройства и характеристики ДВС?
5. Каким образом проводится согласование характеристик тормозного устройства и ДВС по мощности и скоростным режимам?

5 Лабораторная работа № 5. Снятие характеристик холостого хода карбюраторного ДВС

5.1 Общие положения

Целью работы является изучение методик снятия характеристики холостого хода карбюраторного ДВС и оценки его топливной экономичности на режиме холостого хода.

Задачами работы являются:

- получение представления о протекании рабочих процессов в ДВС при его работе на режиме холостого хода;
- умение проведения испытаний по снятию характеристик холостого хода ДВС;
- умение обработки полученных результатов испытаний и их анализ.

5.2 Общие сведения о работе ДВС на режиме холостого хода

Характеристикой холостого хода называется зависимость топливной экономичности и других параметров работы ДВС при его работе без нагрузки от частоты вращения коленчатого вала (рисунок 5.1).

Характеристика снимается в диапазоне от минимально устойчивой частоты вращения коленчатого вала на холостом ходу до частоты вращения, равной $0,5 \cdot n_{ном}$. Согласно ГОСТ 14846 - 81 при снятии характеристики холостого хода коленчатый вал ДВС должен быть отсоединен от тормозного устройства.

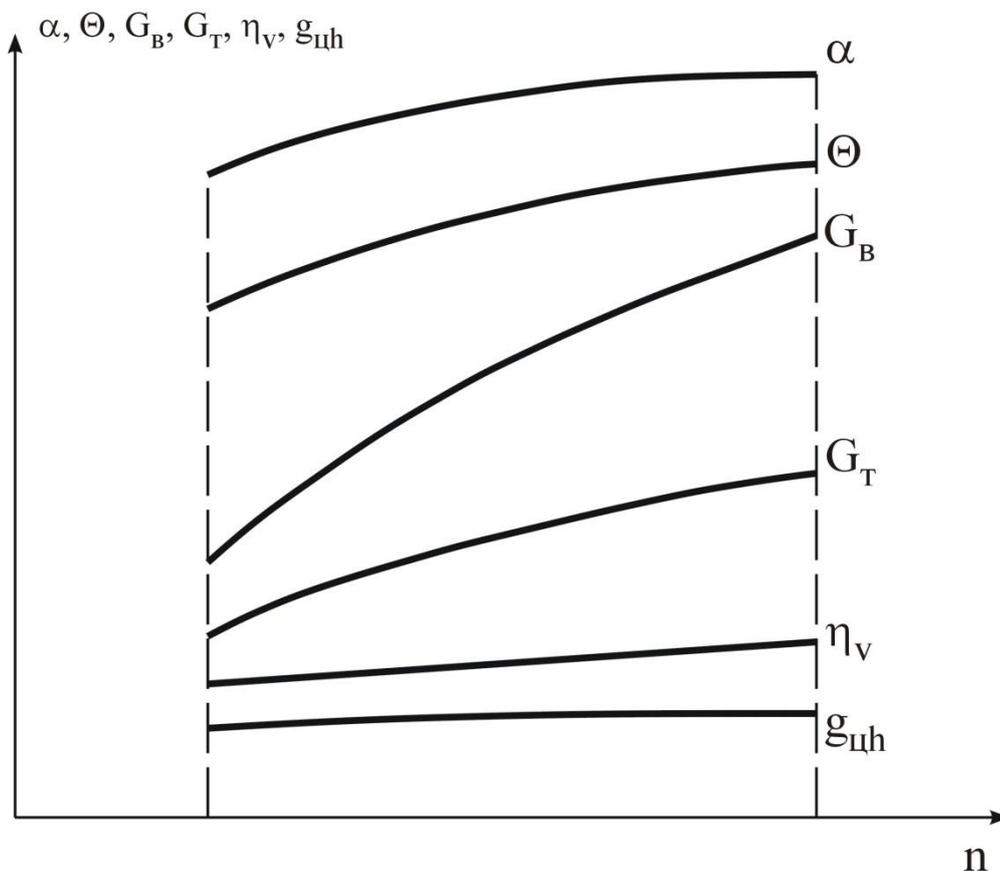


Рисунок 5.1 – Общий вид характеристики холостого хода ДВС

Автомобильные двигатели в условиях эксплуатации часто работают на холостом ходу, когда двигатель не имеет внешней нагрузки, например, при выключенном сцеплении или нейтральной передаче в коробке перемены передач. В данных условиях предпочтительно, чтобы частота вращения коленчатого вала была минимальной при условии устойчивой работы ДВС.

Так как внешняя нагрузка при работе ДВС на режиме холостого хода отсутствует, то среднее эффективное давление и эффективная мощность соответственно равны нулю, а удельный эффективный расход топлива равен бесконечности. Вследствие этого, нормирование расхода топлива на режимах холостого хода весьма затруднительно.

При оценке топливной экономичности ДВС на режиме холостого хода кроме часового расхода топлива, определяемого по формулам 3.4 и 3.5, используют удельный часовой и удельный цикловой расходы топлива.

Удельный часовой расход топлива – это количество топлива, расходуемое ДВС в час на единицу рабочего объема всех цилиндров, кг/(л·ч):

$$g_h = \frac{G_T}{V_h \cdot i}, \quad (5.1)$$

где G_T – часовой расход топлива, кг/ч;

V_h – рабочий объем цилиндра двигателя, л;

i – число цилиндров двигателя.

Удельный цикловой расход топлива – это цикловая доза топлива, подаваемая в цилиндр двигателя, отнесенная к его рабочему объему, мг/л:

$$g_{цh} = \frac{G_T \cdot 10^6}{30 \cdot n \cdot V_h \cdot i}. \quad (5.2)$$

При работе ДВС на режиме холостого хода удельные цикловые расходы топлива составляют от 15 до 20 мг/л. Изменение частоты вращения коленчатого вала на холостом ходу почти не влияет на удельный цикловой расход топлива.

Работа карбюраторного ДВС на режимах полной нагрузки с наилучшей топливной экономичностью обеспечивается применением бедной топливовоздушной смеси с коэффициентом избытка воздуха α до 1,1 – 1,2. По мере прикрытия дроссельной заслонки смесь необходимо обогащать.

При работе ДВС на режиме холостого хода протекание рабочего цикла становится особенно неудовлетворительным из-за максимального относительного количества остаточных газов и пониженной температуры цикла из-за наибольшей относительной теплопередачи в стенки цилиндров. При таких условиях организации рабочих процессов в цилиндрах устойчивая работа ДВС на бедных горючих смесях невозможна, что требует значительного обогащения смеси до $\alpha = 0,6 \dots 0,8$.

С повышением частоты вращения коленчатого вала на режиме холостого хода

возможно обеднение горючей смеси с сохранением устойчивой работы ДВС. Обогащение рабочей смеси при работе ДВС на режимах холостого хода и малых нагрузок обеспечивается системой холостого хода карбюратора или электронным блоком управления двигателями, оборудованных системой впрыска топлива.

Анализ характеристики холостого хода позволяет выявить оптимальные расходы топлива и токсичность двигателя на этом режиме.

Регулировка системы холостого хода карбюраторного ДВС осуществляется с помощью винтов изменения количества и качественного состава смеси для обеспечения минимальных расходов топлива и токсичности отработавших газов.

С уменьшением частоты вращения коленчатого вала на режиме холостого хода часовой расход топлива уменьшается. Поэтому для обеспечения наилучшей экономичности необходимо регулировать минимальное открытие дроссельной заслонки с помощью упорного винта, обеспечивающее минимальную устойчивую частоту вращения коленчатого вала ДВС. Таким образом, при эксплуатации автомобилей с карбюраторными ДВС следует стремиться к работе двигателя на режиме холостого хода с минимальной частотой вращения коленчатого вала.

Коэффициент наполнения η_v по мере увеличения частоты вращения коленчатого вала изменяется незначительно, так как его снижение с повышением n в значительной мере компенсируется увеличением открытия дроссельной заслонки.

5.3 Методика проведения испытаний по снятию характеристики холостого хода

Для снятия характеристики холостого хода ДВС требуется следующая материально-техническая база:

- 1) испытательный моторный стенд с установленным на нем ДВС и оборудованный системами измерения параметров работы ДВС;
- 2) устройство для определения расхода воздуха;
- 3) устройство для определения расхода топлива и секундомер;

4) приборы для определения параметров окружающей среды (барометр для определения атмосферного давления, термометр для определения температуры окружающего воздуха).

При снятии характеристики холостого хода карбюраторного ДВС необходимо выполнение следующих условий:

1) отсутствие нагрузки на ДВС (тормозное устройство испытательного моторного стенда отсоединено от ДВС);

2) постоянный нормальный рабочий тепловой режим ДВС;

3) постоянная нормальная регулировка системы холостого хода карбюратора;

4) оптимальный угол опережения зажигания для каждой экспериментальной точки характеристики;

5) переменное положение дроссельной заслонки, обеспечивающее изменение частоты вращения от $n_{\min x.x.}$ до $0,5 \cdot n_{ном}$.

б) переменная частота вращения коленчатого вала.

Моторные испытания по снятию характеристики холостого хода необходимо проводить в следующей последовательности:

1) проверить готовность ДВС к пуску (см. п. 1.3) и работоспособность измерительного оборудования;

2) запустить и прогреть ДВС до температуры охлаждающей жидкости $t_{ож} = (75 \pm 5) ^\circ\text{C}$ и температуры масла $t_m = (80 \pm 5) ^\circ\text{C}$;

3) ввести ДВС в режим испытания: положение дроссельной заслонки, обеспечивающее минимально устойчивую частоту вращения коленчатого вала, нагрузка на ДВС отсутствует, угол опережения зажигания оптимальный, обеспечивающий устойчивую работу с $n_{\min x.x.}$, тепловой режим нормальный;

4) выдержать ДВС на установленном режиме работы не менее 1 мин;

5) произвести запись показаний всех измерительных устройств в протокол испытаний (приложение Б);

б) вторая и последующие экспериментальные точки характеристики холостого хода снимаются при некотором увлечении открытия дроссельной заслонки так, чтобы частота вращения коленчатого вала ДВС повысилась на $200 \dots 300 \text{ мин}^{-1}$. После

установки оптимального угла опережения зажигания и достижения нормального теплового режима делается выдержка 1 мин и производится запись показаний всех измерительных устройств;

7) по окончании испытаний установить дроссельную заслонку в положение, обеспечивающее работу ДВС на $n_{\min.x.x.}$ и остановить ДВС.

5.4 Задание по работе

1. На основании занесенных в протокол показаний измерительных приборов и устройств, произвести подсчет величин, характеризующих работу ДВС, и оценить погрешности измерений.

2. Построить графики характеристик холостого хода:

$$G_T = f_1(n); G_g = f_2(n); \eta_v = f_3(n); \alpha = f_4(n); \Theta = f_5(n); g_{\text{цх}} = f_6(n).$$

3. Провести анализ графиков характеристики холостого хода и сделать соответствующие выводы.

Полученные результаты оформляются на листах формата А4 в виде отчета, пример которого приведен в приложении Е. Отчет должен содержать название, цель и задачи работы, заполненный протокол испытаний, графическое представление полученных результатов, их анализ и основные выводы по работе.

5.5 Контрольные вопросы

1. Что понимается под характеристикой холостого хода ДВС?
2. Какими показателями характеризуется топливная экономичность ДВС на режиме холостого хода?
3. В чем особенности протекания рабочих процессов в ДВС на холостом ходу?
4. Какая требуется материально-техническая база для снятия характеристики холостого хода ДВС?
5. В какой последовательности проводится снятие характеристики холостого

хода ДВС?

6 Лабораторная работа № 6. Снятие скоростной характеристики карбюраторного ДВС

6.1 Общие положения

Целью работы является изучение методики снятия скоростной характеристики карбюраторного ДВС.

Задачами работы являются:

- получение представления о видах скоростных характеристик ДВС и о протекании рабочих процессов в ДВС при работе его на режимах скоростных характеристик;
- умение проведения испытаний по снятию скоростных характеристик ДВС;
- умение обработки полученных результатов испытаний и их анализ.

6.2 Общие сведения об изменении основных показателей ДВС при его работе по скоростным характеристикам

Скоростной характеристикой называют зависимость мощностных, экономических и других показателей работы ДВС от частоты вращения коленчатого вала.

Различают несколько видов скоростных характеристик: абсолютная внешняя, эксплуатационная внешняя и частичная.

Абсолютной внешней скоростной характеристикой называют график зависимости от частоты вращения коленчатого вала мощности ДВС, максимально возможной при данной частоте вращения вала. При снятии этой характеристики на каждом скоростном режиме необходимо поддерживать оптимальные значения всех регулировочных параметров ДВС из условия получения максимальной мощности. Практическое осуществление данного требования связано с обеспечением на каждом режиме оптимальных фаз газораспределения, угла опережения зажигания, состава смеси, теплового режима ДВС и т. д., что является весьма трудоемкой работой.

При эксплуатации ДВС имеет значение зависимость его максимальной мощности или среднего эффективного давления от частоты вращения коленчатого вала при полном открытии дроссельной заслонки, обеспечивающем получение номи-

нальной мощности. Другие же параметры работы ДВС в этом случае могут быть неоптимальными при работе на всех режимах, соответствующих характеристике. В зависимости от условий работы ДВС эти параметры могут быть оптимальными не на номинальной, а на какой-то промежуточной частоте вращения коленчатого вала (например, на режиме максимального крутящего момента). Такие характеристики, снимаемые при нормальной эксплуатационной регулировке всех систем ДВС, называются эксплуатационными внешними скоростными характеристиками ДВС или внешними скоростными характеристиками.

Скоростные характеристики, снимаемые при неполном открытии дроссельной заслонки, называются частичными характеристиками.

Анализ скоростных характеристик карбюраторного ДВС позволяет выявить мощностные и экономические показатели его работы в рабочем диапазоне частоты вращения коленчатого вала.

На рисунке 6.1 представлена зависимость среднего эффективного давления p_e при работе ДВС по внешней и частичным скоростным характеристикам. Аналогично будет изменяться и пропорциональный p_e крутящий момент M_e ДВС. Чтобы выяснить причины такого протекания кривых p_e проанализируем известную зависимость:

$$p_e = k \cdot \frac{\eta_i}{\alpha} \cdot \eta_v \eta_M, \quad (6.1)$$

где k – коэффициент.

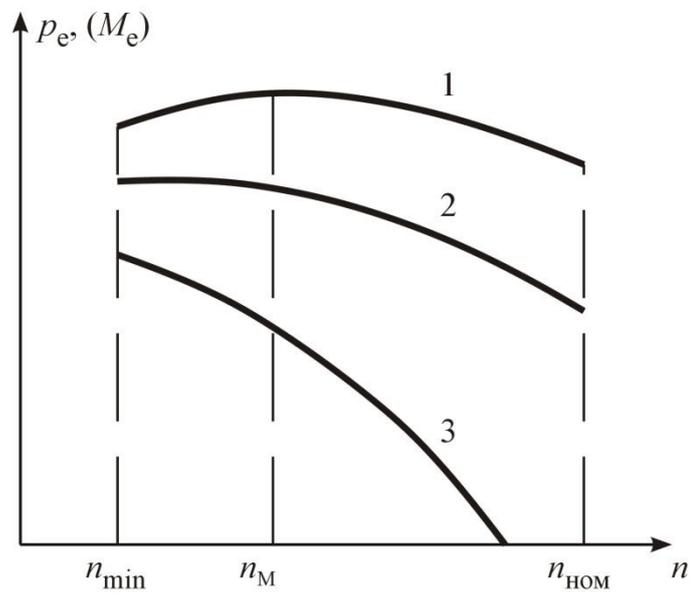


Рисунок 6.1 – Изменение $p_e (M_e)$ карбюраторного ДВС при работе по скоростным характеристикам: 1 – внешней; 2 и 3 – частичным

Основное влияние на характер изменения p_e с ростом частоты вращения оказывает изменение коэффициента наполнения η_v (рисунок 6.2).

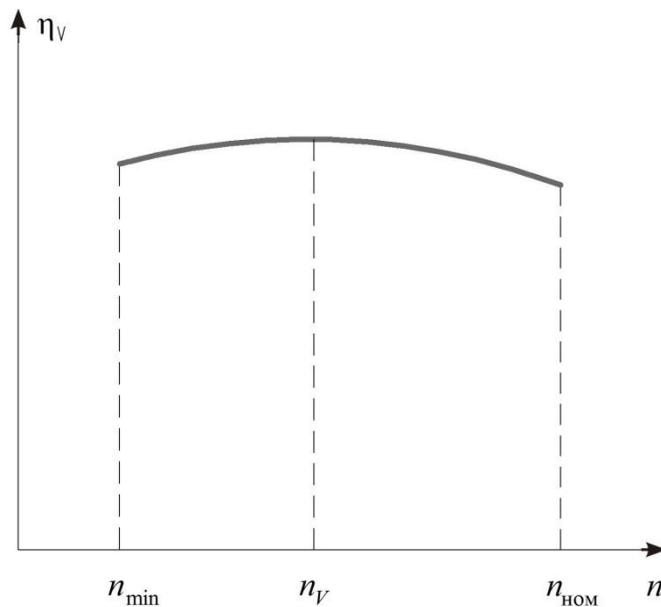


Рисунок 6.2 – Зависимость η_v от n при работе по скоростным характеристикам карбюраторного ДВС

Коэффициент наполнения η_v при работе ДВС по скоростной характеристике зависит от таких факторов, как: гидравлическое сопротивление системы впуска, нагрев свежего заряда, недозарядка цилиндров из-за высокой частоты вращения коленчатого вала, выталкивание части заряда из цилиндра при низкой частоте вращения коленчатого вала. На малых частотах вращения коэффициент наполнения мал из-за наличия обратного выброса свежего заряда во впускной трубопровод. С увеличением частоты вращения коленчатого вала возрастает дозарядка цилиндра, и в зоне средних частот коэффициент наполнения достигает максимального значения. На частотах вращения, близких к номинальным, коэффициент наполнения вновь убывает из-за возрастания аэродинамического сопротивления впускного и выпускного трактов.

При работе карбюраторного ДВС по внешней скоростной характеристике коэффициент избытка воздуха α увеличивается с повышением частоты вращения коленчатого вала, что связано с улучшением условий смесеобразования и сгорания при увеличении скорости заряда. Такой характер изменения коэффициента α сохраняется и при работе по частичным скоростным характеристикам.

С увеличением коэффициента избытка воздуха возрастает и индикаторный к.п.д. с ростом частоты вращения. В области высоких частот вращения возможно снижение индикаторного к.п.д. из-за сокращения времени цикла, что приводит к догоранию на линии расширения, вследствие чего увеличиваются потери теплоты в охлаждающую среду и с отработанными газами.

Примерное изменение α , η_i и $\frac{\eta_i}{\alpha}$ при работе карбюраторного ДВС по скоростной характеристике показано на рисунке 6.3, из которого видно, что отношение $\frac{\eta_i}{\alpha}$ в данном случае меняется незначительно.

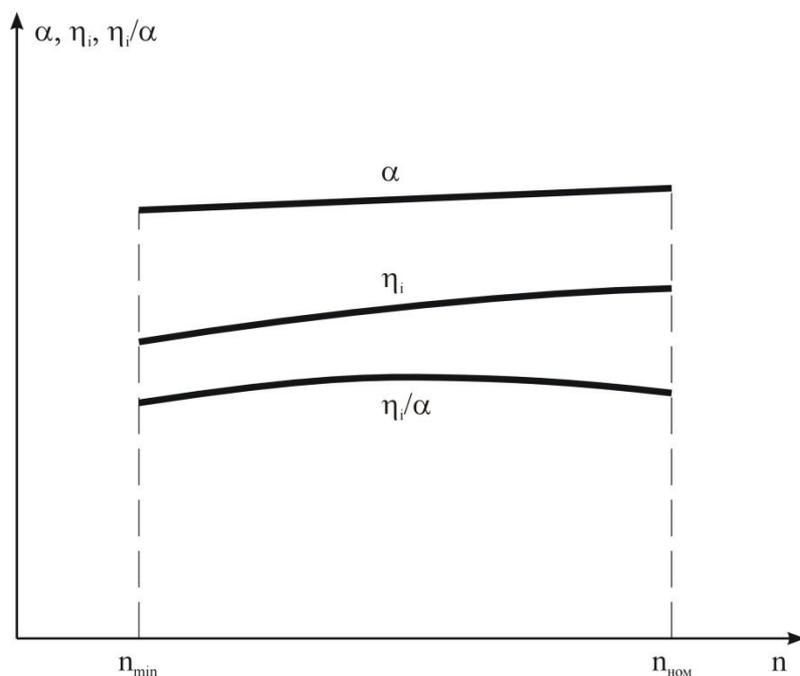


Рисунок 6.3 – Изменение α , η_i и $\frac{\eta_i}{\alpha}$ при работе ДВС по скоростной характеристике

Механический к.п.д. ДВС определяется по формуле:

$$\eta_M = \frac{P_e}{P_i} = 1 - \frac{P_M}{k \cdot \frac{\eta_i}{\alpha} \cdot \eta_v} \quad (6.2)$$

Для ДВС без наддува среднее давление механических потерь p_M мало зависит от нагрузки и может быть принято постоянным при $n = \text{const}$. При увеличении частоты вращения коленчатого вала среднее давление механических потерь возрастает. Таким образом, при работе по внешней характеристике рост p_M и уменьшение η_v при $\frac{\eta_i}{\alpha} \approx \text{const}$ с увеличением n приводит к понижению механического к.п.д. (рисунок 6.4).

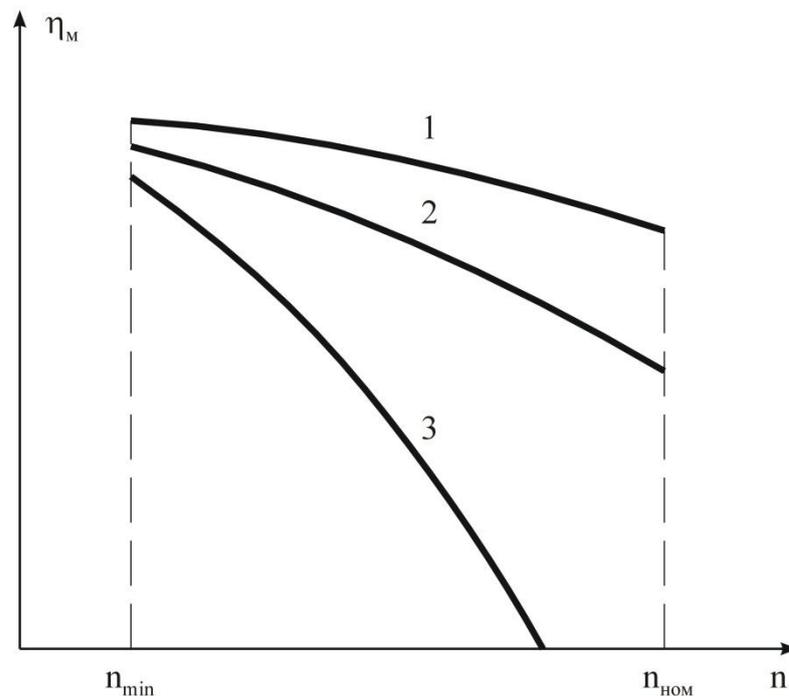


Рисунок 6.4 – Изменение механического к.п.д. при работе ДВС: 1 – по внешней скоростной характеристике; 2 и 3 – по частичным характеристикам

При прикрытии дроссельной заслонки значение η_M падает тем быстрее, чем больше прикрыта заслонка. Это объясняется тем, что среднее давление механических потерь растет с увеличением частоты вращения, а произведение $\frac{\eta_i}{\alpha} \cdot \eta_v$ уменьшается при прикрытии дроссельной заслонки. При значительно прикрытой дроссельной заслонке среднее индикаторное давление падает настолько быстро, что при $p_M = p_i$ произведение $\frac{\eta_i}{\alpha} \cdot \eta_v$ и коэффициент η_M равны нулю. Поэтому зависимость механического к.п.д. от частоты вращения коленчатого вала при различных положениях дроссельной заслонки имеет вид кривой, показанной на рисунке 6.4.

Особенности изменения отдельных сомножителей в выражении 6.1 определяют характер изменения среднего эффективного давления p_e при работе ДВС по скоростным характеристикам (рисунок 6.1). В ДВС без наддува среднее эффективное давление в области малых частот вращения коленчатого вала с ростом n увеличивается, достигает максимума и затем уменьшается. Для карбюраторного ДВС при

его работе по внешней скоростной характеристике частота вращения коленчатого вала, соответствующая $(p_e)_{\max}$, составляет примерно $(0,45 \dots 0,55)n_{\text{ном}}$.

При переходе ДВС к работе по частичным скоростным характеристикам вследствие уменьшения η_v и η_M с увеличением частоты вращения коленчатого вала среднее эффективное давление понижается и тем интенсивнее, чем больше прикрыта дроссельная заслонка. При значительно прикрытой дроссельной заслонке $p_e=0$, т.е. режим холостого хода наступает при частоте вращения коленчатого вала меньшей номинальной.

Из выражения эффективной мощности $N_e = k_1 \cdot p_e \cdot n$ следует, что мощность растет с повышением частоты вращения коленчатого вала только до тех пор, пока влияние увеличения n больше влияния уменьшения среднего эффективного давления (рисунок 6.5).

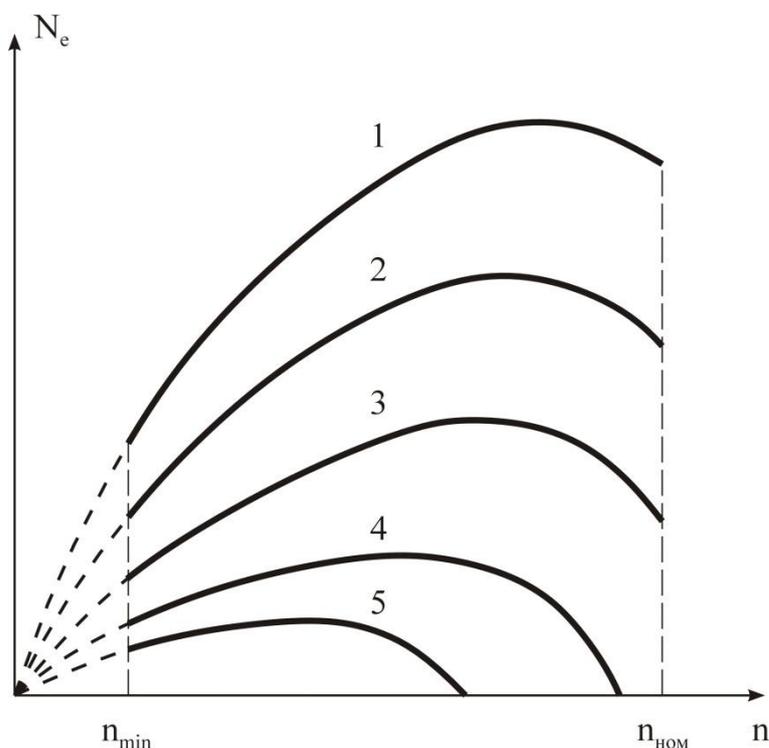


Рисунок 6.5 – Скоростные характеристики: 1 – внешняя; 2 – 5 – частичные

При дальнейшем повышении частоты вращения коленчатого вала среднее эф-

эффективное давление быстро уменьшается, в результате чего снижается и мощность ДВС. Следовательно, при каком-то значении n мощность имеет максимум. В карбюраторных автомобильных ДВС это значение при работе по внешней скоростной характеристике обычно соответствует частоте вращения коленчатого вала, несколько меньшей номинальной.

Изменение эффективного к.п.д., как видно из выражения $\eta_e = \eta_i \cdot \eta_M$, при работе по скоростным характеристикам определяется индикаторным и механическим к.п.д. (рисунок 6.6). У ДВС без наддува в связи с рассмотренным выше характером изменения η_i и η_M эффективный к.п.д. η_e при работе по внешней характеристике имеет максимум. Частота вращения коленчатого вала, соответствующая максимальному значению коэффициента η_e , находится в интервале между значениями, соответствующими максимальному крутящему моменту и номинальной мощности.

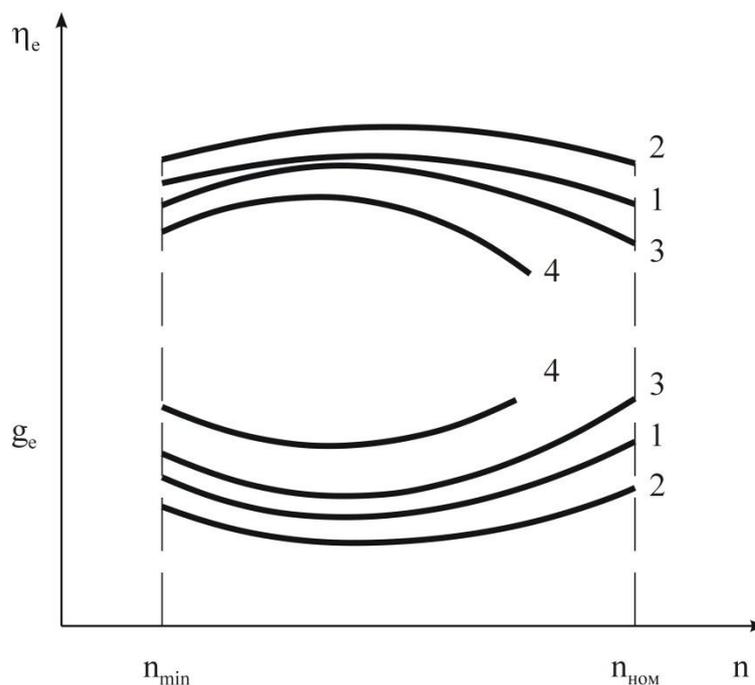


Рисунок 6.6 – Изменение η_e и g_e при работе ДВС по скоростным характеристикам: 1 – внешней; 2 – частичной, соответствующей экономичной работе; 3 и 4 – частичным

При работе ДВС по частичным характеристикам, если карбюратор не имеет

экономайзера, η_e обычно меньше, чем при работе по внешней характеристике, вследствие одновременного уменьшения η_i и η_M . Интенсивность падения η_e растет с прикрытием дроссельной заслонки. Если на двигателе установлен карбюратор с экономайзером, то при работе по частичным характеристикам, соответствующим прикрытию дроссельной заслонки на 20 – 30 %, η_e больше, чем при работе ДВС по внешней характеристике.

Удельный эффективный расход топлива g_e при работе по скоростным характеристикам меняется в соответствии с изменением η_e , так как $g_e = \frac{k_2}{\eta_e}$. При работе карбюраторного ДВС по внешней скоростной характеристике удельный эффективный расход топлива сначала несколько уменьшается, а затем возрастает. Такое изменение g_e объясняется тем, что при уменьшении частоты вращения коленчатого вала ниже номинального значения увеличивается механический к.п.д. двигателя при постоянном индикаторном к.п.д. вследствие почти постоянного значения α . Поэтому эффективный к.п.д. двигателя растет, а удельный эффективный расход топлива уменьшается. В области малых частот вращения коленчатого вала смесеобразование ухудшается, что ведет к обогащению смеси, а количество теплоты, отводимой в систему охлаждения, возрастает, что уменьшает эффективный к.п.д. и увеличивает удельный эффективный расход топлива.

Часовой расход топлива G_T уменьшается с понижением частоты вращения коленчатого вала (рисунок 6.7) вследствие уменьшения частоты рабочих циклов. Одновременно понижается скорость смеси во впускной системе ДВС и уменьшаются потери давления. Все это приводит к более интенсивному снижению часового расхода топлива по мере уменьшения частоты вращения коленчатого вала.

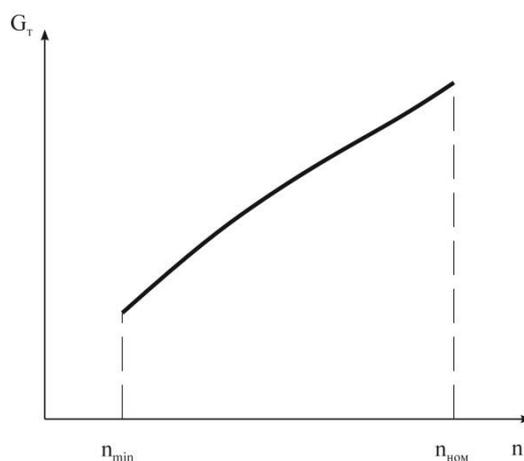


Рисунок 6.7 – Зависимость часового расхода топлива G_T от частоты вращения коленчатого вала двигателя n

При повышении частоты вращения коленчатого вала увеличиваются температура заряда (вследствие возрастания показателя политропы сжатия n_1), температура остаточных газов и интенсивность вихрей в камере сгорания. Это способствует уменьшению периода задержки воспламенения и скорости сгорания топлива. Однако общее сокращение необходимого для эффективного сгорания времени приводит к необходимости увеличения угла опережения зажигания Θ с возрастанием n (рисунок 6.8).

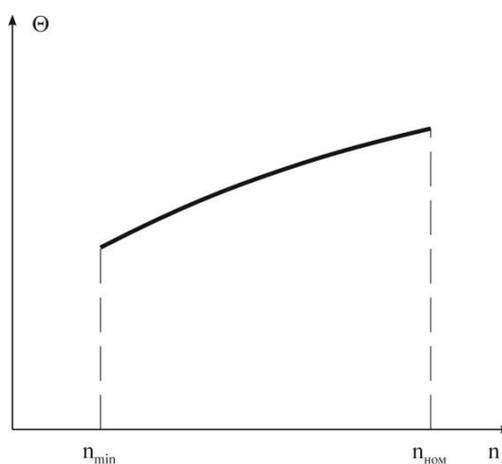


Рисунок 6.8 – Зависимость оптимального угла опережения зажигания Θ от частоты вращения коленчатого вала двигателя n

6.3 Методика проведения испытаний по снятию скоростной

характеристики

Для снятия скоростных характеристик карбюраторного ДВС требуется следующая материально-техническая база:

- 1) испытательный моторный стенд с установленным на нем ДВС и оборудованный системами измерения параметров работы ДВС;
- 2) устройство для определения расхода воздуха;
- 3) устройство для определения расхода топлива и секундомер;
- 4) приборы для определения параметров окружающей среды (барометр для определения атмосферного давления, термометр для определения температуры окружающего воздуха).

При снятии скоростных характеристик карбюраторного ДВС необходимо выполнение следующих условий:

- 1) положение дроссельной заслонки неизменное (определяется исходя из задания по лабораторной работе);
- 2) карбюратор ДВС отрегулирован в соответствии с требованиями завода-изготовителя;
- 3) для каждой экспериментальной точки скоростной характеристик угол опережения зажигания оптимальный;
- 4) постоянный нормальный рабочий тепловой режим ДВС;
- 5) частота вращения коленчатого вала ДВС переменная, устанавливается исходя из задания по лабораторной работе путем изменения нагрузки на ДВС тормозным устройством.

Моторные испытания по снятию скоростных характеристик необходимо проводить в следующей последовательности:

- 1) проверить готовность ДВС к пуску (см. п. 1.3) и работоспособность измерительного оборудования;
- 2) запустить и прогреть ДВС до температуры охлаждающей жидкости $t_{ож} = (75 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$ и температуры масла $t_m = (80 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$;

3) ввести ДВС в режим работы, соответствующий началу снятия скоростной характеристики: положение дроссельной заслонки – заданное, частота вращения коленчатого вала – минимально устойчивая, угол опережения зажигания – оптимальный для данной частоты вращения коленчатого вала;

4) выдержать ДВС на установленном режиме работы не менее 1 мин;

5) произвести запись показаний всех измерительных устройств в протокол испытаний (приложение В);

б) увеличить частоту вращения коленчатого вала на $200 - 300 \text{ мин}^{-1}$ путем изменения регулировки тормозного устройства (разгрузить тормозное устройство), отрегулировать угол опережения зажигания до оптимального для вновь полученного режима работы ДВС;

7) выдержать ДВС на установленном режиме работы не менее 1 мин;

8) произвести запись показаний всех измерительных устройств в протокол испытаний. Аналогично, увеличивая частоту вращения коленчатого вала путем разгрузки тормозного устройства с интервалом $200 \dots 300 \text{ мин}^{-1}$ до частоты вращения коленчатого вала, превышающей на 10 % номинальную, произвести замеры показателей работы двигателя на всех остальных экспериментальных точках скоростной характеристики.

6.4 Задание по работе

1. На основании занесенных в протокол показаний измерительных приборов и устройств, произвести подсчет величин, характеризующих работу ДВС, и оценить погрешности измерений.

2. Построить графики скоростной характеристики:

$$M_e = f_1(n); N_e = f_2(n); G_T = f_3(n); g_e = f_4(n); G_g = f_5(n); \alpha = f_6(n);$$

$$\eta_v = f_7(n); \Theta = f_8(n).$$

3. Провести анализ графиков скоростной характеристики и сделать соответствующие выводы.

Полученные результаты оформляются на листах формата А4 в виде отчета, пример которого приведен в приложении Е. Отчет должен содержать название, цель и задачи работы, заполненный протокол испытаний, графическое представление полученных результатов, их анализ и основные выводы по работе.

6.5 Контрольные вопросы

1. Что понимается под скоростной характеристикой ДВС? Какие существуют виды скоростных характеристик?
2. Как изменяется среднее эффективное давление при работе ДВС по внешней и частичным скоростным характеристикам?
3. Как изменяются коэффициент наполнения и коэффициент избытка воздуха при работе ДВС по внешней и частичным скоростным характеристикам?
4. Какие показатели работы ДВС влияют на изменение механического к.п.д. при работе его по внешней и частичным скоростным характеристикам?
5. Как изменяется экономичность ДВС при работе его по внешней и частичным скоростным характеристикам?
6. Какая требуется материально-техническая база для снятия характеристики холостого хода ДВС?
7. В какой последовательности проводится снятие скоростных характеристик ДВС?

7 Лабораторная работа №7. Снятие нагрузочной характеристики карбюраторного ДВС

7.1 Общие положения

Целью работы является изучение методики снятия нагрузочной характеристики карбюраторного ДВС.

Задачами работы являются:

- получение представления о нагрузочной характеристике ДВС и о протекании рабочих процессов в ДВС при работе его на режиме нагрузочной характеристики;
- умение проведения испытаний по снятию нагрузочной характеристики ДВС;
- умение обработки полученных результатов испытаний и их анализ.

7.2 Общие сведения об изменении основных показателей ДВС при его работе по скоростным характеристикам

Нагрузочной характеристикой называется зависимость расхода топлива и других показателей работы ДВС от его эффективной мощности N_e или среднего эффективного давления p_e при заданной частоте вращения коленчатого вала. Нагрузка на ДВС регулируется путем изменения положения дроссельной заслонки и одновременного изменения регулировки тормозного устройства.

Анализ нагрузочных характеристик карбюраторных двигателей (рисунок 7.1) показывает, что кривая изменения часового расхода G_T топлива по мере открытия дроссельной заслонки на режимах средних нагрузок почти пропорциональна мощности N_e вплоть до начала работы экономайзера (при открытии дроссельной заслонки на 85 – 90 %), после чего часовой расход топлива возрастает более интенсивно.

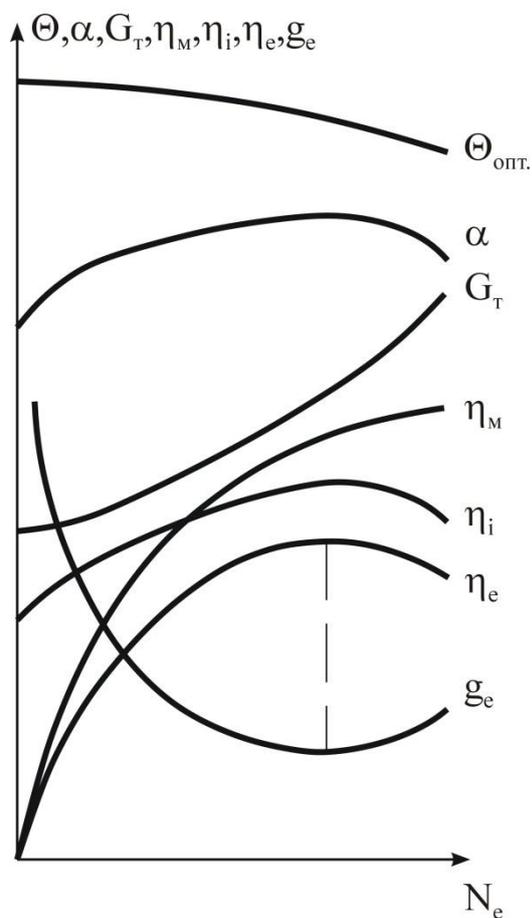


Рисунок 7.1 – Зависимость основных показателей работы ДВС от эффективной мощности N_e

Удельный эффективный расход топлива g_e при работе ДВС на режиме холостого хода равен бесконечности, так как $G_{T_{x.x.}} \neq 0$, а $N_{e_{x.x.}} = 0$. Далее по мере увеличения нагрузки g_e резко снижается с убывающей интенсивностью, но в период работы экономайзера снова возрастает. Если экономайзер в карбюраторе отсутствует или отключен, то наименьший расход топлива g_e обычно достигается при полном открытии дроссельной заслонки. Такой характер изменения g_e объясняется влиянием изменения индикаторного η_i и механического η_M к.п.д., поскольку известно, что:

$$g_e = \frac{c}{\eta_i \cdot \eta_M}, \quad (7.1)$$

где c – некоторая постоянная.

При работе ДВС на режиме холостого хода коэффициент избытка воздуха α составляет 0,6 – 0,8. По мере открытия дроссельной заслонки при увеличении частоты вращения коленчатого вала α возрастает до значений 1,05 – 1,15. Одновременно уменьшается количество остаточных газов до значений коэффициента остаточных газов $\gamma_r = 0,05 \dots 0,08$, увеличивается расход горючей смеси и уменьшаются относительные потери теплоты в окружающую среду. Все это в совокупности приводит к увеличению скорости сгорания и росту индикаторного к.п.д. η_i . Однако при включении экономайзера обогащение горючей смеси до $\alpha = 0,85 \dots 0,95$ вызывает значительное падение индикаторного к.п.д. η_i из-за недовыделения теплоты вследствие химической неполноты сгорания.

Мощность механических потерь N_M карбюраторного ДВС при постоянной частоте вращения коленчатого вала практически не зависит от нагрузки, поэтому с увеличением нагрузки механический к.п.д. η_M возрастает согласно зависимости:

$$\eta_M = 1 - \frac{N_M}{N_e}. \quad (7.2)$$

Одновременный рост η_i и η_M приводит к уменьшению g_e с увеличением нагрузки. Однако при включении экономайзера значительное падение η_i влияет сильнее повышения η_M , приводя к росту удельного эффективного расхода топлива g_e .

Оптимальный угол опережения зажигания Θ с ростом нагрузки уменьшается, так как сокращается период задержки воспламенения смеси и возрастает скорость распространения фронта пламени благодаря большему подогреву смеси и снижению содержания остаточных газов.

Характер изменения эффективного к.п.д. η_e по нагрузочной характеристике следует из выражения $\eta_e = \frac{c_1}{g_e}$, где $c_1 = const$.

7.3 Методика проведения испытаний по снятию нагрузочной характеристики

Для снятия нагрузочной характеристики карбюраторного ДВС требуется следующая материально-техническая база:

- 1) испытательный моторный стенд с установленным на нем ДВС и оборудованный системами измерения параметров работы ДВС;
- 2) устройство для определения расхода воздуха;
- 3) устройство для определения расхода топлива и секундомер;
- 4) приборы для определения параметров окружающей среды (барометр для определения атмосферного давления, термометр для определения температуры окружающего воздуха).

При снятии нагрузочной характеристики карбюраторного ДВС необходимо выполнение следующих условий:

- 1) частота вращения коленчатого вала постоянная;
- 2) карбюратор ДВС отрегулирован в соответствии с требованиями завода-изготовителя;
- 3) угол опережения зажигания на каждом режиме работы ДВС устанавливается оптимальный для данного режима;
- 4) постоянный нормальный рабочий тепловой режим ДВС;
- 5) нагрузка на ДВС переменная и регулируется путем изменения положения дроссельной заслонки и регулировкой тормозного момента на тормозом устройстве при условии поддержания постоянной частоты вращения коленчатого вала $n=const$.

Моторные испытания по снятию нагрузочной характеристики необходимо проводить в следующей последовательности:

1) проверить готовность ДВС к пуску (см. п. 1.3) и работоспособность измерительного оборудования;

2) запустить и прогреть ДВС до температуры охлаждающей жидкости $t_{ож} = (75 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$ и температуры масла $t_m = (80 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$;

3) ввести ДВС в режим работы, соответствующий началу снятия нагрузочной характеристики: частота вращения – заданная, нагрузка на тормозном устройстве отсутствует, положение дроссельной заслонки – обеспечивающее получение заданной частоты вращения коленчатого вала, угол опережения зажигания оптимальный для данного режима работы ДВС;

4) выдержать ДВС на установленном режиме работы не менее 1 мин;

5) произвести запись показаний всех измерительных устройств в протокол испытаний (приложение Г);

6) несколько увеличить открытие дроссельной заслонки, установить заданную частоту вращения коленчатого вала тормозным устройством, подобрать оптимальный угол опережения зажигания для нового положения дроссельной заслонки и вновь установить прежнюю частоту вращения коленчатого вала тормозным устройством;

7) выдержать ДВС на установленном режиме работы не менее 1 мин;

8) произвести запись показаний всех измерительных устройств в протокол испытаний;

9) аналогичным образом, постепенно увеличивая открытие дроссельной заслонки, снять все остальные экспериментальные точки нагрузочной характеристики до полного открытия дроссельной заслонки. Во время проведения моторных испытаний следить за стабильностью теплового режима работы ДВС.

7.4 Задание по работе

1. На основании занесенных в протокол показаний измерительных приборов и устройств, произвести подсчет величин, характеризующих работу ДВС, и оценить погрешности измерений.

2. Построить графики нагрузочной характеристики:

$$G_T = f_1(N_e), g_e = f_2(N_e), \Theta_{omm} = f_3(N_e), \alpha = f_4(N_e), \eta_e = f_5(N_e).$$

3. Провести анализ графиков нагрузочной характеристики и сделать соответствующие выводы.

Полученные результаты заносятся в отчет, который должен содержать название, цель и задачи работы, заполненный протокол испытаний, графическое представление полученных результатов, их анализ и основные выводы по работе.

7.5 Контрольные вопросы

1. Что понимается под нагрузочной характеристикой ДВС?
2. Как изменяется расход топлива при работе ДВС по нагрузочной характеристике?
3. Какие факторы влияют на изменение механического к.п.д.?
4. Каковы условия снятия нагрузочной характеристики?
5. По какой методике проводится снятие нагрузочной характеристики?

характеристики карбюраторного ДВС по углу опережения зажигания

8.1 Общие положения

Целью работы является изучение методики снятия регулировочной характеристики карбюраторного ДВС по углу опережения зажигания.

Задачами работы являются:

- получение представления о регулировочной характеристике ДВС по углу опережения зажигания и о протекании рабочих процессов в ДВС при его работе при различных углах опережения зажигания;
- умение проведения испытаний по снятию регулировочной характеристики ДВС по углу опережения зажигания;
- умение обработки полученных результатов испытаний и их анализ.

8.2 Общие сведения о регулировочных характеристиках по углу опережения зажигания

Характеристикой по углу опережения зажигания называется зависимость мощности, часового расхода топлива, удельного эффективного расхода топлива и других показателей работы ДВС от угла опережения зажигания (рисунок 8.1).

Целью снятия характеристики по углу опережения зажигания является определение оптимального угла опережения зажигания на выбранном скоростном и нагрузочном режиме работы ДВС.

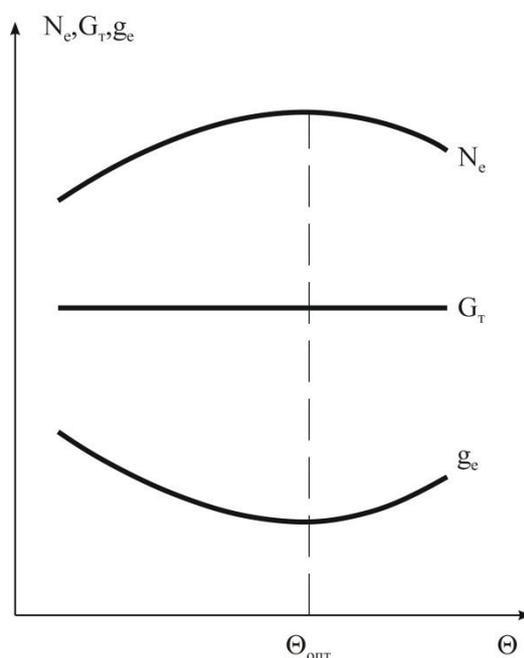


Рисунок 8.1 – Характеристика карбюраторного ДВС по углу опережения зажигания

Оптимальным углом опережения зажигания является угол, обеспечивающий наибольшее значение эффективной мощности. В случае невозможности достижения максимума эффективной мощности из-за возникновения детонации за оптимальный угол опережения зажигания принимается угол, на два градуса меньший того значения, при котором возникают детонационные стуки.

Эффективная мощность N_e в зависимости от угла опережения зажигания Θ имеет максимум, а удельный эффективный расход топлива g_e - минимум. Соответствующий обоим этим экстремумам угол опережения зажигания называется оптимальным Θ_{opt} .

Когда Θ меньше Θ_{opt} (т.е. при малых углах опережения зажигания, так называемом «позднем зажигании») процесс сгорания смещается на линию расширения, падает максимальное давление цикла, увеличиваются потери в систему охлаждения ДВС и с отработавшими газами. Все это приводит к уменьшению индикаторной работы, эквивалентной площади индикаторной диаграммы (рисунок 8.2, а) и снижению индикаторного к.п.д. η_i , а, следовательно, и эффективной мощности N_e

ДВС.

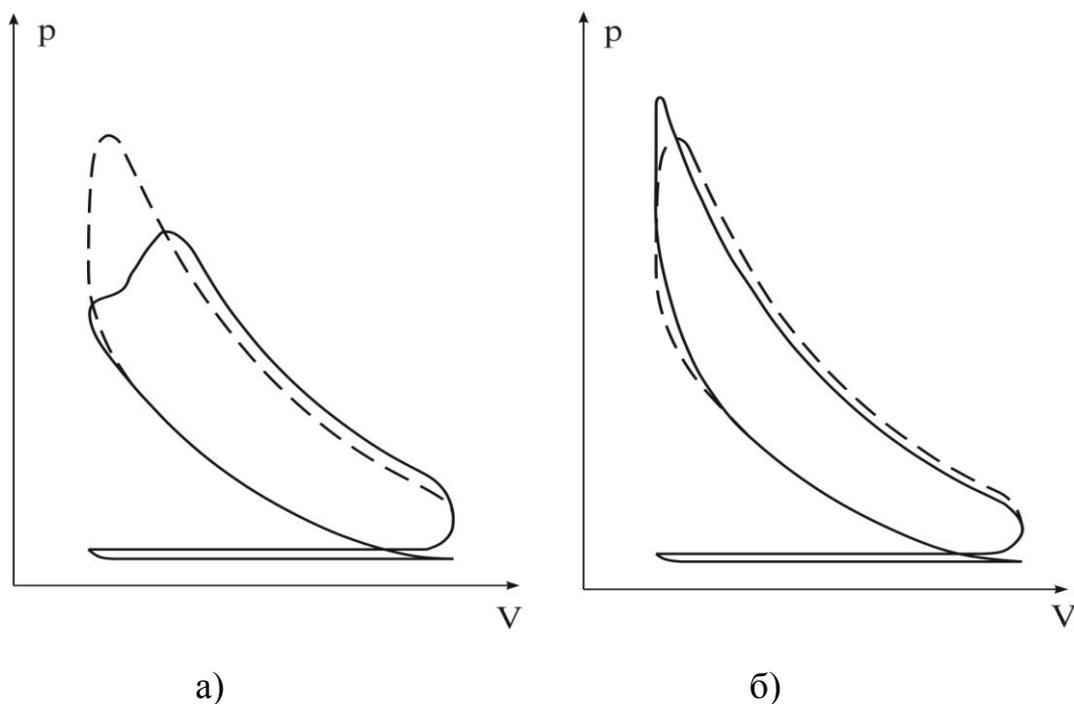


Рисунок 8.2 – Индикаторные диаграммы, снятые при нарушении оптимального угла опережения зажигания (штриховой кривой соответствует оптимальному углу опережения зажигания): а) чрезмерно «позднем зажигании»; б) чрезмерно «раннем зажигании»

Когда Θ больше Θ_{opt} (т. е. при углах опережения, больших оптимального, т.е. при «раннем зажигании») значительная часть топлива сгорает в условиях уменьшающегося объёма цилиндра до прихода поршня в ВМТ (рисунок 8.2, б), что приводит к чрезмерному росту максимальных давления и температуры цикла. Все это уменьшает индикаторную работу, приводит к неустойчивой работе ДВС, связанной с возможностью возникновения детонации, и в результате снижает мощность ДВС с увеличением расхода топлива. По экспериментальным данным увеличение угла опережения зажигания на один градус сверх оптимального на режимах полных нагрузок эквивалентно понижению октанового числа на 1,6 – 2,0 единицы.

8.3 Методика проведения испытаний по снятию регулировочной характеристики карбюраторного ДВС по углу опережения зажигания

Для снятия регулировочной характеристики карбюраторного ДВС по углу опережения зажигания требуется следующая материально-техническая база:

- 1) испытательный моторный стенд с установленным на нем ДВС и оборудованный системами измерения параметров работы ДВС;
- 2) устройство для определения расхода воздуха;
- 3) устройство для определения расхода топлива и секундомер;
- 4) приборы для определения параметров окружающей среды (барометр для определения атмосферного давления, термометр для определения температуры окружающего воздуха);
- 5) устройство для определения угла опережения зажигания.

При снятии регулировочной характеристики карбюраторного ДВС по углу опережения зажигания необходимо выполнение следующих условий:

- 1) положение дроссельной заслонки постоянное;
- 2) частота вращения коленчатого вала постоянная;
- 3) карбюратор ДВС отрегулирован в соответствии с требованиями завода-изготовителя;
- 4) постоянный нормальный рабочий тепловой режим ДВС;
- 5) переменными являются угол опережения зажигания Θ , который изменяется вручную независимо от наличия или отсутствия автоматов регулировки опережения зажигания, и регулировка тормозного момента на тормозном устройстве, обеспечивающая постоянство частоты вращения коленчатого вала.

Моторные испытания по снятию регулировочной характеристики карбюраторного ДВС по углу опережения зажигания необходимо проводить в следующей последовательности:

- 1) проверить готовность ДВС к пуску (см. п. 1.3) и работоспособность измерительного оборудования;

2) запустить и прогреть ДВС до температуры охлаждающей жидкости $t_{ож} = (75 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$ и температуры масла $t_m = (80 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$;

3) ввести ДВС в режим работы, соответствующий началу снятия регулировочной характеристики: плавно и медленно передвигая рычаг управления дроссельной заслонкой до заданного положения с одновременным изменением тормозного момента на тормозном устройстве установить требуемую частоту вращения коленчатого вала. Далее медленным перемещением рычага управления углом опережения зажигания установить $\Theta = 0^\circ$ у.п.к.в., поддерживая при этом заданную частоту вращения коленчатого вала изменением тормозной момента на тормозном устройстве.

4) выдержать ДВС на установленном режиме работы не менее 1 мин;

5) произвести запись показаний всех измерительных устройств в протокол испытаний (приложение Д);

6) увеличить угол опережения зажигания на $5 - 8^\circ$ у.п.к.в. и одновременно путем изменения регулировки тормозного момента на тормозном устройстве установить прежнюю заданную частоту вращения коленчатого вала;

7) выдержать ДВС на установленном режиме работы не менее 1 мин;

8) произвести запись показаний всех измерительных устройств в протокол испытаний;

9) аналогичным образом, увеличивая каждый раз Θ на $5 - 8^\circ$ у.п.к.в., произвести снятие всех остальных экспериментальных точек регулировочной характеристики. Испытания следует заканчивать при наступлении детонационных стуков или при явном уменьшении показаний тормозного устройства. Во время проведения моторных испытаний следить за стабильностью теплового режима работы ДВС.

8.4 Задание по работе

1. На основании занесенных в протокол показаний измерительных приборов и устройств, произвести подсчет величин, характеризующих работу ДВС, и оценить погрешности измерений.

2. Построить графики регулировочной характеристики: $N_e = f_1(\Theta)$; $G_T = f_2(\Theta)$; $g_e = f_3(\Theta)$.

На графиках указать оптимальное значение угла опережения зажигания.

3. Провести анализ графиков нагрузочной характеристики и сделать соответствующие выводы.

Полученные результаты заносятся в отчет, который должен содержать название, цель и задачи работы, заполненный протокол испытаний, графическое представление полученных результатов, их анализ и основные выводы по работе.

8.5 Контрольные вопросы

1. Что понимается под регулировочной характеристикой карбюраторного ДВС по углу опережения зажигания?

2. Как изменяется эффективная мощность и расход топлива при работе ДВС при различных углах опережения зажигания?

3. Как протекают рабочие процессы в ДВС при «позднем зажигании»?

4. Как протекают рабочие процессы в ДВС при «раннем зажигании»?

5. По какой методике проводится снятие регулировочной характеристики?

Заключение

В данных методических указаниях приведен комплекс лабораторных работ, предназначенный для более углубленного изучения дисциплины «Силовые агрегаты» и понимания на практике протекания процессов в ДВС автомобилей.

Рассмотрены основные положения и правила проведения стендовых испытаний, установленные государственными стандартами. Приведены основные показатели, характеризующие работу ДВС, методики их определения и необходимое для этого оборудование.

При проведении испытаний используется испытательный моторный стенд, выполненный на базе обкаточно-тормозного стенда КИ-5543, особенности конструкции и устройства которого, а также принципа работы стенда и его систем рассмотрены в данных методических указаниях.

В тексте методических указаний приведена информация о рабочих процессах в ДВС на различных режимах, а также методики определения показателей работы ДВС на данных режимах.

После проведения моторных испытаний в соответствии с заданием по лабораторной работе студент должен оформить полученные результаты в виде отчета, который должен содержать название работы, цель работы, протоколы испытаний, расчетные формулы, полученные результаты испытаний, представленные в виде графических зависимостей, а также анализ данных зависимостей и обобщающие выводы по работе.

Причем анализ полученных результатов дается в развернутом виде – необходимо дать описание протекания рассматриваемого процесса, сопоставить полученные данные с известными теоретическими положениями или эмпирическими справочными данными, обобщить результаты исследований в виде лаконичных выводов по работе, подготовить ответы на вопросы, приводимые в методических указаниях к выполнению лабораторных работ.

Список использованных источников

1. ГОСТ 14846-81. Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний.- Взамен ГОСТ 14846-69 ; введ. 1981–06–24. – М. : Изд-во стандартов, 2003. – 43 с.
2. **Луканин, В.Н.** Двигатели внутреннего сгорания. В 3 кн. Кн. 1. Теория рабочих процессов: учебник для ВУЗов / В.Н. Луканин [и др.] ; под ред. В.Н. Луканина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2005. – 479 с.
3. **Туревский, И.С.** Теория двигателя: учеб. пособие / И.С. Туревский. – М.: Высш. шк., 2005. – 238 с.
4. **Вырубов, Д.Н.** Двигатели внутреннего сгорания: Конструирование и расчет на прочность поршневых и комбинированных двигателей: учебник для ВУЗов / Д.Н. Вырубов [и др.] ; под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1984. – 384 с.
5. **Колчин, А.И.** Расчет автомобильных и тракторных двигателей: учеб. пособие для ВУЗов / А.И. Колчин, В.П. Демидов – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2002 – 496 с.: ил.
6. **Райков, И. Я.** Испытания двигателей внутреннего сгорания: учеб. для вузов / И. Я. Райков. - М. : Высш. шк., 1975. - 320 с. - Библиогр.: с. 315-317.
7. **Дмитриевский, А.В.** Автомобильные бензиновые двигатели / А.В. Дмитриевский. – М.: ООО «Издательство АСТ»: ООО «Издательство Астрель», 2005. – 127 с.

Приложение А

(справочное)

Таблица А .1 – Основные параметры автомобильных двигателей отечественного и зарубежного производства

Модели двигателя	Тип	Расположение и число цилиндров	Диаметр цилиндра x ход поршня, мм	Рабочий объем, дм ³	Степень сжатия	Номинальная мощность, кВт	Номинальная частота вращения, мин ⁻¹	Максимальный крутящий момент, Н·м	Частота вращения при M _{с max} , мин ⁻¹	Минимальный удельный расход топлива, г/кВт·ч	Масса двигателя, кг	Топливо
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
МеМЗ-968Н	БВ	V4	76x66	1,197	7,2	30,9	4400	74,5	2700 – 2900	324	100	А-76
МеМЗ-245.10	БЖ	P4	72x67	1,091	9,5	39	5300-5500	80,4	3000 – 3500	286	100	АИ-93
ВА3-2106	БЖ	P4	79x80	1,568	8,5	55,5	5400	116	3000	300	117	АИ-93
ВА3-2108	БЖ	P4	76x71	1,288	9,9	47	5600	94	3500	279	95	АИ-93
41Э	БЖ	P4	82x70	1,48	8,5	55,2	5800	107,9	3000-3800	285	144	АИ-93
ЗМЗ-24Д	БЖ	P4	92x92	2,445	8,2	68,0	4500	180,4	2500	295	180	АИ-93
ЗМЗ-4024.10	БЖ	P4	92x92	2,445	8,2	81,0	4500	196	2400-2600	279	180	АИ-93
ЗМЗ-505.10	БЖ	V8	100x88	5,53	8,5	143,0	4000	397	2000-2500	265	265	АИ-93
ЗМЗ-53-11	БЖ	V8	92x80	4,25	7,0	88,3	3200	284,4	2000-2500	300	262	А-76
ЗИЛ-508.10	БЖ	V8	100x95	6,0	7,1	110	3200	402	1800-2000	299	490	А-76
ЗИЛ-114	БЖ	V8	108x95	7,0	9,3	202,3	4000	559	2700-2900	292,4	265	АИ-95
ЗИЛ-645	ДЖ	V8	110x115	8,74	18,5	136	2800	509	1400-1600	217	650	ДТ
ЯМЗ-642.10	ДЖ	V6	120x120	8,14	17,0	117	2600	480	1600-1800	220	590	ДТ
КамАЗ-740.10	ДЖ	V8	120x120	10,85	17,0	154	2600	637	1600-1800	220	590	ДТ
КамАЗ-7403.10	ДЖТ	V8	120x120	10,85	16,0	191	2600	785	1600-1800	217,6	780	ДТ
ЯМЗ-236М	ДЖ	V6	130x140	11,15	16,5	132	2100	677	1600	216	890	ДТ
ЯМЗ-238М	ДЖ	V8	130x140	14,86	16,5	176	2100	883	1450-1600	216	1075	ДТ
ЯМЗ-238Б	ДЖТ	V8	130x140	14,85	15,2	220	2000	1180	1200-1400	204	1130	ДТ

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ЯМЗ-240 ПМ	ДЖТ	V12	130x140	22,3	15,2	309	2100	1491	1500-1600	220	1770	ДТ
STEYR WD 615.42	ДЖТ	P6	126x130	9,726	15,5	200	2200	1100	1200-1400	-	-	ДТ
STEYR WD 815.72	ДЖТ	P8	126x130	11,97	16	306	2200	1650	1300-1500	-	-	ДТ
Volkswagen 1,8190	БЖ	P4	81x86,4	1,781	9	66	5500	-	-	-	-	АИ-95
Ford Granada EFI	БЖ	V6	93x72	2,935	9,7	143	5750	275	-	-	-	АИ-95
Audi V8	БЖ	V8	81x86,4	3,56	10,6	184	5600	340	4000	-	-	АИ-95
Toyota 1G-GTE	БЖ	P6	75x75	1,988	8,5	136	6200	240	3200	-	-	АИ-95
Volvo B230ET	БЖ	P4	96x80	2,316	9	134	5800	260	3400	-	-	АИ-95
BMW-525d	ДЖ	P6	80x81	2,497	22	63	4600	152	2500	-	-	ДТ
Daimler-Benz OM603	ДЖ	P6	87x84	2,443	22	80	4600	185	2800	-	-	ДТ
Д12А	ДЖ	V12	150x180	38,8	14,5	220	1500	1475	1100-1200	217	-	ДТ
AVIA 712.18	ДЖ	P4	102x110	3,596	17,5	61	3000	213	1800	-	368	ДТ
RAVA-MAN D2156 HM6U	ДЖ	P6	121x150	10,35	17	142	2100	697	1300	-	980	ДТ
RAVA-MAN D2156 HM6UT	ДЖТ	P6	121x150	10,35	17	162	2100	815	1300	-	980	ДТ
Mercedes-Benz OM422 482.9	ДЖ	V8	128x142	14,618	16,5	206	2300	1040	1200	-	900	ДТ
Mercedes-Benz OM442A	ДЖТ	V8	128x142	14,618	16,3	269	2100	1619	1500	-	-	ДТ
MIDR 06.35.40 H	ДЖТ	P6	135x140	12,0	16,3	283	2000	1700	1200	-	-	ДТ
ТД-122FH	ДЖТО	P6	130x150	12,0	15,0	262	1900	1570	1200	-	-	ДТ
TAM F8L413F	ДЖ	V8	125x130	12,763	17	188	2500	817	1400-1600	-	820	ДТ
MS640	ДЖТО	P6	135x150	11,94	-	235	2000	1290	1250	-	-	ДТ
IVECO-8210.42	ДЖТО	P6	137x156	13,798	17,1	2775	1800	1800	1000	-	-	ДТ
T3A-929-13	ДВ	V10	120x140	15,825	16,5	210	2200	1030	1400	-	-	ДТ
Deutz BF8L513	ДВТ	V8	125x130	12,763	-	225	2300	1120	1400	-	-	ДТ

Условные обозначения: Б - бензиновый; Д - дизельный; Ж - жидкостное охлаждение; В - воздушное охлаждение; Т - турбо-наддув; ТО - турбонаддув с промежуточным охлаждением; Р - рядное расположение цилиндров; V - образное

Приложение Б
(обязательное)

Таблица Б.1 - Протокол проведения испытаний

		Частота вращения коленчатого вала, мин ⁻¹											
xx		1000		1300		1600		1900		2200		2500	
α _{др} , °	нач.	нач.		нач.		нач.		нач.		нач.		нач.	
	1	1		1		1		1		1		1	
	2	2		2		2		2		2		2	
	3	3		3		3		3		3		3	
СО													
СН													

Пр и м е ч а н и е: α_{др} – угол открытия дроссельной заслонки, °;
G – расход топлива за время одного замера (ΔT=30 с), определяемый массовым методом, г/с.

Приложение В
(обязательное)

Таблица В.1 – Протокол проведения испытаний

		Частота вращения коленчатого вала, мин ⁻¹																	
		1600			1800			2000			2200			2400			2600		
P _y , кгс		нач.			нач.			нач.			нач.			нач.					
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
G, г/с	1																		
	2																		
	3																		
CO																			
CH																			

П р и м е ч а н и е: $\alpha_{\text{реост}}$ – угол опускания пластин реостата в раствор, °. При проведении испытаний составляет $\alpha_{\text{реост}} = 40^\circ$

G – расход топлива за время одного замера ($\Delta T = 30$ с), определяемый массовым методом, г/с.

Приложение Г
(обязательное)

Таблица Г.1 – Протокол проведения испытаний

$\alpha_{др}, ^\circ$	5°	20°	35°	50°	65°	80°
P_y , кгс	-					
G , г/с	нач.	нач.	нач.	нач.	нач.	нач.
	1	1	1	1	1	1
	2	2	2	2	2	2
	3	3	3	3	3	3
СО						
СН						

Пр и м е ч а н и е: $\alpha_{др}$ – угол открытия дроссельной заслонки, °;
 G – расход топлива за время одного замера ($\Delta T=30$ с), определяемый массовым методом, г/с.
 Частота вращения коленчатого вала при испытаниях устанавливается $n=2500$ мин⁻¹.

Приложение Д
(обязательное)

Таблица Д.1 – Протокол проведения испытаний

		Угол опережения зажигания, ° у.л.к.в.					
		0	5	10	15		
P_y , кгс							
n , мин ⁻¹							
G , г/с	нач.		нач.	нач.	нач.	нач.	
	1		1	1	1	1	
	2		2	2	2	2	
	3		3	3	3	3	
CO							
CH							

Приложение Е

(обязательное)

Бланк отчета по лабораторным работам

Министерство образования и науки Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Оренбургский государственный университет»

Транспортный факультет

Кафедра автомобильного транспорта

ОТЧЕТ

по лабораторным работам

по курсу «СТЕНДОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ ДВС»

ОГУ _____ . _____ . ____ О

Руководитель:

_____ г.
" ____ " _____ 20__ г.

Исполнитель:

студент гр. _____

_____ г.
" ____ " _____ 20__ г.

Оренбург 20__

