

**ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ДВС И ИХ ПОЛУЧЕНИЕ
НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ
СТЕНДЕ**

2007



САМАРА

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЕВА»

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ
ДВС И ИХ ПОЛУЧЕНИЕ
НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ
СТЕНДЕ

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве методических указаний*

САМАРА
Издательство СГАУ
2007

УДК 621.431.75(075)
ББК 39.55



**Инновационная образовательная программа
"Развитие центра компетенции и подготовка
специалистов мирового уровня в области аэро-
космических и геоинформационных технологий"**

Составители: *Ю.Л. Ковылов, М.С. Крепляк, М.Д. Филимонов*

Рецензент канд. техн. наук, доц. *Ф. В. Паровай*

**Основные характеристики ДВС и их получение на эксперимен-
тальном стенде: метод. указания / сост. Ю.Л. Ковылов, М.С. Крепляк,
М.Д. Филимонов. - Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2007. -
76 с. : ил.**

Методические указания содержат сведения об основных характеристиках ДВС. Лабораторные работы являются частью курса «Теория рабочих процессов и моделирования ДВС». Цель этих работ - развитие у студентов навыков обработки и анализа информации, полученной при испытании натурного ДВС.

Предназначены для студентов факультета двигателестроения, обучающихся по специальности «Двигатели внутреннего сгорания», а также для студентов факультета эксплуатации ЛА и двигателей.

УДК 621.431.75(075)
ББК 39.55

© Самарский государственный
аэрокосмический университет, 2007

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Данные методические указания предназначены для студентов, выполняющих цикл лабораторных работ при изучении курса "Теория рабочих процессов двигателей внутреннего сгорания".

Основной целью лабораторных работ является усвоение и закрепление знаний по теории рабочих процессов поршневых двигателей внутреннего сгорания, а также получение некоторых практических навыков в организации и проведении стендовых испытаний двигателей.

В процессе лабораторных работ студенты знакомятся с оборудованием, контрольно-измерительным оснащением испытательных стендов, методикой и условиями проведения стендовых испытаний двигателей.

Одной из самых главных и наиболее трудных задач лабораторных работ является анализ результатов испытаний, т.е. раскрытие причин полученных опытных закономерностей протекания показателей двигателя при изменении режимных или регулировочных параметров (нагрузка, частота вращения, состав горючей смеси, угол опережения зажигания и т.п.). Это возможно лишь на базе теории рабочих процессов, излагаемой в учебниках и лекционных курсах.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

N_e - эффективная мощность, кВт
 $M_{кр}$ - крутящий момент, Н·м
 n - частота вращения, об/мин
 D, S - диаметр, ход поршня, мм
 V_h - рабочий объем цилиндра, см³
 g_e - эффективный удельный расход топлива, кг/(кВт·ч)
 ε - степень сжатия
 α - коэффициент избытка воздуха
 $\varphi_{оз}$, $\varphi_{кв}$ - угол опережения зажигания, поворота КВ, град
 G_a - расход воздуха, кг/ч
 G_T - расход топлива, кг/ч
 $\rho_{в}$, ρ_T , ρ_k - плотность воздуха, топлива, за компрессором, кг/м³
 p - давление, Па
 T - температура, К
 V_m - мерный объем, мл
 t - тактность ДВС, длительность замера, с
 L_0 - стехиометрический коэффициент, кмоль возд/кг топл.
 η_v - коэффициент наполнения
 η_b , η_e - КПД индикаторный, эффективный
 H_u - низшая теплота сгорания топлива, МДж/кг
 R - газовая постоянная, Дж/(кг·град)
 L_{is} , $L_{сж}$, L_p - работа индикаторная, сжатия, расширения, Дж
 Q_1 - тепло, подведенное в цикл, Дж
 μ_1 , μ_2 - показатель политропы сжатия, расширения

ИНДЕКСЫ

e- эффективный	t- топливо
i- индикаторный	v- воздух
h- цилиндра (рабочий объем)	мех- механический
H- двигателя (рабочий объем)	кв- коленвал
0- начальный	opt-оптимальный
к- за компрессором	

СОКРАЩЕНИЯ

КШМ- кривошипно- шагунный механизм
КПД- коэффициент полезного действия
ДВС- двигатель внутреннего сгорания
ДСИЗ- двигатель с искровым зажиганием
ТВС- топливовоздушная смесь
ДМРВ- датчик массового расхода воздуха
АЦП- аналогово-цифровой преобразователь
ВСХ- внешняя скоростная характеристика

Цель лабораторных работ:

1. Знакомство с испытательным стендом, его оборудованием и системами, методами экспериментального получения характеристик поршневых ДВС.
2. Развитие у студентов навыков обработки и анализа информации, полученной при испытании натурального двигателя, с использованием сведений из лекционной части курса «Теория рабочих процессов и моделирование процессов ДВС» (ТРП).

Порядок проведения лабораторных работ

1. Ознакомление с правилами техники безопасности при испытании ДВС на учебном стенде.
2. Ознакомление с методикой и теорией проведения лабораторной работы.
3. Проверка готовности студентов к выполнению лабораторной работы. При подготовке к лабораторным работам требуется самостоятельное изучение соответствующих разделов лекционного курса.
4. Ознакомление с экспериментальным стендом, с объектом испытания – двигателем УМЗ-5А и его системами.
5. Проведение испытания с измерением основных параметров.
6. Обработка результатов испытания, оформление результатов испытания, оформление протокола, построение характеристик ДВС
7. Анализ результатов испытания и сдача лабораторной работы преподавателю.

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Испытание двигателей связано с источниками повышенной опасности, как то: возможность воспламенения горючих и смазочных материалов; высокое напряжение в системе зажигания двигателя и опасность поражения током от системы питания электротормоза; присутствие токсичных продуктов сгорания в отработавших газах и возможность их проникновения в помещение для испытания; вращающиеся детали двигателя и испытательной установки; наличие горячих элементов выпускной системы, систем охлаждения и смазки двигателя.

В связи с повышенной опасностью при испытании двигателей к помещениям и оборудованию испытательных боксов предъявляются высокие требования по технике безопасности и противопожарной безопасности, регламентированные специальными правилами.

В целях обеспечения безопасности и исключения несчастных случаев во время испытания двигателей студенты проходят обязательный предварительный (вводный) инструктаж по технике безопасности.

Инструктаж проводится на первом лабораторном занятии при ознакомлении с оборудованием лаборатории и регистрируется в специальном журнале.

Студенты, не прошедшие вводный инструктаж по технике безопасности, к лабораторным работам не допускаются.

Студенты обязаны выполнять следующие правила по технике безопасности, отражающие специфику используемого оборудования и особенности проведения лабораторных работ.

1. При испытании двигателей в помещении бокса должно быть не больше указанного преподавателем числа студентов.
2. Во время испытания студенты обязаны находиться на указанных им рабочих местах.
3. Запрещается самовольное включение приборов, кнопочных пускателей, тумблеров, поворачивание рукояток регулирующих органов и прикосновение ко всем токопроводам стенда.
4. При обнаружении в процессе испытания двигателей каких-либо

неожиданных, посторонних, необычных, с точки зрения студентов, явлений (утечки топлива из сосудов и устройств для измерения его расхода или топливной системы, возникновение шумов, стуков, вибраций, появление запаха, пара, дыма, огня, нарушение плотности соединений в системах, искрений или разрывы в электрических цепях и др.) следует немедленно сообщить преподавателю или учебному мастеру.

5. В случае возникновения пожара нужно по указанию преподавателя (учебного мастера) организованно и быстро покинуть помещение стенда или по его просьбе приступить к ликвидации загорания, используя имеющиеся в боксе противопожарные средства.
6. При прогревом двигателе и во время его работы запрещается прикасаться:
 - а) к выпускному коллектору, а также трубопроводам двигателя и установки;
 - б) ко всем элементам, окрашенным в красный цвет, и к внешним поверхностям двигателя;
 - в) к проводам высокого напряжения системы зажигания двигателя.
7. При легкой травме (ожогах, ударах, порезах) нужно использовать имеющиеся в боксе медицинские средства.
8. Категорически запрещается курение в помещениях лаборатории и прилегающих коридорах. Для этой цели отведено специальное место.

Обязательные правила техники безопасности при проведении регулировок или испытаний топливной аппаратуры двигателей оговорены в соответствующих разделах методических указаний.

1 ОБЪЕКТ ИСПЫТАНИЙ - ДВИГАТЕЛЬ УМЗ-5А

1.1 Основные технические данные двигателя

- Тип двигателя: бензиновый одноцилиндровый, четырехтактный, воздушного охлаждения;
- Диаметр цилиндра $D = 82 \text{ мм}$;
- Ход поршня $S = 90 \text{ мм}$;
- Рабочий объем цилиндра $V_h = 475 \text{ см}^3$;
- Степень сжатия $\varepsilon = 6$;
- Частота вращения коленчатого вала двигателя на номинальном режиме $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$;
- Номинальная мощность $N_e = 3,31 \text{ кВт}$;
- Эффективный удельный расход топлива на номинальном режиме $g_e = 517 \text{ г}/(\text{кВт} \cdot \text{ч})$;
- Угол опережения зажигания на номинальном режиме $\varphi_{Oz} = 21^\circ$;
- Топливо: бензин марки А-76;
- Масло: М8-Б₁;
- Карбюратор: К-16ЖМ, поплавковый, горизонтальный;
- Система смазки: разбрызгиванием;
- Система зажигания: магнето;
- Система охлаждения: воздушная, принудительная центробежным вентилятором;
- Масса сухая: 80 кг.

1.2 Описание конструкции двигателя УМЗ-5А

Карбюраторный четырехтактный поршневой двигатель УМЗ-5А (см. макет в ауд. 139^а) имеет следующие механизмы и системы:

- Кривошипно-шатунный механизм (КШМ) и детали цилиндропоршневой группы;
- Механизм газораспределения;
- Система смазки;
- Система охлаждения;
- Система питания;
- Система зажигания.

В кривошипно-шатунном механизме возвратно-поступательное движение поршня 1 преобразуется во вращательное движение вала. Цилиндропоршневая группа и кривошипно-шатунный механизм включают в себя следующие детали: блок цилиндра 2, головка блока цилиндра 3 с уплотняющей прокладкой, поршень, поршневые кольца, поршневой палец 4, шатун 5, коленчатый вал 6, маховик 7, картер двигателя 8 с поддоном 9.

Цилиндр с головкой блока цилиндра образуют объем, где осуществляется рабочий цикл двигателя; стенки цилиндра направляют движение поршня. В головке размещена Г-образная камера сгорания.

Поршень представляет собой металлический стакан, установленный в цилиндре с некоторым зазором. В такте расширения он воспринимает давление газов.

На поршне установлены два компрессионных и одно маслосъемное кольцо. Компрессионные кольца уплотняют поршень в цилиндре и предназначены для предотвращения прорыва газов через зазор между юбкой поршня и стенкой цилиндра. Маслосъемное кольцо снимает излишки масла со стенок цилиндра, препятствуя проникновению его в камеру сгорания.

Шатун передает усилие от поршня на коленчатый вал и вместе с валом преобразует возвратно-поступательное движение поршня во вращательное движение вала. Для увеличения прочности стержень шатуна имеет двутавровое сечение. Верхняя головка шатуна предназначена для установки поршневого пальца плавающего типа,

шарнирно соединяющего шатун с поршнем. Нижняя разъемная головка шатуна служит для его соединения с шатунной шейкой коленчатого вала.

Коленчатый вал воспринимает усилия от давления газов в цилиндре, действующие на поршень. Коленчатый вал имеет две коренные шейки, вращающиеся в шариковых подшипниках, и одну шатунную шейку. Развиваемый на валу крутящий момент передается потребителю.

Маховик представляет собой чугунный тщательно сбалансированный диск определенной массы. Кроме обеспечения равномерного вращения коленчатого вала и вывода КШМ из мертвых точек, маховик после раскручивания вала способствует преодолению сопротивления сжатия в цилиндре при пуске двигателя. На двигателе УМЗ-5А маховик служит ротором вентилятора системы воздушного охлаждения.

Картер двигателя является основанием для установки коленчатого вала и других деталей двигателя. Снизу к картеру присоединен поддон, защищающий двигатель от загрязнения и служащий резервуаром для масла.

Механизм газораспределения служит для впуска в цилиндр свежей топливовоздушной смеси и выпуска отработавших газов в соответствии с фазами процессов газообмена рабочего цикла. В двигателе УМЗ-5А применен механизм газораспределения клапанного типа с нижним распределительным валом 10. Механизм газораспределения имеет следующие детали: впускной 11 и выпускной 12 клапаны с пружинами, деталями крепления и направляющими втулками, толкатели, распределительный вал и распределительные шестерни. Распределительный вал приводится в движение через зубчатую передачу от коленчатого вала. Газораспределительный механизм расположен в боковой камере блока цилиндра.

Система смазки комбинированная. Масло наливается в поддон картера двигателя и подается в лоток 13 насосом 14 плунжерного типа. Из лотка в шатунный подшипник масло подается при помощи "черпалки" (маслозаборник на нижней крышке шатуна), при прохождении НМТ. Разбрызганное шатуном масло, создает масляный туман. Масляный туман, осаждаясь на поверхности деталей, смазывает их. Так смазываются стенки цилиндра, поршневой палец, распределительный

вал, толкатели и кулачки распределительного вала и т.д.

Система охлаждения предназначена для отвода тепла от стенок цилиндра и головки блока. В двигателе УМЗ-5А охлаждение воздушное, принудительное, центробежным вентилятором, выполненным заодно с маховиком. При работе двигателя лопасти вентилятора засасывают воздух и прогоняют его между кожухом 15 и ребрами охлаждения цилиндра и головки.

Система питания предназначена для приготовления топливовоздушной смеси определенного состава, зависящего от режима работы двигателя и внешних условий. Топливная система серийного двигателя снабжена карбюратором К-16ЖМ поплавкового горизонтального типа 16.

Система зажигания предназначена для воспламенения рабочей смеси, находящейся в цилиндре двигателя. На двигателе УМЗ-5А система зажигания состоит из источника низкого напряжения; катушки зажигания, преобразующей ток низкого напряжения в импульсы тока высокого напряжения для создания искрового разряда между электродами свечи 17. Свеча зажигания установлена вертикально в головке блока.

2 СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ДВС

2.1 Описание структуры стенда для испытания ДВС

Для проведения испытаний одноцилиндрового 4-тактного ДВС УМЗ-5А применяется стенд (см. рис. 1), созданный на кафедре теплотехники и тепловых двигателей в Самарском государственном аэрокосмическом университете. Стенд предназначен для определения эффективных параметров двигателя и изучения влияния на них различных факторов. Для этого вал ДВС 1 соединён с валом мотор-генератора 2 ГСР12000, который в режиме генератора выполняет роль нагрузки на поршневой двигатель. Регулирование нагрузки осуществляется изменением величины силы тока в обмотке возбуждения генератора, за счёт чего усиливается или уменьшается тормозящее взаимодействие электромагнитных полей статора и ротора. Статор электрогенератора

выполнен подвижным: он имеет возможность качаться в подшипниковых опорах, что позволяет через прикрепленный к нему рычаг передавать тормозящее усилие на динамометр 3. По величине этой силы можно судить о величине крутящего момента, приложенного к ротору со стороны ДВС. Изменением коммутации обмоток генератор можно перевести в режим работы электродвигателя. Испытуемый образец ДВС УМЗ-5А, установлен на подmotorной раме. Для компенсации погрешностей установки вал генератора ГСР12000 и ДВС соединены при помощи эластичной муфты 5, установленной на подвижном шлицевом соединении. Мотор-генератор, работая в режиме электродвигателя, приводит во вращение коленчатый вал ДВС, т.е. выполняет функции стартера при запуске испытуемого двигателя или при его прокрутке без зажигания. После запуска ДВС, мотор-генератор ГСР12000 автоматически переходит в режим генератора и позволяет осуществлять загрузку поршневого двигателя мощностью, необходимой для поддержания требуемой частоты вращения коленчатого вала. Вырабатываемая электроэнергия преобразуется в тепловую на балластных сопротивлениях. Крутящий момент реакции статора с помощью рычага передается на динамометр, а скорость вращения вала ДВС фиксируется с помощью измерителя частоты вращения. Управление дроссельной заслонкой карбюратора осуществляется дистанционно с пульта управления.

Для нормальной работы испытуемого образца на стенде существуют системы обеспечения жизнедеятельности двигателя.

Система охлаждения предназначена для поддержания стабильного температурного режима двигателя. Двигатель УМЗ-5А воздушного охлаждения имеет встроенный центробежный вентилятор охлаждения, который находится на маховике двигателя.

Система топливоподачи стенда предназначена для питания испытуемого образца топливом. Она содержит топливный бак ёмкостью 5 литров, установленный в технологическом помещении, запорный вентиль, штихпробер, блок электроклапанов 8, предназначенный для автоматизации процесса замера расхода топлива.

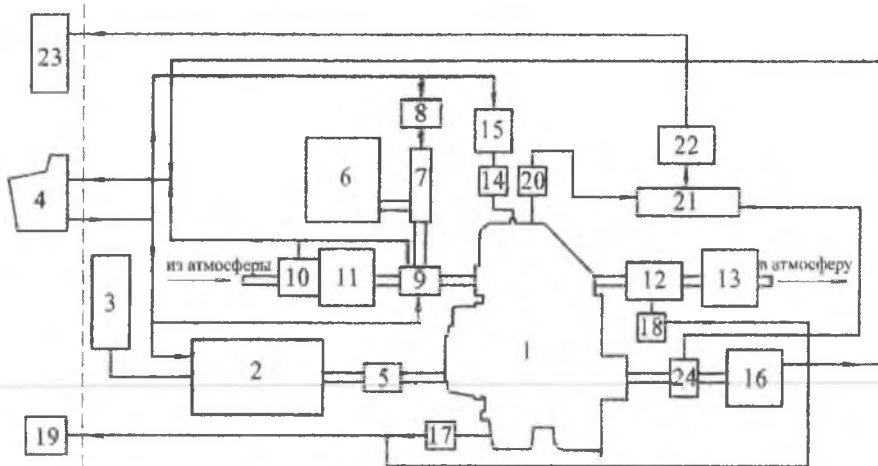


Рис. 1 Блок схема экспериментальной установки:

1 – двигатель УМЗ-5А; 2 – тормозное устройство; 3 – весовая головка; 4 – пульт управления; 5 – эластичная муфта и карданный вал; 6 – топливный бак; 7 – пггипробер; 8 – блок управления клапанами пггипробер; 9 – карбюратор; 10 – расходомер воздуха; 11 – ресивер; 12 – глушитель; 13 – вытяжка; 14 – свеча зажигания; 15 – катушка зажигания; 16 – тахогенератор; 17 – датчик температуры картера; 18 – датчик температуры выхлопных газов; 19 – цифровой термометр; 20 – датчик давления ДД-10; 21 – тензометрическая аппаратура 8АНЧ-23; 22 – аналого-цифровой преобразователь; 23 – ЭВМ; 24 – датчик угловых меток

Система эвакуации выхлопных газов предназначена для удаления продуктов сгорания из помещений испытательного бокса. Система содержит магистраль отвода выхлопных газов двигателя, стендовый глушитель 12 и вентилятор для принудительной эвакуации выхлопных газов.

Все органы управления двигателем, а также все измерительное оборудование выведено за пределы испытательного бокса в пультное помещение. Для поддержания в боксе нормальной рабочей температуры (18-27°C) и вентиляции помещения установлены два компрессора – вытяжной и приточный.

2.2 Измерительная аппаратура стенда

2.2.1 Измерение расхода воздуха

Объемный расходомер

Для измерения расхода воздуха, потребляемого двигателем, используется объемный расходомер роторного типа (рис. 2).

Под действием перепада давлений на входе в расходомер и выходе из него роторы-поршни, связанные между собой шестернями и имеющие в поперечном сечении форму восьмерки, вращаясь, отмеряют за поворотота определенный объем воздуха (мерный объем). За каждый оборот роторов дважды происходит наполнение мерных полостей и дважды - выталкивание из них воздуха.

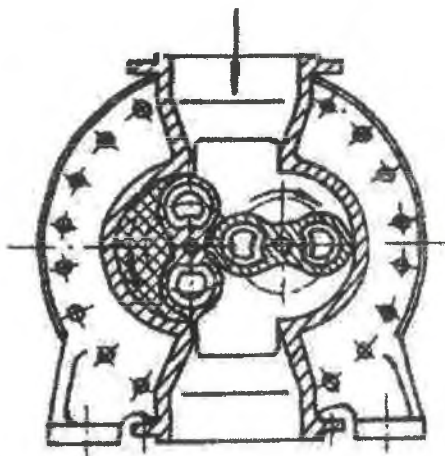


Рис. 2 Объемный расходомер

Для измерения количества прошедшего через расходомер воздуха необходимо подсчитать число оборотов вала одного из роторов в единицу времени и умножить на величину мерного объема ($1,7094\text{дм}^3$). Это выполняется с помощью герметичного контакта, на который воздействует магнит, прикрепленный к валу одного ротора поршня. Сигналы о замыкании контактов подаются на электронный счетчик, в качестве которого использован микрокалькулятор, который подсчитывает число замыканий за 1 минуту.

Датчик массового расхода воздуха

Термопленочный датчик массового расхода воздуха Bosch HFM5 (см. рис. 3). Определяет с большой точностью массу воздуха, проходящего через двигатель.

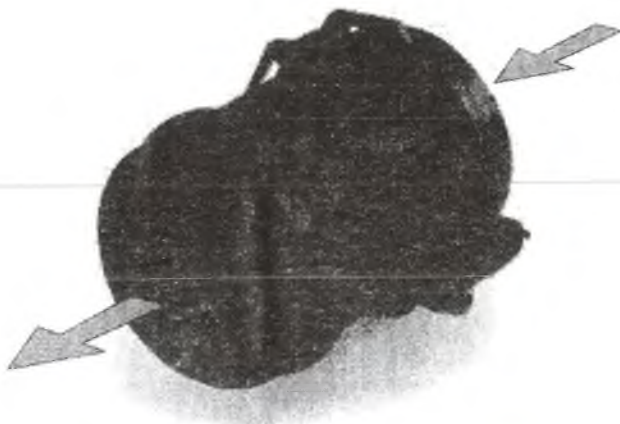


Рис. 3 ДМРВ HFM5 в сборе с измерительным парубком

На измерительном элементе 3 (рис. 4) датчика центрально расположенный нагревательный резистор обеспечивает нагрев микромеханической мембраны 5 и поддерживает постоянной ее температуру. Вне регулируемой нагревательной зоны 4 температура резко падает. Два терморезистора T_1 и T_2 соответственно в точках M_1 и M_2 , на рис. 4, регистрируют распределение температуры на мембране 5. При отсутствии потока воздуха температурная характеристика 1 одинакова с обеих сторон зоны нагрева ($T_1 = T_2$). Если воздух обтекает измерительный элемент, то температурная характеристика 2 изменяется и между точками измерений M_1 и M_2 возникает разность температур ΔT , которая является мерой массового расхода воздуха и направления потока. Выходной сигнал датчика – напряжение, пропорциональное массовому расходу воздуха через датчик.

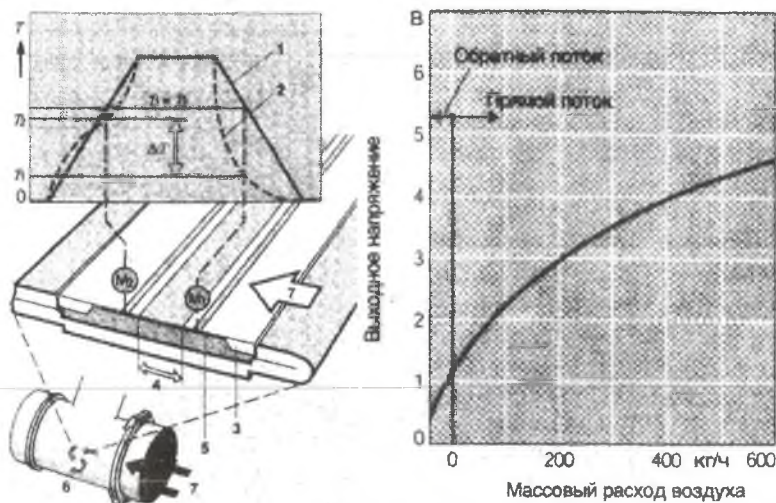


Рис. 4 Принцип работы ДМРВ

После соответствующей математической обработки получена функция, описывающая характеристику ДМРВ (рис. 4):

$$Q_i = 2,3287 \cdot U^4 - 11,496 \cdot U^3 + 33,614 \cdot U^2 - 19,11 \cdot U - 4,5452,$$

где U выходное напряжение ДМРВ Bosch HFM5.

2.2.2 Измерение расхода топлива

Расход топлива измеряют штихпробером, рис. 5. Принцип работы основан на замере времени израсходования известного объема топлива V_T .

В момент включения питания открываются электромагнитные клапана 3 и 4, по трубкам топливо подается карбюратору и происходит наполнение мерного объема 2. При его заполнении, топливо затеняет верхний фотоприемник и происходит закрытие клапана 4.

При нажатии кнопки «Замер» включается секундомер, закрывается клапан 3, открывается клапан 4, двигатель расходует топливо из мерного объема 2. В момент прохождения уровня топлива мимо нижней оптической пары останавливается секундомер, открывается клапан 3.

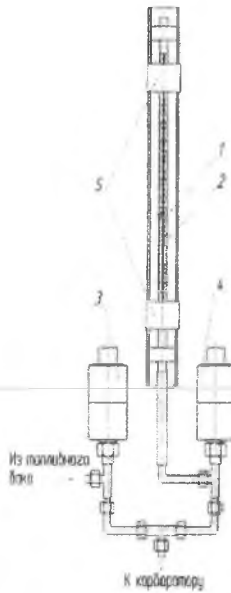


Рис. 5 Штихпробер

Расход вычисляют по формуле:

$$G_T = \frac{V_T \cdot \rho}{\tau_T},$$

где τ_T – время, $V_T=28,73$ мл – мерный объем, ρ - плотность топлива.

2.2.3 Измерение температуры

При измерении температуры применяют термопары, рис.6. Действие термопар основано на эффекте Зеебека: во всяком проводнике при наличии разности температур возникает разность электрических потенциалов.

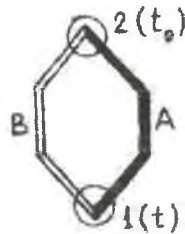


Рис. 6 Термопара

Для привязки показаний к температурной шкале необходимо, чтобы «холодный» спай имел стандартную температуру (0°C). Тогда, зная зависимость $E_{AB} = f(\Delta t)$, полученную предварительной градуировкой, можно найти температуру «горячего» - рабочего-спая: $t = t_0 + t(E_{AB})$, где $t_0 = 0^{\circ}\text{C}$.

Связь $E_{AB} = f(\Delta t)$, определяется, прежде всего, материалами термопарных проводов:

- вольфрам-рений (ВР) до 2200°C ,
- платина-платинородий (ПП) до 1300°C
- хромель-алюмель (ХА) от -200 до 1000°C ,
- хромель-копель (ХК) от -200 до 600°C .

Зависимости $E=f(\Delta t)$, приведенные на рис. 2.7, дают представление о чувствительности перечисленных выше термопар.

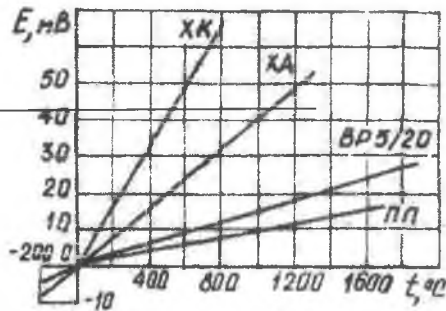


Рис. 7 Термо ЭДС термопар

На стенде применены ХА термопары, которые измеряют температуру масла и выхлопных газов.

2.2.4 Измерение крутящего момента

Крутящий момент на коленчатом валу двигателя определяется по величине реактивного момента, возникающего на статоре тормозного устройства. Окружное усилие от реактивного момента, возникающее на рычаге, жестко закрепленном на статоре, измеряется двухматниковой весовой головкой. Двухматниковая весовая головка, применяемая на проектируемой установке, имеет диапазон измерений от 0,5 до 10 кгс, обладает высокой чувствительностью, цена деления составляет 0,01 кгс, погрешность измерения не превышает 0,2%.

Схема измерения крутящего момента приведена на рисунке 8.

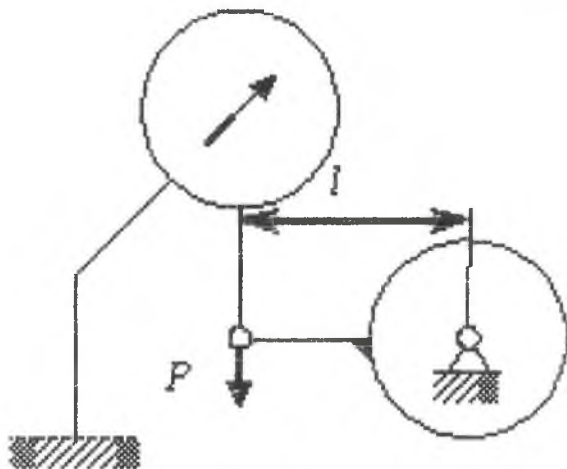


Рис. 8 Схема измерения крутящего момента

При данной схеме измерения величина крутящего момента определяется по формуле

$$M_{кр} = 9,81 \cdot P \cdot l, Н \cdot м,$$

где P , кгс, – окружное усилие на рычаге, измеряемое весовой головкой;
 $l=0,3581$ м – плечо рычага (расстояние между осью балансирной подвески и точкой приложения усилия к тяге весовой головки).

2.2.5 Измерение давления в цилиндре двигателя

На установке используется охлаждаемый индуктивный датчик давления ДД-10, конструкция которого изображена на рисунке 9 (система охлаждения мембраны не показана). Давление в цилиндре двигателя воспринимается чувствительным элементом 1 (гибкая мембрана).

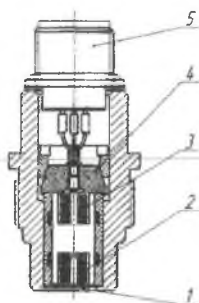


Рис. 9 Индуктивный датчик давления ДД-10

1 - гибкая мембрана; 2 - рабочая катушка; 3 - компенсационная катушка; 4 - компенсационная муфта; 5 - разъем датчика

Прогиб мембраны изменяет магнитное сопротивление якоря рабочей катушки 2, следовательно, и ее магнитное сопротивление. Вторая катушка 3, компенсирует влияние температуры. Эти две катушки представляют собой два плеча измерительного моста (см. рис. 10).

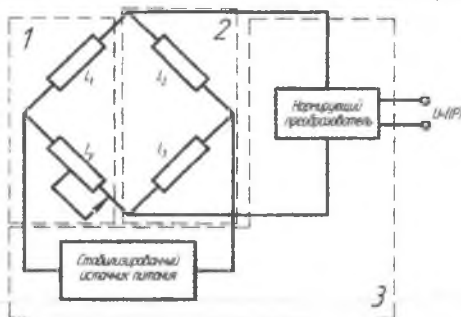


Рис. 10 Схема включения датчика давления ДД-10:

1- Датчик давления; 2-первичный преобразователь; 3- тензометрическая станция 8АНЧ-23

Другие два плеча измерительного моста расположены отдельным блоком 2 (рис. 10), предназначены для балансировки моста. Если индуктивные сопротивления L_1, L_2, L_3 постоянны, то ток небаланса будет меняться в соответствии с изменением $L_p=f(P)$.

Индуктивный датчик ДД-10 весьма чувствителен. Он позволяет зарегистрировать прогиб мембраны в диапазоне от 0,1 до 0,5 мм, следствием чего является высокая собственная частота датчика – порядка 10000 Гц, что позволяет регистрировать без искажений колебания давления с частотой до 300 Гц.

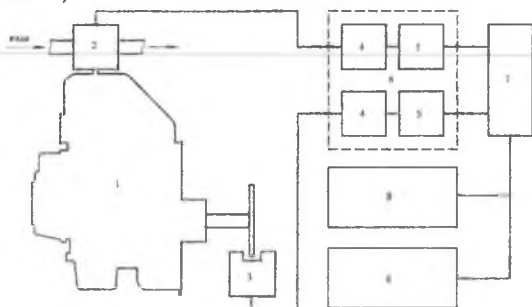


Рис. 11 Схема системы индицирования:

1 - двигатель УМЗ-5А; 2 - датчик давления ДД-10; 3 - датчик угловых меток; 4 - нормирующий преобразователь; 5 - нормирующий усилитель; 6 - 8АНЧ-23; 7 - аналого-цифровой преобразователь; 8 - ЭВМ; 9 - светолучевой осциллограф

Система индицирования (см. рис.11) включает три основные части: группу первичных преобразователей и измерителей 6, аналого-цифровой преобразователь 7 и систему регистрации 8 - ЭВМ. Экспериментальная установка оснащена датчиком давления ДД-10 и датчиком угловых меток 3 коленчатого вала, предназначенным для регистрации прохождения поршнем верхней мертвой точки, принцип действия которого основан на эффекте Холла. В измерительный блок входят нормирующий преобразователь, преобразующий сигнал от ДД-10 в сигнал напряжения, нормирующие усилители и аналого-цифровой преобразователь (АЦП), преобразующий амплитуду поданного на него с 8АНЧ-23 сигнала в цифровой код. С выхода АЦП цифровой код, соответствующий величине давления в цилиндре двигателя, поступает в осциллограф и оперативную память ЭВМ для дальнейшей обработки.

2.2.6 Измерение частоты вращения коленчатого вала

Тахогенератор

Для измерения частоты вращения коленчатого вала двигателя применяется тахогенератор. Выдаваемое напряжение тахогенератора пропорционально частоте вращения.

При частоте вращения $n=6000$ об/мин ЭДС тахогенератора $U=100В$.



Рис. 12 Тахогенератор

Конструктивно тахогенератор представляет собой генератор постоянного тока. Магниты, расположенные на статоре возбуждают ЭДС в роторе. Выдаваемое напряжение выводится на вольтметр, проградуированный в об/мин.

Датчик положения КВ

Датчик положения коленвала— индуктивного типа рис. 13. Реагирует на прохождение зубьев диска вблизи своего сердечника.

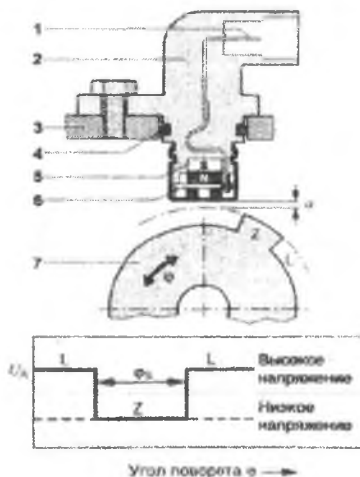


Рис. 13 Датчик положения КВ

Зубья расположены на диске в ВМТ и НМТ.

2.3 Управление двигателем

2.3.1 Управление положением дроссельной заслонки и топливоподачей

Положение дроссельной заслонки 7 (см. рис.14) определяет количество топливовоздушной смеси, поступающей в цилиндр двигателя, а следовательно, и мощность, развиваемую двигателем.

Управление дроссельной заслонкой осуществляется дистанционно с пульта управления посредством механического привода: сектора газа 2,9, представляющим собой рычажную систему, связанную тросом 8.

Степень открытия дроссельной заслонки контролируется по шкале 9 сектора газа отградуированной в процентах открытия дроссельной заслонки.

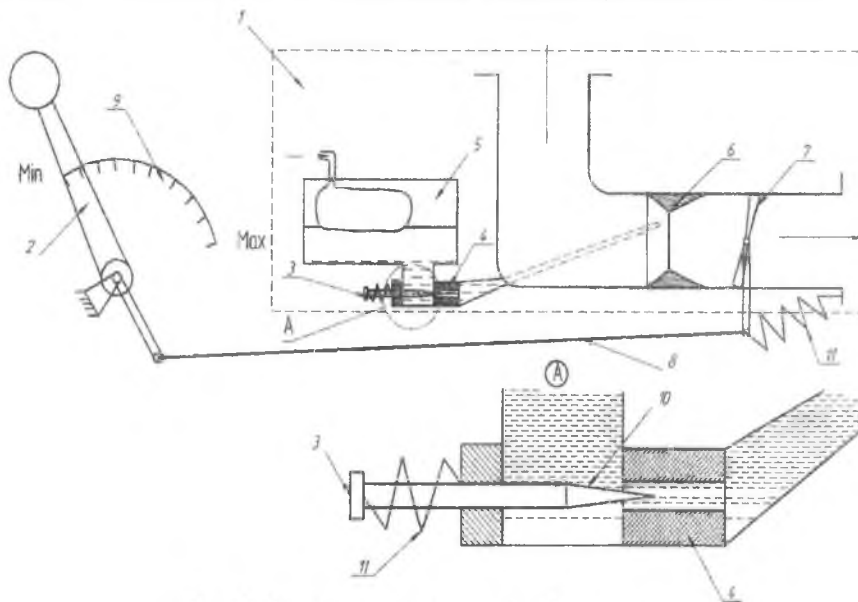


Рис 14 Система регулирования карбюратора:

1 - карбюратор; 2 - рукоятка сектора газа; 3 - микрометрический винт; 4 - главный топливный жиклер; 5 - поплавковая камера; 6 - диффузор; 7 - дроссельная заслонка; 8 - трос; 9 - шкала положения дроссельной заслонки; 10 - регулировочная игла; 11 - пружина

Изменение состава топливовоздушной смеси, характеризуемого коэффициентом избытка воздуха $\alpha = \frac{G_B}{G_T \cdot l_0}$, при проведении

лабораторных работ можно осуществлять только изменением расхода топлива G_T , то есть управлением топливоподачей, так как по определению характеристика по составу смеси должна сниматься при постоянных частоте вращения коленчатого вала и положении дроссельной заслонки, обеспечивающих постоянство расхода воздуха G_B .

Принцип действия устройства для изменения состава смеси виден из рассмотрения рис. 14. Обеднение смеси достигается уменьшением проходного сечения главного жиклера, а обогащение – его увеличением.

2.3.3 Управление углом опережения зажигания

На экспериментальной установке применена классическая контактная система зажигания.

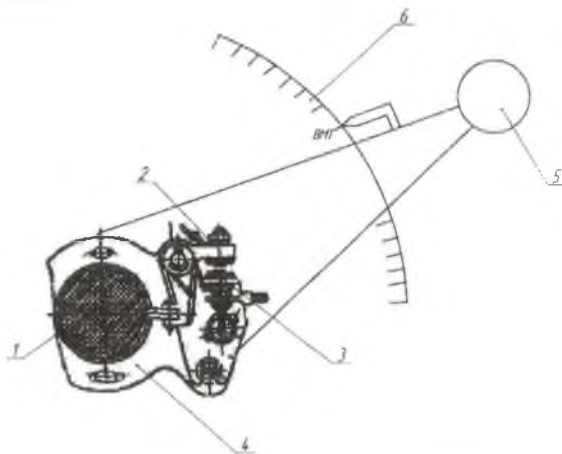


Рис. 13 Регулировка угла опережения зажигания:

1- кулачок прерывателя (коленвал); 2-подвижный контакт; 3- неподвижный контакт; 4- плита установки контактной группы; 5- рукоятка управления углом опережения зажигания; 6- шкала угла опережения зажигания

Угол опережения зажигания регулируется установкой момента размыкания контактов. Для увеличения диапазона регулировки на

двигателе доработана плита на которой установлены контакты.

Диапазон: от минус 45° до плюс 5° относительно ВМТ. Изменение угла опережения зажигания производится на работающем двигателе перемещением рукоятки установки угла опережения зажигания.

3 ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ДВС

Стендовые испытания двигателей имеют целью экспериментальное определение мощности, топливной экономичности, токсичности отработавших газов, безотказности работы и других эксплуатационно-технических показателей. Испытания проводятся для проверки соответствия двигателей техническим требованиям при их производстве и ремонте (приемосдаточные и контрольные испытания), выявления дефектов и неисправностей при эксплуатации (диагностике, оценки и выбора регулировок систем топливоподачи и зажигания (регулируемые испытания), опытного изучения протекающих в двигателе процессов, условий и особенностей работы его систем и узлов с целью дальнейшего их совершенствования (научно-исследовательские испытания).

Результаты испытаний представляются преимущественно в виде графических зависимостей основных показателей двигателя от одного из параметров, характеризующих режим его работы (частоты вращения, нагрузки, температуры охлаждающей жидкости и др.) или регулировки (состав смеси, угол опережения зажигания в двигателях с искровым зажиганием, угол опережения впрыскивания в дизеле и т.п.). Эти зависимости называются характеристиками. Виды испытаний, их объемы и порядок проведения регламентируются стандартами. Наиболее общими из них являются ГОСТ 14646-81 "Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний", ГОСТ 18509-88 "Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний". Этими стандартами определяются условия снятия основных характеристик двигателей, состав испытательного стенда и

измерительной аппаратуры, методы и точность измерений, а также правила обработки полученных данных и построения графиков.

В соответствии с указанными стандартами процедура получения характеристик всех видов включает ряд общих этапов. К ним относятся подготовка двигателя к испытаниям (запуск, прогрев до рабочего состояния), рабочий этап получения характеристики и завершающие операции (остановка двигателя и обработка полученных результатов). Собственно процедура снятия характеристики реализуется по единому алгоритму, которым предусматривается вывод двигателя и тормозной установки на заданный режим испытаний, стабилизация и поддержание режимных параметров двигателя в заданных пределах, измерение, регистрация, а при использовании ЭВМ и обработка физических величин, определяемых видом получаемой характеристики.

Каждая характеристика должна содержать достаточное количество точек (обычно не менее шести), соответствующих конкретным значениям изменяемого параметра (нагрузки, частоты вращения, угла опережения зажигания и т.п.), чтобы при построении графиков выявить форму и характер закономерности протекания показателей в необходимом рабочем диапазоне вариации данного параметра. При получении стандартных характеристик двигателя показатели его работы определяются при установившемся режиме. Согласно стандартам крутящий момент, частота вращения, а также температуры охлаждающей жидкости и масла, а для двигателей воздушного охлаждения и температура деталей не могут за время измерения показателей изменяться более чем на 2%. Этим обусловлена необходимость стабилизации и поддержания в заданных пределах параметров работы при снятии характеристик после перехода с одного режима на другой, а также желательность одновременной регистрации всех основных измеряемых величин. В значительной мере отмеченные условия определяют целесообразность автоматизации замеров регистрируемых величин и регулирования теплового состояния двигателя.

Управление испытательным стендом и двигателем при снятии характеристик может быть как ручным, так и автоматическим. При проведении лабораторных работ на лабораторной установке

применяется ручной метод управления двигателем и тормозной установкой. Замеры определяемых величин и регистрация показаний аппаратуры выполняются либо вручную группой студентов по сигналу руководителя, либо автоматически посредством измерительно-вычислительного комплекса и ЭВМ. В последнем случае для повышения достоверности получаемых результатов осуществляется восьмикратный опрос датчиков измерительной аппаратуры стенда, значения показаний которых в дальнейшем статистически обрабатываются. Данные измерений отображаются на экране ЭВМ. Сюда же выводятся результаты расчета показателей работы двигателя на рассматриваемом режиме.

По окончании регистрации всех данных двигатель переводится на следующий режим.

4 ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

4.1 Лабораторная работа №1 «Характеристика по составу смеси»

Цель работы: Получение характеристики по составу смеси производится для выявления регулировки карбюратора на мощностные и экономические показатели работы двигателя, а также для установки оптимальной регулировки карбюратора на испытуемом режиме работы двигателя.

Общие сведения о характеристике

Характеристика по составу смеси это зависимость основных показателей работы двигателя от коэффициента избытка воздуха α при постоянных частоте вращения вала и положении дроссельной заслонки, а также оптимальной величине угла опережения зажигания на каждом режиме работы.

Эта характеристика может быть использована при проектировании и настройке органов регулирования топливной системы для обеспечения оптимальной работы двигателя на разных режимах.

Напомним, что коэффициент α показывает насколько состав реальной топливоздушной смеси (ТВС) по количеству воздуха отличается от теоретически необходимого количества L_0 для полного сгорания 1 килограмма топлива. Постоянные значения n об/мин и положения дросселя обеспечивают постоянный расход воздуха $G_a = const$. Следовательно, изменить величину возможно только за счёт изменения расхода топлива G_f . Поэтому характеристику по составу смеси при испытании карбюраторного двигателя получают либо установкой топливных жиклёров разной пропускной способности, либо регулировкой проходного сечения главного топливного жиклёра (обычно с помощью профилированной иглы).

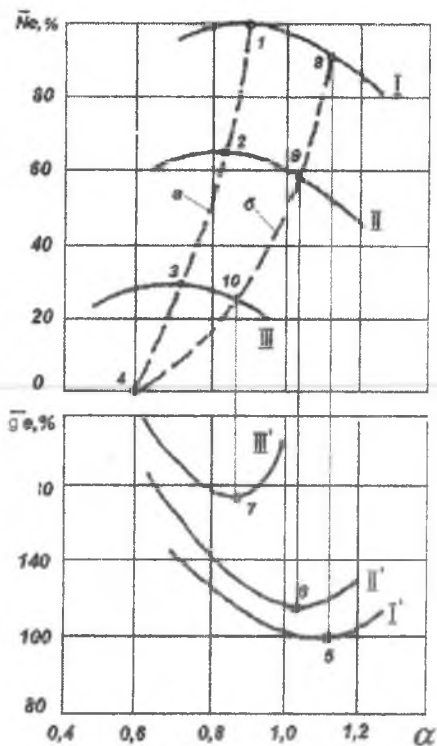


Рис. 1.1 Характеристика ДсИЗ по составу ТВС

$$\alpha = \frac{G_a}{G_m \cdot L_0} \quad (1.1)$$

При испытании двигателя с впрыском топлива регулируется величина его цикловой подачи. Экспериментальные данные показывают, что характеристика по составу смеси ДсИЗ, т.е. $N_e, g_e = f(\alpha)$, имеет вид, изображённый на рис. 1.1. Здесь по оси ординат отложены удельный расход топлива в процентах от минимального его значения и эффективная мощность двигателя, выраженная в процентах от максимальной мощности, получающейся при данной частоте вращения вала и полностью открытой дроссельной заслонке. Кривые I и I' соответствуют работе двигателя при полностью открытой дроссельной заслонке; кривые II и II', III и III' - работе при частично открытой дроссельной заслонке. Из графика видно, что коэффициент избытка воздуха, соответствующий максимальной

мощности (точки 1, 2, 3), меньше коэффициента α , при котором обеспечивается наименьший удельный расход топлива (точки 5, 6, 7), т.е. при максимальной экономичности двигателя.

Максимальная мощность при всех положениях дроссельной заслонки получается при коэффициенте избытка воздуха α , меньшем единицы. С переходом на работу с прикрытой дроссельной заслонкой коэффициент α , соответствующий режиму максимальной мощности, уменьшается. При полном открытии дроссельной заслонки наименьший удельный расход топлива, т.е. наиболее экономичная работа двигателя, соответствует несколько обеднённой смеси ($\alpha = 1,1$). С прикрытием дроссельной заслонки коэффициент избытка воздуха, соответствующий наиболее экономичной работе, уменьшается и при значительном прикрытии становится меньше единицы. Таким образом, с прикрытием дроссельной заслонки ТВС как для получения максимальной мощности, так и для получения максимальной экономичности должна обогащаться. Если соединить на кривых I, II и III точки 1,2 и 3, соответствующие максимальной мощности, и точки 8,9,10, характеризующие работу двигателя на наиболее экономичных режимах, то получим две дополнительные линии: кривую а, соответствующую регулировке карбюратора на максимальную мощность, и кривую б, соответствующую регулировке карбюратора на максимальную экономичность. Область, заключённая между этими двумя кривыми, и является той областью значений коэффициента α , в которой целесообразна регулировка карбюратора. Вне этой области регулировка карбюратора нецелесообразна, т.к. одновременно понижается мощность двигателя и ухудшается его экономичность.

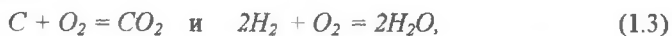
В зависимости от назначения и условий работы двигателя регулировкой карбюратора можно обеспечить получение смеси, состав которой приближается к составу, характеризуемому кривой а или кривой б. Точка 4 соответствует коэффициенту избытка воздуха на режиме холостого хода двигателя.

Физический смысл появления двух характерных составов ТВС (на максимальную мощность и на максимальную экономичность) связан с особенностями организации протекания процесса горения.

При $\alpha = 1$ соотношение расходов воздуха и топлива через систему подготовки ТВС строго равно теоретически необходимому

$$\frac{G_e}{G_m} = L_0. \quad (1.2)$$

Но величина L_0 рассчитывается по стехиометрическим уравнениям химических реакций



в которых совершенно не учитываются реальные условия подготовки ТВС и её горения. В уравнениях (1.3) по умолчанию предполагается, что весь объём ТВС уже идеально подготовлен и топливо представляет собой смесь углерода и водорода. На самом деле топливо – это смесь молекул различных углеводородов, причём в реальных условиях в различных участках объёма ТВС соотношение кислорода, углерода и водорода может заметно отличаться от какого-то среднего значения. Кроме того, некоторая часть топлива может ещё находиться в жидком, а не в парообразном состоянии. Всё это приводит к тому, что в реальных условиях подготовки и горения ТВС, соотношение $\alpha = 1$ оказывается недостаточным для максимально возможного преобразования ТВС в продукты сгорания и эта задача может быть решена лишь при некотором избытке воздуха над теоретически необходимым. Как показывает опыт, при $\alpha \approx 1,1$.

Академик Б.С. Стечкин показал, что для конкретного двигателя, имеющего определённую степень сжатия, форму камеры сгорания и размеры цилиндра, индикаторный КПД зависит только от состава ТВС:

$$\eta_i = const \cdot \eta_\alpha, \quad (1.4)$$

где η_α - коэффициент состава смеси, характеризующий степень использования энергии, введённой в двигатель с топливом. Этот коэффициент показывает относительное изменение η_i при переходе от теоретического состава ТВС ($\alpha = 1$) к какому-либо другому. Для всех углеводородных топлив изменение η_α по α примерно одинаково (см. рис. 1.2). Видно, что коэффициент η_α достигает максимума при $\alpha \approx 1,1$.

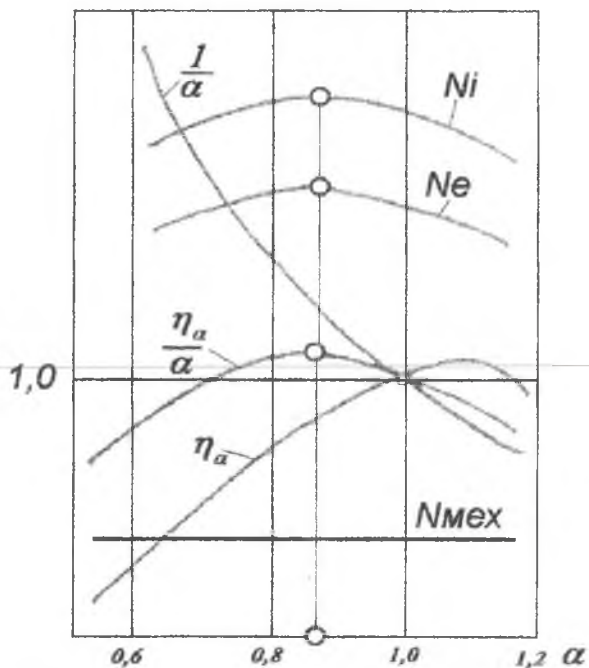


Рис. 1.2 Причины появления состава ТВС на максимальную экономичность

$$\eta_{\alpha} = \frac{\eta_i}{\eta_{i(\alpha=1)}} \quad (1.5)$$

Состав смеси на максимальную мощность формально можно пояснить тем, что с уменьшением коэффициента избытка воздуха (при $G_s = const$) расход топлива

$$G_m = \frac{G_s}{\alpha L_0} = \frac{const}{\alpha} \quad (1.6)$$

увеличивается обратно пропорционально α (см. рис. 1.2), индикаторный КПД снижается в соответствии с (1.4).

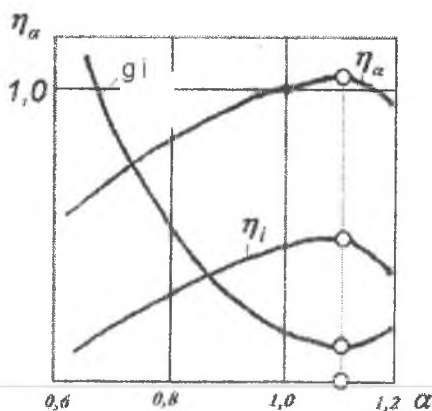


Рис. 1.3 Причины появления состава ТВС на максимальную мощность

В результате индикаторная мощность двигателя

$$N_i = \frac{H_u}{\alpha \cdot L_0} \cdot V_H \cdot \eta_v \cdot \rho_K \cdot \frac{n}{30 \cdot \tau} \cdot \eta_i, \quad (1.7)$$

а при $\frac{H_u}{\alpha \cdot L_0} \cdot V_H \cdot \eta_v \cdot \rho_K \cdot \frac{n}{30 \cdot \tau} = const$ (по условиям получения

характеристики) зависит от количества подведённого топлива (α) и качества его использования (η_α), т.е.

$$N_i = const \frac{\eta_\alpha}{\alpha}. \quad (1.8)$$

Вид этой зависимости приведён на рис. 1.3. Эффективная мощность меньше индикаторной на постоянную величину $N_{мех}$ (при $n = const$):

$$N_e = N_i - N_{мех}. \quad (1.9)$$

К сказанному следует добавить, что в появлении и этой отличительной точки характеристики по составу смеси нашли своё отражение особенности протекания процесса горения.

Напомним, что мощность двигателя N_e [Дж/с] - это количество работы [Дж], которое он способен совершить в единицу времени. Следовательно, с одной стороны, N_e зависит от работоспособности рабочего тела двигателя, а с другой стороны, от скорости, с которой преобразуется энергия при совершении термодинамического цикла.

Работоспособность RT [Дж/кг] смеси газов, совершающих в процессе расширения полезную работу, изменяется по α так, как это показано на рис. 1.4. То, что максимум температуры в процессе горения получается при $\alpha = 1$ (или чуть меньше 1), объясняется двумя действующими факторами. При $\alpha > 1$ с увеличением α всё большая доля тепла, выделившегося при сгорании стехиометрической ($\alpha = 1$) ТВС, расходуется на подогрев избыточного воздуха, что снижает общую температуру смеси газов.

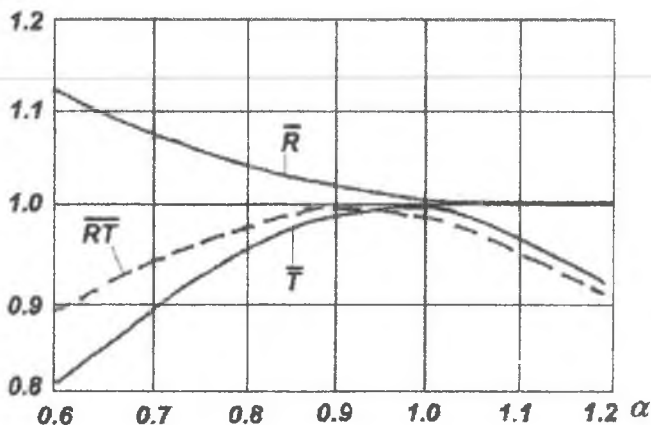


Рис. 1.4 Влияние состава ТВС на работоспособность продуктов сгорания

При $\alpha < 1$ с уменьшением α из-за недостатка одного из реагентов (воздуха) общее выделение тепла при горении становится всё меньше и меньше. Рост газовой постоянной R при снижении α связан с изменением состава продуктов сгорания. При $\alpha \geq 1$ теоретически в состав рабочего тела кроме азота входят молекулы трёхатомных газов H_2O и CO_2 . При $\alpha < 1$ к ним добавляется некоторое количество продуктов неполного сгорания: CO и H_2 . Поскольку газовая постоянная смеси связана с универсальной газовой постоянной $R_u = 8314,33$ [Дж/кг] через молекулярную массу μ продуктов сгорания:

$$R = R_u / \mu, \quad (1.10)$$

то очевидно, что с появлением в смеси CO и H_2 её молекулярная масса уменьшается и R растёт. В результате работоспособность рабочего тела двигателя получается максимальной при $\alpha < 1$.

На этот эффект накладывается и зависимость от α скорости преобразования химической энергии веществ, входящих в состав ТВС, в теплоту химических реакций. Дело в том, что скорость распространения пламени (и ламинарного U_n , и турбулентного U_m) в смесях воздуха с углеводородными энергоносителями зависит от состава ТВС так, что её максимум достигается при $\alpha \approx 0,85 \dots 0,9$ (см.рис. 1.5 и 1.6). В сочетании с максимумом RT это и объясняет характер зависимостей N_b , N_e от α (см. рис. 1.2) .

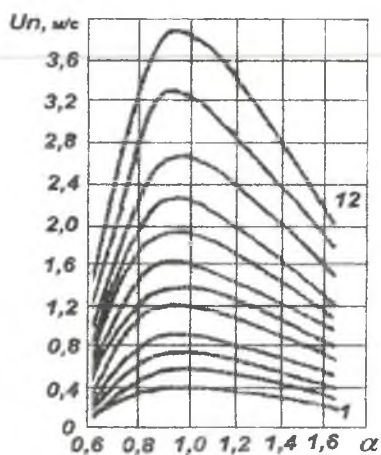


Рис. 1.5. Нормальная скорость распространения пламени в бензовоздушной смеси при различных начальных температурах (от $T_c = 323$ К — линия 1, до $T_c = 873$ К — линия 12, с шагом 50 К)

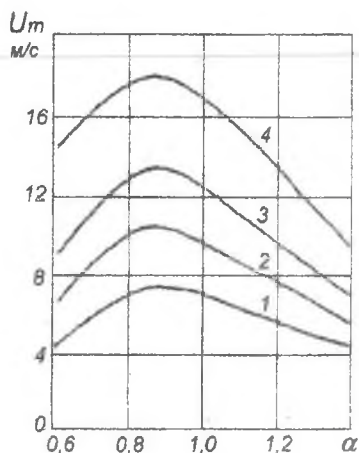


Рис. 1.6. Скорость распространения турбулентного пламени в зависимости от состава ТВС при различных относительных значениях коэффициента турбулентного обмена: 1 - $\bar{a}_m = 0,27$; 2 - $\bar{a}_m = 0,45$; 3 - $\bar{a}_m = 0,65$; 4 - $\bar{a}_m = 1,0$

Зависимость $g_e = f(\alpha)$ отличается от приведенных, рис. 1.1, поскольку на величину g_e кроме индикаторного КПД влияет и коэффициент $\eta_{мех}$:

$$g_e = \frac{const}{\eta_i \cdot \eta_{мех}} \quad (1.11)$$

Очевидно, что при $N_{\text{мех}} = \text{const}$ ($n = \text{const}$) коэффициент

$$\eta_{\text{мех}} = 1 - \frac{N_{\text{мех}}}{N_i}, \quad (1.12)$$

изменяется по α так же, как и N_i (см. рис. 1.7). В результате минимум g_e смещается относительно минимума g_i ближе к $\alpha = 1$. Как показывает практика, *состав ТВС на максимальную экономичность* соответствует $\alpha \approx 1,05 \dots 1,08$ (при полностью открытой дроссельной заслонке).

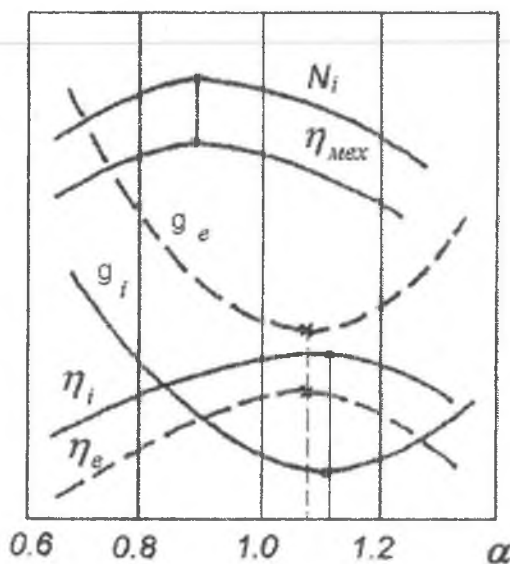


Рис. 1.7 К пояснению несовпадения минимумов g_e и g_i

Если дроссельная заслонка прикрывается, то частота вращения вала двигателя снижается. Это влечёт за собой снижение скорости движения воздуха во впускном тракте, следовательно, ухудшается и качество подготовки ТВС. По этой причине доля топлива, сгорающего с максимальной полнотой, снижается и для достижения требуемой мощности двигателя приходится увеличивать общий расход топлива G_m , т.е. и g_e (см. рис. 1.1, кривые I', II', III'). К той части топлива, которая сгорает с максимальной полнотой тепловыделения, полностью применимо всё изложенное выше относительно причин появления

минимума g_i и g_e при $\alpha > 1$. Но при работе двигателя на частичных режимах с понижением n общий расход топлива растёт столь значительно, что величина α , при которой достигается $g_e = \min$, рассчитанная по суммарному расходу топлива, оказывается меньше единицы (рис. 1.1, линия III').

Таким образом, существуют совершенно объективные причины, из-за действия которых при горении любой ТВС максимальная полнота её сгорания и максимальная работоспособность получающейся смеси газов, т.е. и мощность двигателя, реализуются при разном соотношении топлива и воздуха. При проектировании двигателя и регулировании его топливной аппаратуры следует знать и учитывать эти особенности характеристики по составу ТВС.

Методика проведения эксперимента

Получение регулировочной характеристики двигателя по составу смеси происходит следующим образом:

1. Запуск и прогрев двигателя.
2. Двигатель выводится на режим по частоте вращения вала n , при котором планируется получение регулировочной характеристики.
3. Постепенно «обогащая» ТВС (регулировкой G_m), выводят двигатель на режим минимально устойчивых оборотов и регистрируют параметры работы двигателя.
4. Далее, «забедняя» смесь, с заданным шагом регистрируют параметры работы двигателя. Повторяют эксперимент с этим шагом до минимально устойчивых оборотов, контролируя при этом частоту вращения коленчатого вала (обороты n должны быть неизменными).
5. Постепенно, изменяя состав смеси, переводят двигатель на режим оптимального коэффициента избытка воздуха. Прикрывая дроссельную заслонку, выводят двигатель на режим холостого хода и выдерживают его до установления стабильного теплового режима.
6. Выключение двигателя.

Содержание отчёта

1. Принципиальная схема установки.
2. Порядок проведения эксперимента.
3. Протокол измеренных и рассчитанных величин.
4. Графическое изображение характеристики.
5. Выводы (анализ полученных характеристик).

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое характеристика поршневого ДВС по составу топливовоздушной смеси?
2. Условия и методика получения данной характеристики.
3. Основные системы испытательного стенда и измеряемые параметры.
4. Объяснить характер изменения основных параметров работы ДВС при изменении состава ГВС.

4.2 Лабораторная работа №2 «Характеристика по углу опережения зажигания»

Цель работы: Получение характеристики производится для выявления зависимости мощностных и экономических показателей двигателя от угла опережения (запаздывания) зажигания и для определения оптимальных моментов подачи искры, при которых с наибольшей полнотой можно использовать тепло, полученное вследствие сгорания топлива на различных нагрузочных и скоростных режимах работы.

Общие сведения о характеристике

Эта характеристика представляет собой зависимость основных показателей работы двигателя от величины опережения начала процесса горения относительно момента прихода поршня в верхнюю мёртвую точку (ВМТ).

Технически началом процесса горения считается момент подачи напряжения на электрическую свечу зажигания в ДсИЗ или момент впрыска топлива через форсунку в цилиндр двигателя с воспламенением от сжатия (в дизелях). На индикаторной диаграмме этот момент отмечается точкой u на политропе сжатия. Поскольку все характерные точки на индикаторной диаграмме могут быть точно соотнесены с соответствующими углами поворота коленчатого вала $\varphi_{кв}$, момент зажигания горючей смеси в камере сгорания фиксируют по углу $\varphi_{оз}$, на который зажигание опережает приход поршня в ВМТ (угол опережения зажигания - $\varphi_{оз}$).

Характеристику получают для каждого установившегося режима работы двигателя (при $n = const$) с целью определения оптимального угла $\varphi_{опт}$, при котором основные показатели: N_e и g_e имеют наивыгоднейшие значения (см. рис. 2.1).

Анализ экспериментально полученных индикаторных диаграмм при различных углах $\varphi_{оз}$ показал (см. рис. 2.2), что изменение начала процесса горения практически никак не сказывается на скорости его протекания. Это проявляется в том, что на развернутых по углу поворота коленвала $\varphi_{кв}$ индикаторных диаграммах градиент нарастания давления $dp/d\varphi$ практически не меняется при $\varphi_{оз} = var$. Отсюда следует вывод, что *регулирование угла опережения зажигания только сдвигает процесс горения относительно ВМТ*, не изменяя характер его протекания.

Теоретически в ДВС, работающих по любому термодинамическому циклу, момент начала процесса горения (т.е. момент начала подвода тепла Q_1 к рабочему телу) должен совпадать с моментом прихода поршня в ВМТ. Однако скорости распространения турбулентного пламени в камерах сгорания существующих ДВС сравнительно невелики (15...30 м/с). Следовательно, процесс сгорания топливовоздушной смеси (ТВС) протекает не мгновенно, а занимает некоторый промежуток времени (25...50° по углу поворота $\varphi_{кв}$).

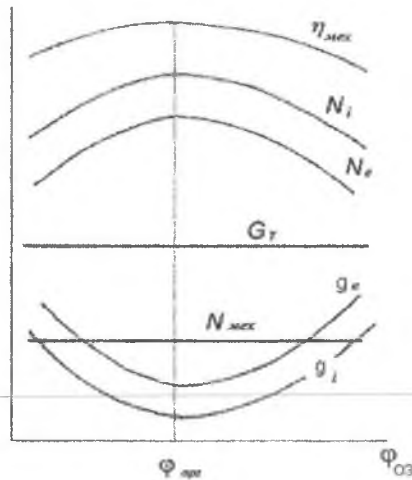


Рис. 2.1 Типичный вид характеристики ДВС по углу опережения зажигания

В этих условиях воспламенение ТВС в ВМТ приведёт к тому, что процесс горения (с учётом периода индукции) будет происходить в процессе расширения и закончится, когда поршень пройдёт примерно половину своего рабочего хода. По этой причине индикаторная диаграмма (см. рис. 2.3 а) будет весьма существенно отличаться от теоретического цикла, т.е. резко уменьшится полученная индикаторная работа L_i .

Как известно, индикаторный КПД

$$\eta_i = \frac{L_i}{Q_1} \quad (2.1)$$

По условиям получения данной характеристики величина Q_1 остаётся практически постоянной на данном режиме работы двигателя ($G_m = const$, см. рис. 2.1.). Следовательно, при *позднем зажигании* ($\varphi_{опз} < \varphi_{опт}$) η_i снижается и вместе с ним пропорционально уменьшается индикаторная мощность

$$N_i \sim \eta_i \quad (2.2)$$

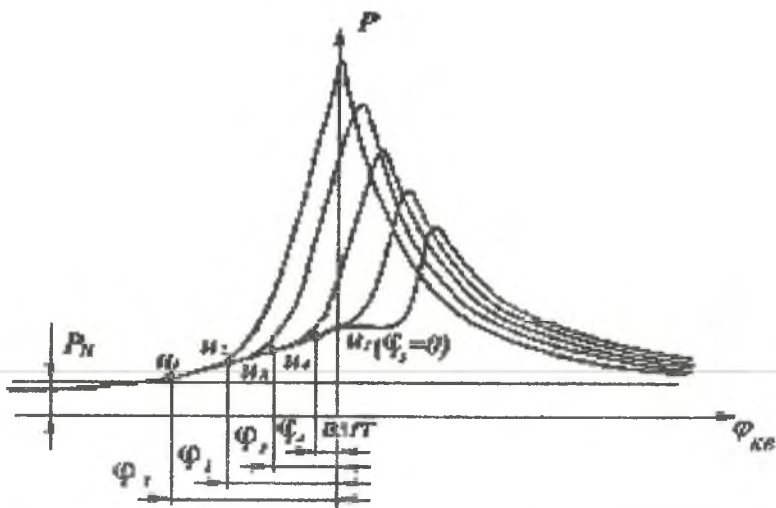


Рис. 2.2 Индикаторные диаграммы, развёрнутые по углу поворота коленчатого вала, при различных углах опережения зажигания

и обратно пропорционально увеличивается индикаторный удельный расход топлива

$$g_i = \frac{3600}{H_u \eta_i} \quad (2.3)$$

Поскольку эффективная мощность

$$N_e = N_i - N_{мех} \quad (2.4)$$

то при $N_{мех} = const$ на постоянном режиме работы ($n = const$), N_e изменяется эквидистантно N_i , а g_e - эквидистантно g_i (рис. 2.1).

Если при настройке системы зажигания выставить угол $\varphi_{оз} > \varphi_{ори}$ (так называемое *раннее зажигание*), то процесс горения начнётся и будет интенсивно развиваться в процессе сжатия рабочего тела. Вновь образующиеся горячие продукты сгорания, пытаясь расшириться, вызовут резкое увеличение давления в свободном объёме цилиндра, что повлечёт за собой существенное увеличение работы сжатия $L_{см}$ (см. рис. 2.3 в и 2.2).

При росте температуры и давления газов интенсифицируется теплоотдача в стенку цилиндра. В результате увеличиваются потери энергии рабочего тела в систему охлаждения, т.е. снижается доля энергии,

которую можно преобразовать в полезную работу. При росте температуры в этом же направлении действует и интенсификация экзотермических химических реакций диссоциации.

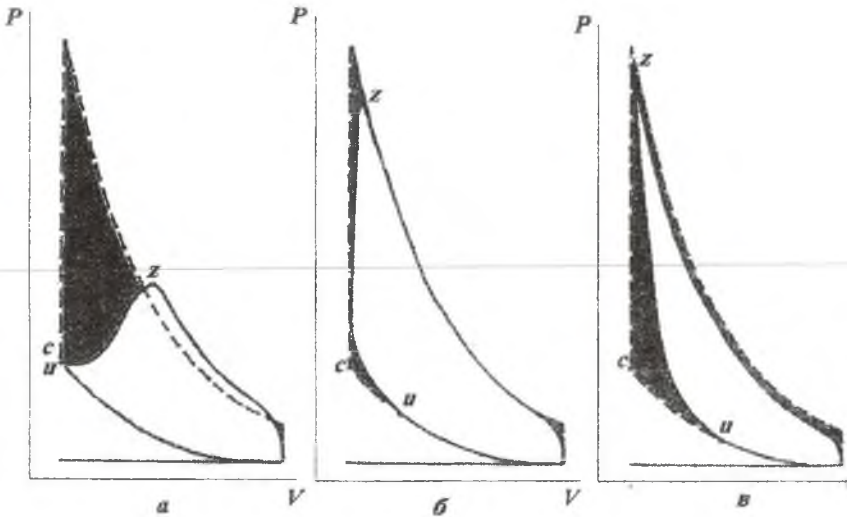


Рис. 2.3. Схемы индикаторных диаграмм при различных значениях угла опережения зажигания:

a - позднее зажигания; *б* - оптимальное опережение зажигания; *в* - раннее зажигание

По этим же причинам работа расширения L_p получается заметно меньше теоретически возможной (см. рис. 2.3-в и 2.2). Следовательно, при отклонении угла опережения зажигания в сторону $\varphi_{оз} > \varphi_{опт}$ индикаторная работа $L_i = L_p - L_{сж}$ также уменьшается. В соответствии с (2.1), (2.2), (2.3) и (2.4) поведение η_b , N_b , g_b , N_e , g_e аналогично рассмотренному для варианта $\varphi_{оз} > \varphi_{опт}$.

Очевидно, что существует оптимальное значение угла опережения зажигания, при реализации которого процесс горения происходит тогда, когда поршень с очень малой скоростью перемещается около ВМТ.

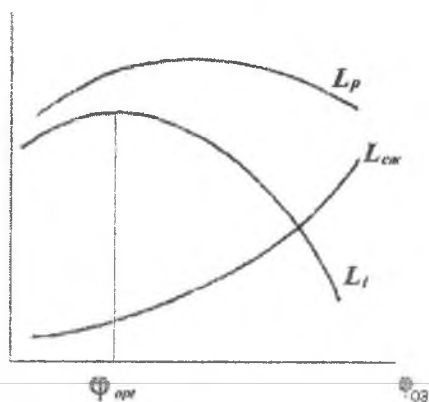


Рис. 2.4 Изменение индикаторной работы и её составляющих по углу опережения зажигания

В этом случае процесс $c - z$ на индикаторной диаграмме выглядит почти как симметричная кривая относительно ВМТ (см. рис. 2.3–б). Опыт показывает, что наилучший результат в работе двигателя получается когда максимум тепловыделения (точка z) располагается после ВМТ через $8...15^\circ$ по $\varphi_{кв}$.

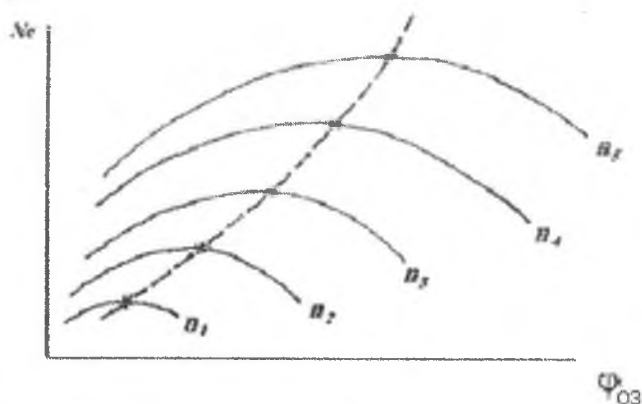


Рис. 2.5 Характеристики по углу опережения зажигания на нескольких режимах работы двигателя ($n_1 < n_2 < n_3 < n_4 < n_5$)

Пунктир - линия оптимальных углов φ_{03} . Для симметрии начинать процесс горения следует до ВМТ с углом опережения зажигания примерно такой же величины. Из-за наличия периода индукции в развитии

химических реакций угол $\varphi_{оз}$ приходится несколько увеличивать. Оптимальными считаются углы $\varphi_{opt} = 30...40^{\circ}$ для быстроходных ДсИЗ и $\varphi_{opt} = 15...20^{\circ}$ для дизелей.

Поскольку скорость, с которой протекает процесс горения, зависит от большого числа факторов, имеющих индивидуальное значение для каждого конкретного двигателя и каждого конкретного режима его работы, то характеристику по $\varphi_{оз}$ получают для каждого двигателя и на нескольких режимах (см. рис. 2.5). В дальнейшем полученные значения φ_{opt} используются для регулировки системы зажигания или для проектирования автоматической системы, управляющей величиной $\varphi_{оз}$.

Методика проведения эксперимента

Получение регулировочной характеристики двигателя по углу опережения зажигания происходит следующим образом:

1. Запуск и прогрев двигателя.
2. Двигатель выводится на режим по частоте вращения вала n , при котором планируется получение регулировочной характеристики.
3. Постепенно изменяя угол опережения зажигания выводят двигатель на режим «поздних» углов опережения зажигания и регистрируют параметры работы двигателя.
4. Далее, увеличивая угол опережения зажигания с заданным шагом, снимают параметры работы двигателя. Повторяют эксперимент с этим шагом до максимально «ранних» углов опережения зажигания, контролируя при этом частоту вращения коленчатого вала (обороты n должны быть неизменными).
5. Постепенно изменяя угол опережения зажигания, переводят двигатель на режим оптимального угла опережения зажигания. Прикрывая дроссельную заслонку, выводят двигатель на режим холостого хода и выдерживают его до установления стабильного теплового режима.
6. Выключение двигателя.

Содержание отчёта

1. Принципиальная схема установки.
2. Порядок проведения эксперимента.
3. Протокол измеренных и рассчитанных величин.
4. Графическое изображение характеристики.
5. Выводы (анализ полученных характеристик).

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое характеристика поршневого ДВС по углу опережения зажигания?
2. Условия и методика получения данной характеристики.
3. Основные системы испытательного стенда и измеряемые параметры.
4. Объяснить характер изменения основных параметров работы ДВС при изменении угла опережения зажигания.

4.3 Лабораторная работа №3 «Индицирование ДВС»

Цель работы: Изучение процесса индицирования ДВС. Получение навыков обработки индикаторных диаграмм, расчета индикаторных параметров. Выявление зависимости формы индикаторной диаграммы от угла опережения зажигания.

Общие сведения

Индицирование натурального двигателя необходимо для экспериментального получения индикаторных параметров (L_i , p_i , N_i , g_i , η_i , q_i) и сопоставления их расчетными значениями. Также индикаторная диаграмма служит исходными данными для дальнейшего динамического и прочностного расчета.

Система индицирования ДВС

Для определения эффективности преобразования химической энергии топлива, вносимого в двигатель, в тепловую, необходимо знать индикаторные параметры, такие как индикаторная мощность – N_i , среднее

индикаторное давление – P_i , индикаторный удельный расход топлива – g_i , индикаторный к.п.д. – η_i . Их определение связано с регистрацией изменяющегося давления в цилиндре в зависимости от хода поршня или $\varphi_{кр}$ с последующей обработкой полученной диаграммы. Устройства для записи быстроизменяющихся давлений называют индикаторами. По принципу действия их разделяют на электрические и пневмоэлектрические или стробоскопические (точечные).

Электрические устройства индицирования обеспечивают запись мгновенных значений давления в цилиндре за каждый рабочий цикл двигателя, т.е. позволяют получать одноцикловую диаграмму. Стробоскопические – последовательно фиксируют давления, относящиеся к отдельным точкам индикаторной диаграммы за время протекания сотен циклов, обеспечивая таким образом получение многоцикловых диаграмм. Из них при последующей обработке получают некоторую осредненную диаграмму.

Для получения индикаторных параметров в данной лабораторной работе установка с двигателем УМЗ-5А оснащена электрической системой индицирования, общая схема которой показана на рис. 11 (см. п. 2.2.5).

Давление в цилиндре двигателя воспринимается чувствительным элементом (гибкой мембраной) индуктивного датчика ДД-10. Поскольку мембрана располагается заподлицо с поверхностью камеры сгорания, т.е. воспринимает значительный тепловой поток, в конструкции датчика предусмотрено её охлаждение водой. Сигнал датчика поступает в индикатор ИД – 2И (индикатор давления двухканальный индуктивный). Это высокочастотный прибор, предназначенный для измерения быстроизменяющихся давлений в различных пневматических или гидравлических системах. Он может быть использован для измерения давления как в одной, так и одновременно в двух точках исследуемой системы. Диапазон измеряемых давлений – $(0,5... 1000) \cdot 10^5$ Па в зависимости от применяемого датчика.

В усилителе – преобразователе индикатора ИД-2И сигнал датчика преобразуется в изменение величины электрического тока, управляющего отклонением шлейфа светолучевого осциллографа. Это отклонение с помощью оптической системы осциллографа фиксируется

в виде линейного перемещения светящейся точки на его экране и одновременно регистрируется в виде осциллограммы на фотобумаге. С помощью других шлейфов осциллографа регистрируются момент срабатывания электрической свечи двигателя и момент прихода его поршня в ВМТ.

Регистрация быстроменяющихся величин

При испытании двигателей помимо статических регистрируется значительное количество динамических параметров и процессов. В этом случае измеряемый величину преобразуют в электрический сигнал, который затем регистрируют с помощью самопишущих приборов - осциллографов (от греч. "записывающий колебания") на светочувствительном носителе (такой осциллограф называют "шлейфовым") или с помощью аппаратуры, работающей на магнитном носителе.

Шлейфовые осциллографы

Основным элементом шлейфового осциллографа является вибратор (шлейф) петлевого или рамочного типа. Вибратор включают в электрическую цепь, соединяющую его с первичным преобразователем измеряемой величины (датчиком). Петлевой вибратор (см.рис. 3.1) состоит из петли (ленты из электропроводящего материала) 1, помещённой в поле постоянного магнита 5. На петлю наклеено миниатюрное зеркальце 3, отклоняющееся вместе с петлей на угол, пропорциональный величине протекающего по ней тока. Зеркальце отражает направленный на него луч света на ленту фотобумаги или фотоплёнки, которая становится носителем изучаемой информации. Лента протягивается специальным механизмом.

В шлейфовом осциллографе на одну ленту-носитель одновременно записывается несколько сигналов (до 20) от нескольких вибраторов, собранных в пакет, а также отметки времени в виде тонких поперечных линий или штрихов. В зависимости от скорости изменения изучаемых параметров может меняться скорость движения ленты-носителя (0,5...10000 мм/с) и интервалы отметок времени (2...0,002с).

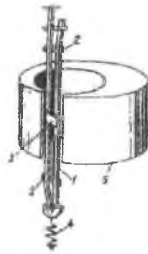


Рис. 3.1 Петлевой вибратор шлейфового осциллографа:
1- лента-проводник; 2- опоры; 3-зеркальце; 4- пружина; 5- магнит

Рамочные вибраторы имеют тот же принцип действия, что и петлевые. В них ток протекает по рамке, состоящей из нескольких витков проволоки, чем увеличивается чувствительность. Частота собственных колебаний петлевых гальванометров 1200...20 000 Гц, рамочных 20...3000 Гц. Эти диапазоны позволяют регистрировать широкий класс быстропротекающих процессов.

Оптическая схема шлейфового осциллографа приведена на рис. 3.2. Луч света от лампы высокой яркости 1 в виде узкой полосы попадает на зеркало 4 всех вибраторов (на рис. показан только один из них). Отразившийся луч делится на два. Один направляется на движущуюся светочувствительную ленту 6 и на ней оставляет запись (шлейф) изучаемого сигнала. Другой, отражаясь от зеркала 8, попадает на вращающийся зеркальный многогранный барабан 10 и далее на матовый экран 11, на котором при соответствующей синхронизации частоты вращения барабана 10 и частоты исследуемого процесса можно наблюдать неподвижное изображение записи, осуществляемой на ленте-носителе. Тот же матовый экран используют для визуализации положения светового шлейфа каждого вибратора и регулирования их размещения по ширине ленты-носителя перед началом эксперимента.

Для отметки промежутков времени используется свет от лампочки 13, который прерывается вращающимися дисками 15, имеющими прорези, и через зеркало 16 направляется на ленту-носитель.

В настоящее время находят применение шлейфовые осциллографы типа Н-700, К-12, К-20-21, Н-109, Н-115, Н-117, К-105 и др. В них в качестве ленты носителя используются фотопленки или фотобумаги шириной 36...300 мм и длиной рулона 5...50 м. Они снабжаются дистанционным

управлением, могут включаться при подаче электрического импульса (возникающего, например, при начале изучаемого процесса) или наоборот, давать электрический импульс при начале работы для возбуждения изучаемого процесса. Поскольку измерительными схемами для первичных преобразователей измеряемых величин как правило являются электрические мосты, то вибратор осциллографа включают в измерительную диагональ такого моста последовательно с регулятором чувствительности.

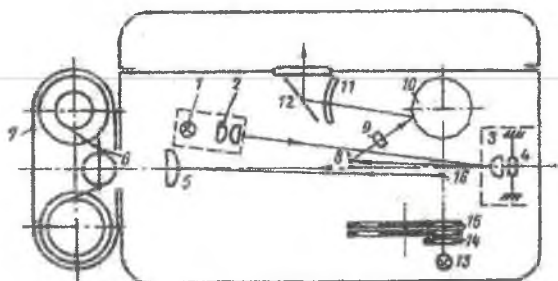


Рис. 3.2 Оптическая схема шлейфового осциллографа:

1- лампа высокой яркости; 2- конденсор; 3- окно вибратора; 4- зеркальце вибратора; 5- цилиндрическая линза; 6- фотобумага или фотолента; 7- кассета; 8- зеркало; 9- цилиндрическая линза; 10- зеркальный барабан; 11- матовый экран; 12- зеркало; 13- лампа отметчика времени; 14- диафрагма; 15- вращающиеся диски; 16- зеркало

При обработке осциллограмм пользуются градуировочными графиками, полученными в предварительных экспериментах. Для измерения линейных размеров на осциллограмме применяют координатные столы, которые перемещаются с помощью микрометрических винтов, и масштабные линейки. В настоящее время обработка проводится с помощью какого-либо графического редактора на компьютере. Находят применение и автоматы считывания. Точность регистрации и расшифровки параметров на осциллограмме редко превышает 3%. Недостатком процесса осциллографирования можно считать большой объем дешифруемой информации (длинные плёнки и рулоны фотобумаги), достоинством - наглядность полученной записи.

Индикаторные параметры

Среднее индикаторное давление. Изменение давления в течение всего рабочего цикла двигателя с искровым зажиганием и дизеля показано на расчетных индикаторных диаграммах (рис.3.3). Площадь нескругленных диаграмм ($aczba$) в определенном масштабе выражает теоретическую расчетную работу газов за один цикл двигателя. Эта работа, отнесенная к ходу поршня, является теоретическим средним индикаторным давлением p_i' .

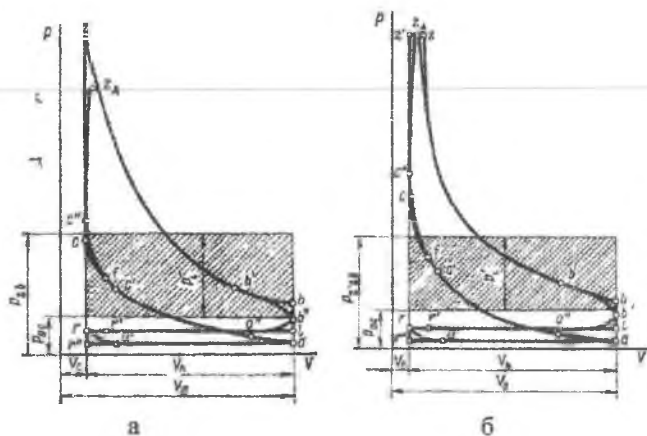


Рис. 3.3. Индикаторная диаграмма а - ДсИЗ; б - дизеля

При графическом определении p_i' по индикаторной диаграмме необходимо:

1. определить площадь под кривой ac (работа, затраченная на сжатие рабочей смеси) и, отнеся ее к ходу поршня, получить величину среднего давления процесса сжатия p_{ac} ;
2. определить площадь под кривой zb (рис. 3.3а) или под кривой $z'zb$ (рис. 3.3б), которая выражает работу расширения. Отнеся эту площадь к ходу поршня, определить среднее давление процесса расширения p_{zb} или $p_{z'zb}$;
3. определить $p_i' = p_{zb} - p_{ac}$ для ДсИЗ или $p_i' = p_{z'zb} - p_{ac}$ для дизеля;
4. сравнить площадь заштрихованного прямоугольника со сторонами p_i' и V_h и площадь индикаторной диаграммы $ac(z')zba$. При правильном определении p_{ac} , p_{zb} ($p_{z'zb}$) и p_i' сравниваемые площади должны быть

равны.

Для ДсИЗ (рис. 3.3а), работающего по циклу с подводом теплоты при $V=\text{const}$, теоретическое среднее индикаторное давление:

$$p'_i = \frac{P_c}{\varepsilon - 1} \cdot \left[\frac{\lambda}{n_2 - 1} \cdot \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_2 - 1}} \right) - \frac{\lambda}{n_1 - 1} \cdot \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right) \right] \quad (3.1)$$

Для дизеля, работающего по циклу со смешанным подводом теплоты:

$$p'_i = \frac{P_c}{\varepsilon - 1} \cdot \left[\frac{\lambda}{n_2 - 1} \cdot \left(1 - \frac{1}{\delta^{n_2 - 1}} \right) - \frac{\lambda}{n_1 - 1} \cdot \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right) + \lambda \cdot (\rho - 1) \right] \quad (3.2)$$

Среднее индикаторное давление p_i действительного цикла отличается от значения p'_i на величину, пропорциональную уменьшению расчетной диаграммы за счет скругления в точках с, z, b.

Уменьшение теоретического среднего индикаторного давления вследствие отклонения действительного процесса от расчетного цикла оценивается коэффициентом полноты диаграммы φ_n и величиной среднего давления насосных потерь Δp_i .

Коэффициент полноты диаграммы φ_n принимается равным:

Для карбюраторных двигателей.....0,94—0,97

Для дизелей.....0,92—0,95

Среднее давление насосных потерь при процессах впуска и выпуска:

$$\Delta p_i = p_r - p_a \quad (3.3)$$

Для четырехтактных двигателей без наддува величина Δp_i положительна. В двигателях с наддувом от приводного нагнетателя при $p_a > p_r$ величина Δp_i отрицательна. При газотурбинном наддуве значение p_a может быть как больше, так и меньше p_r , т. е. величина Δp_i может быть как отрицательной, так и положительной.

При проведении расчетов потери на газообмен учитываются в работе, затрачиваемой на механические потери, так как при экспериментальном определении работы трения обычно пользуются методом прокрутки двигателя, и, естественно, в определяемых таким методом механических затратах на прокрутку двигателя учитываются и затраты на насосные ходы.

В связи с этим принимают, что среднее индикаторное давление p_i отличается от p_i' только на коэффициент полноты диаграммы:

$$p_i = \varphi_i \cdot p_i' \quad (3.4)$$

При работе на полной нагрузке величина p_i (МПа) достигает:

- Для четырехтактных карбюраторных двигателей.....0,6-1,6
- Для четырехтактных дизелей без наддува.....0,7-1,1
- Для четырехтактных дизелей с наддувом.....до 2,2

Меньшие значения среднего индикаторного давления в дизелях без наддува, по сравнению с карбюраторными двигателями, объясняются тем, что при неизменных параметрах термодинамического цикла увеличение степени сжатия ведет к снижению подводимого к рабочему телу тепла, следовательно, и к уменьшению работы цикла. Кроме того дизели работают с большим коэффициентом избытка воздуха. Это вызывает неполное использование рабочего объема цилиндра и дополнительные потери теплоты на нагревание избыточного воздуха.

Индикаторная мощность

Индикаторная мощность двигателя N_i - работа, совершаемая газами внутри цилиндров в единицу времени.

Для многоцилиндрового двигателя (кВт):

$$N_i = \frac{p_i \cdot V_h \cdot i \cdot n}{30 \cdot \tau} \quad (3.5)$$

где p_i - среднее индикаторное давление, МПа; V_h - рабочий объем одного цилиндра, л (дм³); i - число цилиндров; n - частота вращения коленчатого вала, об/мин; τ - тактность двигателя.

Индикаторный КПД и удельный индикаторный расход топлива

Индикаторный КПД η_i характеризует степень использования в

действительном цикле теплоты топлива для получения полезной работы и представляет собой отношение теплоты, эквивалентной индикаторной работе цикла, ко всему количеству теплоты, внесенной в цилиндр с топливом:

$$\eta_i = \frac{L_i}{Q_0} = \frac{L_i}{g_u \cdot H_u}, \quad (3.6)$$

где L_i - теплота, эквивалентная индикаторной работе, МДж/цикл; H_u - низшая теплота сгорания топлива, МДж/кг; g_u - цикловая подача топлива, кг/цикл.

Таким образом, индикаторный КПД учитывает все тепловые потери действительного цикла.

В современных автомобильных и тракторных двигателях, работающих на номинальном режиме, величина индикаторного КПД составляет:

Для карбюраторных двигателей.....	0,26—0,35
Для дизелей.....	0,38—0,50
Для газовых двигателей.....	0,28—0,34

При известной величине индикаторного КПД может быть вычислен индикаторный удельный расход [г/(кВт·ч)] жидкого топлива:

$$g_i = \frac{3600}{\eta_i \cdot H_u}. \quad (3.7)$$

Для двигателей, работающих на газообразном топливе, индикаторный удельный расход газового топлива рассчитывают в м³/(кВт·ч):

$$v_i = \frac{3.6}{\eta_i \cdot H_u'}. \quad (3.8)$$

употребляется и удельный расход [МДж/(кВт·ч)] теплоты на единицу мощности:

$$q_i = v_i \cdot H_u'. \quad (3.9)$$

В формулах p_i и p_k выражены в МПа; ρ_k - в кг/м³; H_u - в МДж/кг; H_u - в МДж/м³; l_0 - в кг/кг топл; M_1' - в моль/моль топл; T_k - в К.

Удельные расходы топлива на номинальном режиме:

Для карбюраторных двигателей..... $g_1=235-320$ г/(кВт·ч)

Для дизелей..... $g_1=170-230$ г/(кВт·ч)

Для газовых двигателей..... $q_1=10,5-13,5$ МДж/(кВт·ч)

Методика проведения эксперимента

Индицирование двигателя происходит следующим образом:

1. Запуск и прогрев двигателя.
2. Двигатель выводится на режим по частоте вращения вала n , при котором планируется запись индикаторных диаграмм.
3. Постепенно, изменяя угол опережения зажигания, выводят двигатель на режим «поздних» углов опережения зажигания, снимают параметры работы двигателя и производят запись индикаторных диаграмм.
4. Далее повторяют эксперимент на оптимальном и максимально «раннем» углах опережения зажигания, контролируя при этом частоту вращения коленчатого вала (обороты n должны быть неизменными).
5. Постепенно, изменяя угол опережения зажигания, переводят двигатель на режим оптимального угла опережения зажигания. Прикрывая дроссельную заслонку, выводят двигатель на режим холостого хода и выдерживают его до установления стабильного теплового режима.
6. Выключение двигателя.

Содержание отчёта

1. Принципиальная схема установки.
2. Порядок проведения эксперимента.
3. Протокол измеренных и рассчитанных величин.
4. Графическое изображение обработанной индикаторной диаграммы.
5. Выводы (анализ полученных характеристик).

Вопросы для самоконтроля

1. Какой процесс называют индицированием ДВС?
2. Пояснить как и изменяется индикаторная диаграмма ДВС при изменении угла опережения зажигания?
3. Основные системы испытательного стенда и измеряемые параметры.
4. Система индицирования стенда.

4.4 Лабораторная работа №4 «Внешняя скоростная характеристика поршневого ДВС»

Цель работы: закрепление знаний полученных в курсе «Теория рабочих процессов ДВС». Освоение методики получения ВСХ. Изучение причин изменения параметров $M_{кр}$, N_e , g_e .

Общие сведения о характеристике

Скоростными характеристиками поршневого ДВС называют зависимости основных показателей его работы (N_e , g_e , $M_{кр}$ и т.д.) от скорости вращения вала (n , об/мин) при постоянном положении органа регулирования режима работы и переменной нагрузке.

Регулирование режима работы двигателя с искровым зажиганием (ДсИЗ) производят дроссельной заслонкой, расположенной во впускной системе. В двигателях с воспламенением от сжатия - зубчатой рейкой, задающей положение плунжеров топливного насоса. В данных лабораторных работах испытывается карбюраторный ДсИЗ, поэтому далее упоминается только дроссельная заслонка. Скоростные характеристики получают при регулировках топливной системы и системы зажигания, обеспечивающих максимальную мощность двигателя при данном положении дроссельной заслонки. Характеристики, полученные при открытии дроссельной заслонки менее 100%, называют частичными. Скоростная характеристика, полученная при полном открытии дроссельной

заслонки, носит название внешней, поскольку её графическое изображение в координатах $N_e = f(n)$ очерчивает внешнюю границу области возможных режимов работы двигателя. Следовательно, внешняя скоростная характеристика ДВС показывает предельные возможности двигателя в диапазоне его эксплуатации по скоростям вращения вала n_{\min} - n_{\max} .

Типичное изменение параметров по внешней скоростной характеристике показано на рис. 4.1. Для пояснения этих зависимостей удобно использовать известные взаимосвязи параметров работы поршневых двигателей. Так, эффективная мощность N_e может быть представлена как произведение крутящего момента на валу двигателя на его угловую скорость:

$$N_e = M_{кр} \cdot \omega = M_{кр} \frac{2\pi \cdot n}{60} = 0.1047 M_{кр} \cdot n, \quad (4.1)$$

Поскольку

$$N_e = \frac{P_e \cdot V_H \cdot n}{30\tau}, \quad (4.2)$$

где P_e - среднее эффективное давление, V_H - рабочий объём цилиндров двигателя, τ - его тактность, то

$$M_{кр} = \frac{P_e \cdot V_H}{\pi \cdot \tau}, \quad (4.3)$$

Для конкретного двигателя $V_H = \text{const}$ и $\tau = \text{const}$, следовательно, $M_{кр} = \text{const } P_e$. Поскольку

$$P_e = P_i \eta_{мех}, \quad (4.4)$$

то, используя известное выражение

$$P_i = \frac{H_u}{\alpha L_0} \eta_v \cdot \rho_k \cdot \eta_i, \quad (4.5)$$

можно выяснить: какие параметры и как влияют на характер зависимости $M_{кр} = f(n)$.

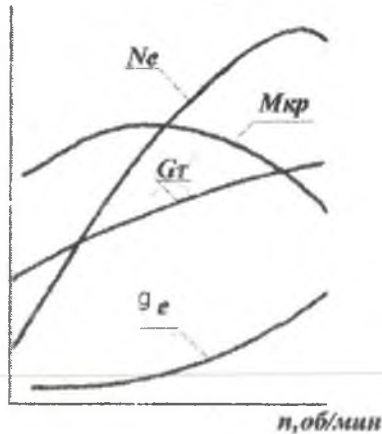


Рис. 4.1 Типичное изменение параметров двигателя по внешней скоростной характеристике

При получении внешней скоростной характеристики топливо (H_w/L_0), внешние условия (ρ_k), настройка двигателя на максимальную мощность ($\alpha=0,85...0,95$) и зависящий от α индикаторный КПД η_i являются постоянными величинами, следовательно,

$$M_{кр} = const \cdot \eta_v \cdot \eta_{max}. \quad (4.6)$$

Изменение η_v по частоте вращения вала n (рис. 4.2) объясняется тем, что с увеличением n растёт средняя скорость поршня $W_{н.сп} = \frac{S \cdot n}{30}$ и вместе с ней скорость движения топливоздушной смеси во впускной системе. Это приводит к количественному возрастанию двух эффектов, противоположно влияющих на η_v (см. рис.4.2):

- увеличивается гидравлическое сопротивление впускной системы ΔP_a (по этой причине η_v снижается);
- увеличивается дозарядка цилиндров двигателя топливоздушной смесью ($\varphi_{доз}$) за счёт инерционности потока во впускной системе и запаздывания закрытия впускных клапанов (это приводит к росту η_v).

В результате при некотором значении n_{opt} коэффициент наполнения достигает своего максимального значения. Это означает, что на данном режиме в цилиндры двигателя поступает максимальное количество

энергоносителя, что при прочих равных условиях обеспечит максимальное выделение тепла, совершение максимальной работы $L_i = P_i \cdot V_H$ и максимальной удельной работы цикла $P_i = L_i/V_H$ (см. рис. 4.2).

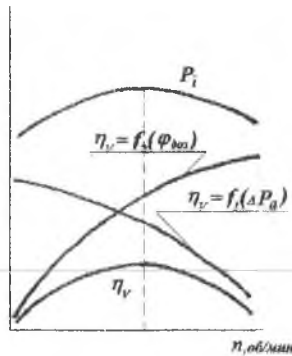


Рис. 4.2 Изменение коэффициента наполнения и среднего индикаторного давления по частоте вращения вала

Удельная работа P_e , которую можно реализовать на валу двигателя, отличается от той, что получена в цилиндре (P_i), на величину механических потерь (4.6). Известно, что

$$\eta_{\text{мех}} = 1 - \frac{N_{\text{мех}}}{N_i}, \quad (4.7)$$

где $N_{\text{мех}}$ - затраты энергии на внутренние потребности двигателя, а N_i - индикаторная мощность, полученная в цилиндрах двигателя. Поскольку

$$N_i = \frac{H_u}{\alpha L_0} V_H \cdot \rho_k \cdot \eta_v \cdot \eta_i \cdot \frac{n}{30\tau}, \quad (4.8)$$

то по определению внешней скоростной характеристики

$$\frac{H_u}{\alpha L_0} V_H \cdot \rho_k \cdot \eta_v \cdot \eta_i \cdot \frac{1}{30\tau} = \text{const} = K, \quad (4.9)$$

т.е.

$$N_i = K \cdot \eta_v \cdot n. \quad (4.10)$$

Очевидно, что произведение η_v и n даёт зависимость $N_i = B \cdot n^p$ (здесь p либо равно 1, либо менее 1), представленную на рис.4.3.

Мощность механических потерь обобщённо может быть выражена как

$$N_{\text{мех}} = A \cdot n^m, \quad (4.11)$$

где $m = 1,8 \dots 2,2$ в зависимости от конструкции двигателя. В среднем можно принять $m = 2$. Тогда

$$\eta_{\text{мех}} = 1 - \frac{A n^2}{B n} = 1 - C n, \quad (4.12)$$

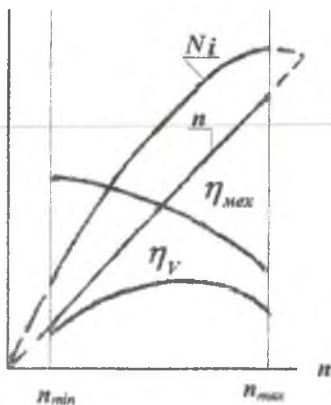


Рис. 4.3 К пояснению характера зависимости индикаторной мощности от частоты вращения вала двигателя

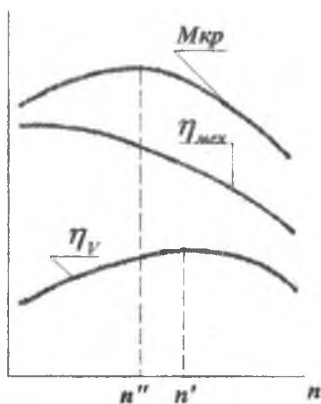


Рис. 4.4 Характер изменения крутящего момента на валу двигателя от частоты его вращения

т.е. с ростом частоты вращения вала коэффициент $\eta_{\text{мех}}$ уменьшается (рис. 4.4). Подводя итог изложенному анализу изменения основных параметров работы двигателя, можно сказать, что на основе выражения (4.6) получается зависимость $M_{\text{кр}} = f(n)$, изображённая на рис. 4.4, а на основе выражения (4.4) зависимость $N_e = f(n)$, изображённая на рис. 4.1. Чтобы уяснить характер зависимости $g_e = f(n)$, следует вспомнить, что

$$g_e = \frac{3600}{H_u \cdot \eta_i \cdot \eta_{\text{мех}}} \quad (4.13)$$

При постоянной величине α (настройка двигателя на максимальную мощность) $g_e \sim 1/\eta_{\text{мех}}$, что и даёт зависимость, приведенную на рис. 4.1. В современных двигателях настройка карбюратора или системы впрыска топлива выполняется с учётом экологических требований, что выражается в отступлении на некоторых режимах от α , обеспечивающего $N_{e \text{ max}}$. Поэтому характер зависимости $g_e = f(n)$ может отличаться от изображённого на рис. 4.1, поскольку на неё будет оказывать влияние изменение η_i от α .

Методика проведения эксперимента

Получение внешней характеристики двигателя происходит следующим образом:

1. Запуск и прогрев двигателя.
2. Двигатель выводится на режим по максимальной частоте вращения 2800 об/мин, соответствующий первой экспериментальной точке. Постепенно открывают дроссельную заслонку карбюратора до полностью открытого состояния, повышают ток обмотки возбуждения генератора.
3. Производится регистрация параметров работы двигателя.
4. Регулированием нагрузки режим работы двигателя по частоте вращения вала уменьшается на 200 об/мин. Производится регистрация параметров.
5. Этот шаг повторяется до номинальной частоты вращения $n_{\text{ном}} = 2000$ об/мин. Положение дроссельной заслонки при этом сохраняется неизменным.

6. Далее, прикрывая дроссельную заслонку, выводят двигатель на 1800 об/мин, одновременно открывая дроссельную заслонку до полностью открытого состояния и повышая ток обмотки возбуждения генератора, выставляют заданный режим.
7. Производится регистрация параметров работы двигателя.
8. Регулированием нагрузки режим работы двигателя по частоте вращения вала уменьшается на 200 об/мин. Производится регистрация параметров.
9. Характеристику продолжают получать до минимальной частоты вращения $n_B 1000 \text{ об/мин}$.
10. Постепенно прикрывая дроссельную заслонку, выводят двигатель на режим холостого хода и выдерживают его до установления стабильного теплового режима.
11. Выключение двигателя.

Содержание отчёта

1. Принципиальная схема установки.
2. Порядок проведения эксперимента.
3. Протокол измеренных и рассчитанных величин.
4. Графическое изображение характеристики.
5. Выводы (анализ полученных характеристик).

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое скоростные характеристики поршневого ДВС?
2. В чём отличие частичных и внешней скоростных характеристик?
3. Условия и методика получения внешней скоростной характеристики.
4. Объяснить характер изменения основных параметров работы ДВС по внешней скоростной характеристике.

4.5 Лабораторная работа №5 «Нагрузочная характеристика»

Цель работы. Закрепление знаний, полученных в курсе «ТРП». Освоение методики получения нагрузочной характеристики ДсИЗ.

Общие сведения о характеристике

Двигатели, являющиеся приводом электрогенераторов, насосов, компрессоров и т.п., должны при изменении нагрузки (расхода электроэнергии, жидкости или газа) поддерживать практически постоянную частоту вращения вала. Для оценки качества работы таких двигателей анализируют их характеристики, полученные при различных сочетаниях нагрузки и расходов топлива, но при $n = \text{const}$. Такие характеристики называют нагрузочными.

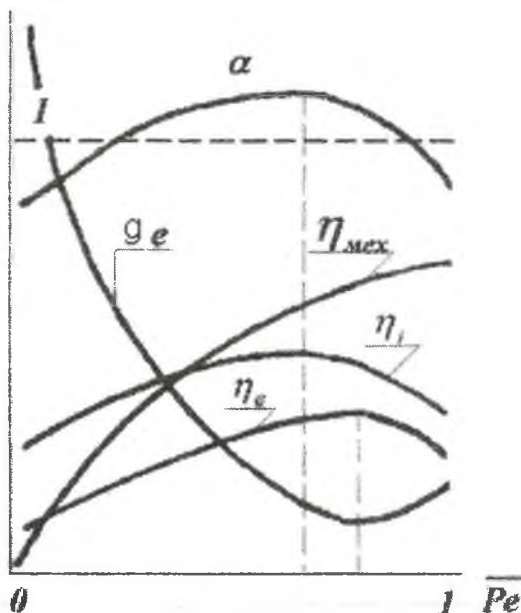


Рис. 5.1 Нагрузочная характеристика

Эти характеристики могут быть использованы и для оценки возможности обеспечения постоянной скорости движения транспортного устройства, при переменном профиле траектории его движения (профиль дороги для автомобиля, профиль полёта для ЛА, волнение на поверхности акватории для водных судов и т.п.). На графике нагрузочной характеристики (рис. 5.1) по оси абсцисс откладывается один из параметров нагрузки: N_e , $M_{кр}$ или P_e (чаще всего в процентах). Поскольку

$$N_e = \frac{P_e \cdot V_H \cdot n}{30\tau} \text{ или } N_e = M_{кр} \frac{2\pi \cdot \pi}{60}, \quad (5.1)$$

то, очевидно, что все три параметра линейно зависят друг от друга (рис. 5.2). Поэтому в поле этой характеристики располагают лишь зависимости параметров топливной экономичности двигателя (g_i , g_e) и некоторых других, с помощью которых можно пояснить изменение g_i и g_e . Из выражения

$$g_e = \frac{3600}{H_u \cdot \eta_i \cdot \eta_{мех}} \quad (5.2)$$

следует, что минимальный удельный расход топлива получается при нагрузке, соответствующей максимальному значению $\eta_e = \eta_i \cdot \eta_{мех}$. Как следует из характеристики ДВС по составу ТВС, изменение η_i строго связано с изменением коэффициента избытка воздуха α .

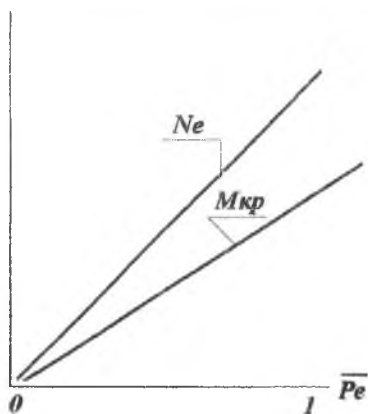


Рис. 5.2 Связь параметров, характеризующих нагрузку на двигатель при $n = \text{const}$

В большинстве ДСИЗ топливная аппаратура настраивается так, что на основных режимах работы двигателя стремятся получить максимальную полноту сгорания ТВС, т.е. $\alpha > 1$. При переходе на режим максимальной нагрузки состав смеси изменяется до $\alpha \approx 0,85 \dots 0,95$, обеспечивающего получение максимальной величины N_e . При снижении режима вплоть до холостого хода ($N_e = 0$), т.е. до минимально устойчивого режима работы, из-за невозможности обеспечить высокое качество подготовки ТВС смесь приходится существенно обогащать (до $\alpha \approx 0,6 \dots 0,7$) для того, чтобы получить устойчивое её воспламенение. При таком характере изменения α по нагрузке максимум η_i получается при α_{\max} . Коэффициент механических потерь

$$\eta_{\text{мех}} = 1 - \frac{N_{\text{мех}}}{N_i} \quad (5.3)$$

с ростом нагрузки увеличивается, поскольку при $p = \text{const}$ мощность $N_{\text{мех}}$ остаётся постоянной величиной, а N_i растёт. В результате эффективный КПД $\eta_e = \eta_i \cdot \eta_{\text{мех}}$ имеет максимум при нагрузке большей, чем та, которая соответствует максимуму η_i . На режиме холостого хода $N_e = 0$ и $\eta_{\text{мех}} = 0$, следовательно $g_e \rightarrow \infty$.

Таким образом, характер изменения g_e по нагрузке на двигатель при $p = \text{const}$ имеет явно выраженный минимум и существенный рост на пониженных режимах. Чтобы выбрать наиболее оптимальные режимы эксплуатации двигателя, при его испытании получают серию нагрузочных характеристик при $n_1 = \text{const}$, $n_2 = \text{const}$, $n_3 = \text{const}$ и т.д.

Пример такой серии показан на рис. 5.3. Кружками на каждой кривой $g_e = f(N_e)$ отмечены режимы работы двигателя по внешней скоростной характеристике, а штриховая линия, проведённая через минимумы g_e , показывает предельные возможности данного двигателя по топливной экономичности на каждой частоте вращения вала. Абсолютный минимум - точка $(N_e)_{\text{эк}}$ - является наиболее выгодным режимом эксплуатации испытанного образца двигателя.

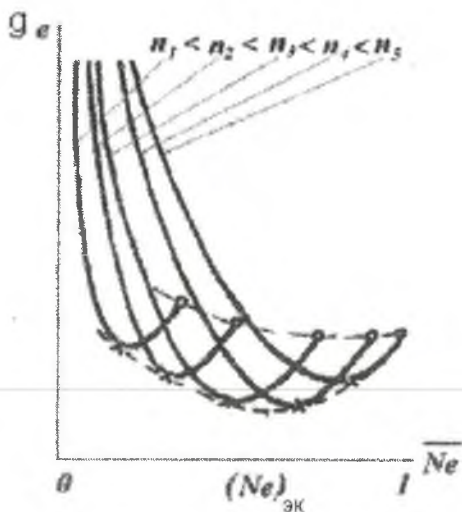


Рис. 5.3 Пример нагрузочной характеристики ДсИЗ

Методика проведения эксперимента

Получение нагрузочных характеристик двигателя происходит следующим образом:

1. Запуск и прогрев двигателя.
2. Двигатель выводится на режим по частоте вращения вала n_1 , соответствующий первой нагрузочной характеристике.
3. Производится регистрация параметров работы двигателя.
4. Постепенно открывают дроссельную заслонку карбюратора на угол, соответствующий шагу снятия характеристики (угол поворота дроссельной заслонки для регистрации шага может быть заменен разрежением за карбюратором). Одновременно регулированием нагрузки на двигатель обеспечивается условие $n_1 = \text{const}$. Регистрируют параметры работы двигателя.
5. Этот шаг повторяется до угла открытия дроссельной заслонки 100 %
6. Далее постепенно прикрывая дроссельную заслонку карбюратора и регулируя нагрузку на двигатель, с тем же шагом получают характеристику в обратном порядке.
7. Двигатель выводят на режим по частоте вращения n_2 ,

- соответствующий оборотам снятия второй нагрузочной характеристики.
8. Повторяются п п. 3, 4, 5, 6 при $n_2 = \text{const}$.
 9. П п. 7 и 8 повторяются при $n_3 = \text{const}$, $n_4 = \text{const}$ и т.д. (количество характеристик определяется заданием на лабораторную работу).
 10. Постепенно прикрывая дроссельную заслонку и регулируя нагрузку, выводят двигатель на режим холостого хода и выдерживают его до установления стабильного теплового режима.
 11. Выключение двигателя.

Содержание отчёта

1. Принципиальная схема установки.
2. Порядок проведения эксперимента.
3. Протокол измеренных и рассчитанных величин.
4. Графическое изображение характеристики.
5. Выводы (анализ полученных характеристик).

Вопросы для самоконтроля

1. Что такое нагрузочные характеристики поршневого ДВС?
2. Условия и методика получения нагрузочных характеристик.
3. Основные системы испытательного стенда и измеряемые параметры.
4. Объяснить характер изменения основных параметров работы ДВС по нагрузочной характеристике ДВС.

5 ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТА

Обработка результатов измерений сводится к вычислению параметров, необходимых для графического построения характеристики двигателя. Вычисление параметров необходимо проводить в системе СИ в следующей последовательности:

- Определение атмосферного давления:

$$P_H = \frac{B_H}{735.6} \cdot 9.81 \cdot 10^4, \text{ Па}, \quad (1)$$

где B_H – мм рт.ст. - барометрическое давление;

- Эффективная мощность двигателя N_e :

$$N_e = \frac{M_{кр} \cdot n \cdot \pi}{30000}, \text{ кВт}, \quad (2)$$

где $M_{кр}$ - крутящий момент в Нм, n – частота вращения коленвала.

- Крутящий момент $M_{кр}$:

$$M_{кр} = (P - P_0) \cdot g \cdot l, \quad (3)$$

где P , кг, – нагрузка на весовой головке; P_0 , кг, – начальная нагрузка на весовой головке; $g=9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения; $l=0,3581 \text{ м}$ – длина плеча.

- Часовой расход топлива G_T :

$$G_T = \frac{3600 \cdot V_M \cdot \rho_T}{\tau}, \text{ кг/ч}, \quad (4)$$

где $V_M=28,73 \cdot 10^6 \text{ м}^3$ – объем мерной емкости штихпробера; $\rho_T, \text{ кг/м}^3$ – плотность топлива; τ , сек, – время выработки мерного объема.

- Удельный эффективный расход топлива g_e :

$$g_e = \frac{G_T \cdot 1000}{N_e}, \text{ г/(кВт·ч)}, \quad (5)$$

- Давление воздуха на всасывании P_K :

$$P_K = P - \Delta P_K, \text{ Па}, \quad (6)$$

где ΔP_K – гидравлическое сопротивление входной магистрали, Па.

- Температура воздуха на входе в карбюратор T_K :

$$T_K = t_K + 273, \text{ К}, \quad (7)$$

где t_K - температура воздуха на входе в двигатель.

- Плотность воздуха на входе в двигатель ρ_K :

$$\rho_K = \frac{P_K}{RT_K}, \text{ кг/м}^3, \quad (8)$$

где $R = 287$ Дж/(кг·град) - газовая постоянная воздуха.

- Действительный расход воздуха через двигатель G_a :

$$G_a = 60 \cdot (n_1 - n_0) \cdot V_p \cdot \rho_k, \text{ кг/ч}, \quad (9)$$

где $V_p = 1.7094 \cdot 10^{-3}$, м³ – мерный объем расходомера; n_0 и n_1 начальное и конечное показания счетчика; время замера 60 с; ρ_k , кг/м³, - плотность воздуха на входе в двигатель.

- Коэффициент избытка воздуха α :

$$\alpha = \frac{G_B}{G_T \cdot L_O}, \quad (10)$$

где $L_O = 14,9$ кг - масса воздуха, теоретически необходимая для полного сгорания 1 кг топлива (стехиометрический коэффициент).

- Массовый теоретический расход воздуха через двигатель G_{BT} :

$$G_{BT} = 30 \cdot V_H \cdot n \cdot \rho_K, \text{ кг/ч}. \quad (11)$$

V_H , м³, - рабочий объем двигателя; n , об/мин, - частота вращения коленчатого вала.

- Коэффициент наполнения η_v :

$$\eta_V = \frac{G_B}{G_{BT}}, \quad (12)$$

- Эффективный КПД η_e :

$$\eta_e = \frac{3600}{g_e \cdot H_u}, \quad (13)$$

где g_e , кг/кВт·ч, - удельный эффективный расход топлива,

$H_u = 44\,200$ кДж/кг - низшая (рабочая) теплотворность топлива.

Обработка результатов индицирования

Во время тактов наполнения и выхлопа силы давления газов на поршень невелики и составляют лишь доли процента от максимальной силы. Поэтому ими можно пренебречь и при определении индикаторных параметров достаточно иметь диаграмму действительного цикла для тактов сжатия и расширения.

Для определения среднего индикаторного давления индикаторную диаграмму, записанную шлейфовым осциллографом в координатах давление-угол поворота КВ ($p-\phi$), необходимо перестроить в координаты давление-объем ($p-V$). С этой целью:

а) из серии циклов, записанных один за другим на фотобумаге (рис. 14), выбирают обычно средний, наиболее отвечающий условиям работы двигателя и равномерной протяжке бумаги;

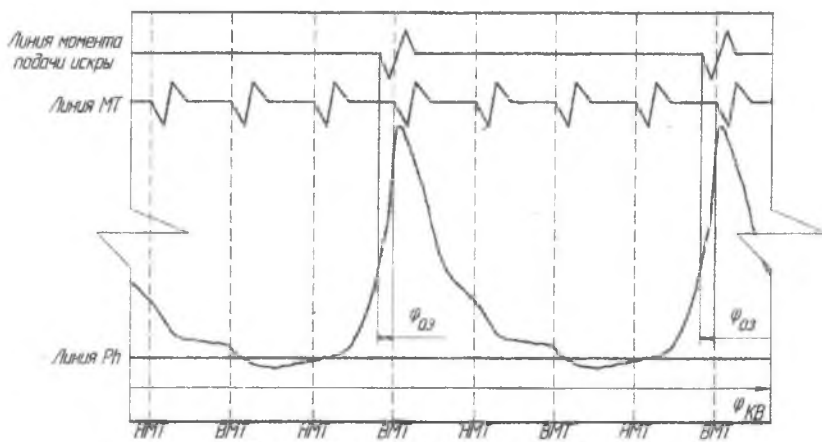


Рис. 14 Индикаторная диаграмма

б) выбранный участок фотобумаги необходимо сканировать для последующей обработки его в графическом редакторе;

в) на сканированный рисунок в графическом редакторе необходимо нанести ВМТ и НМТ выбранного цикла;

г) цикл следует разделить на равные отрезки, пропорциональные углу поворота КВ через 10...20 градусов, и через полученные точки провести ординаты (перпендикулярные линии P_n) до пересечения с контуром диаграммы. Для увеличения точности обработки, особенно в области

процесса горения, следует выбирать меньшие величины из указанного диапазона;

д) разметить оси давления и объёмов так, как это показано на рис. 15;

е) для сохранения кинематического соответствия между перемещением поршня и углом поворота КВ при конечном отношении радиуса кривошипа к длине шатуна следует использовать поправку

Брикса: $\frac{R \cdot \lambda}{2} = 6.0075 \text{ мм}$ (для УМЗ 5А) и откладывать углы поворота КВ

как показано на рис. 15;

ж) на перестроенной индикаторной диаграмме в НМТ конец линии расширения и начало линии сжатия соединить по изохоре, образовав таким образом замкнутый контур действительного цикла, при помощи графического редактора необходимо измерить и указать значение площади этого цикла.

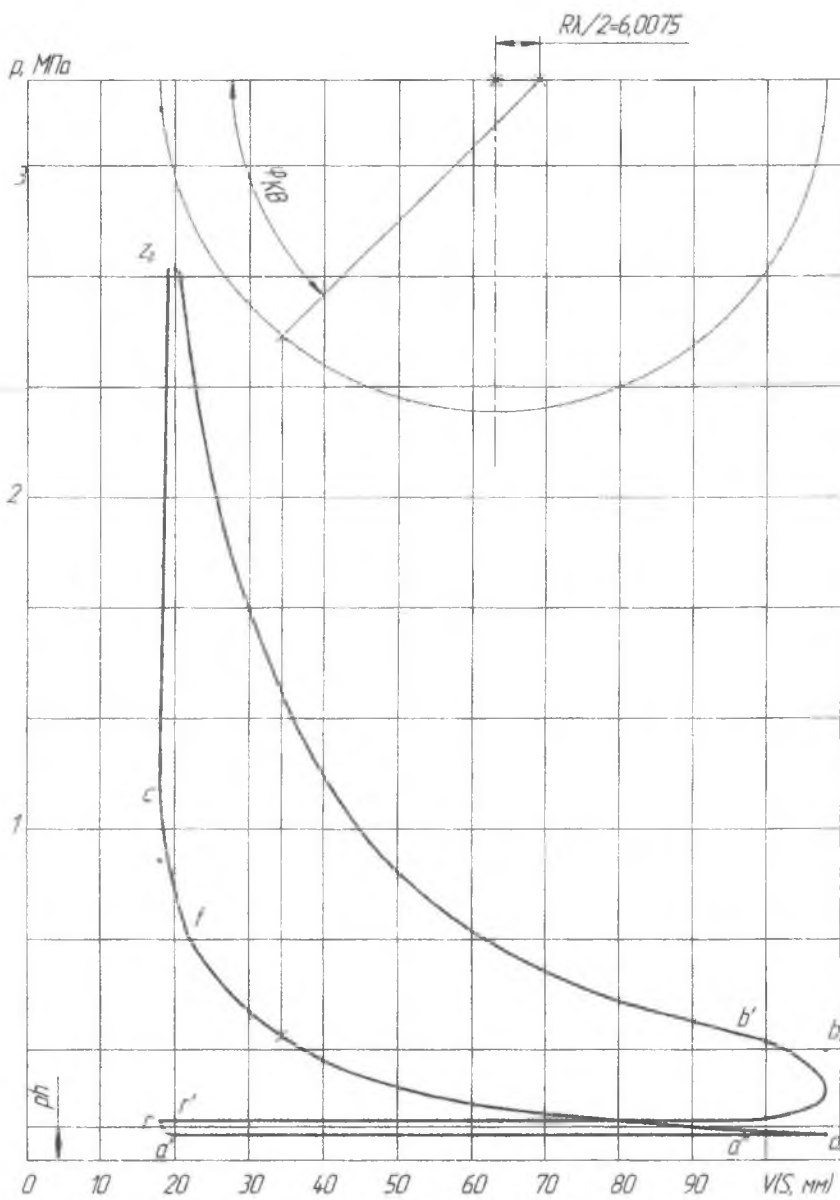


Рис. 15 Индикаторная диаграмма (свернутая)

Определение индикаторных параметров

Площадь полученной фигуры F_d пропорциональна индикаторной работе цикла.

- Среднее индикаторное давление:

$$P_i = \frac{F_d}{S_n} \cdot \mu_p, \text{ Па}, \quad (14)$$

где μ_p , Па/мм, масштаб давлений на полученной диаграмме.

- Индикаторная работа цикла:

$$L_i = P_i(\text{Па}) \cdot V_h(\text{м}^3), \text{ Дж}. \quad (15)$$

- Индикаторная мощность двигателя:

$$N_i = \frac{L_i \cdot n}{30\tau} \cdot 10^{-3}, \text{ кВт}. \quad (16)$$

- Индикаторный удельный расход топлива g_i :

$$g_i = \frac{G_T \cdot 1000}{N_i}, \text{ г/(кВт·ч)}. \quad (17)$$

- Индикаторный КПД η_i :

$$\eta_i = \frac{3600}{g_i \cdot H_u}. \quad (18)$$

Определение показателей политроп сжатия и расширения

Показатели политроп рассчитываются с использованием формулы для определения работы политропного процесса:

$$L = \frac{1}{n-1} (p_2 v_2 - p_1 v_1). \quad (19)$$

Показатель политропы сжатия p_1

На индикаторной диаграмме выделите участок, соответствующий такту сжатия. Следует считать началом этого процесса (параметры рабочего тела p_1, v_1) точку пересечения линии p_H с линией изменения давления в такте сжатия, поскольку при $p < p_H$ впускной клапан скорее всего еще не был закрыт. Концом (параметры рабочего тела p_2, v_2) - момент подачи искры. В данной серии испытаний индицирование двигателя проводится при переменных углах опережения зажигания $\phi_{03} = 0^\circ, 20^\circ, 40^\circ$. При определении показателя политропы p_1 точку, соответствующую параметрам p_2, v_2 , принимайте $\phi_{03} = 40^\circ$, что исключит искажения процесса сжатия началом процесса горения ТВС при любом ϕ_{03} .

Давление:

$$P_{1,2} = I_p \cdot \mu_p, \text{Па}, \quad (20)$$

где I_p - ординаты точек 1 или 2, мм.

Объем:

$$V_{1,2} = S_{1,2} (\text{мм}) \cdot 10^{-3} \cdot F_u (\text{мм}^2) + V (\text{мм}^3). \quad (21)$$

Здесь S - ход поршня, F_u - площадь цилиндра, V_c - объем камеры сгорания, который можно определить из соотношения:

$$\frac{V_a}{V_c} = \frac{V_h + V_c}{V_c} = \varepsilon. \quad (22)$$

Работа сжатия:

$$L_c = F_c \cdot \mu_L, \text{Дж}. \quad (23)$$

Здесь F_c - площадь, мм^2 , под политропой сжатия (между точками 1 и 2), а μ_L - масштаб работы, $\text{Дж}/\text{мм}^2$,

$$\mu_L = \mu_p \cdot F_u \cdot \mu_S, \text{Дж}/\text{мм}^2, \quad (24)$$

где μ_S - масштаб хода поршня $\text{мм}/\text{мм}$.

Показатель политропы расширения p_2

На индикаторной диаграмме выделите участок, соответствующий такту расширения. Началом этого процесса (параметры рабочего тела p_1, v_1) следует считать точку, где линия, изображающая процесс горения изменяет знак своей кривизны, что скорее всего означает конец процесса догорания.

Концом (параметры рабочего тела p_2, v_2)- также изменение знака кривизны этой линии, т.к. в этот момент при подходе поршня к НМТ открывается выпускной клапан.

Формулы для расчета p_1, v_1 и p_2, v_2 в процессе расширения не отличаются от формул (20....24), использованных при расчете величины n_1 .

При оформлении протокола выполненной работы следует записать все формулы, подстановку в них соответствующих чисел и полученный результат.

В выводах прокомментируйте полученные величины N_i, n_1, n_2 .

Библиографический список

1. Райков, И.Я. Испытания двигателей внутреннего сгорания/ И.Я. Райков.– М.: Высшая школа, 1975.
2. Двигатели внутреннего сгорания. Теория рабочих процессов поршневых и комбинированных двигателей / под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – М.: Машиностроение, 1983.
3. Регулировочные характеристики двигателей внутреннего сгорания: метод. указания / сост. Ю.Л. Ковылов, А.К. Краснов. Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2003. – 30 с.
4. Эксплуатационные характеристики двигателей внутреннего сгорания: метод. указания / сост. Ю.Л. Ковылов, А.К. Краснов. Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2003. – 23 с.
5. ГОСТ 14646-81. Двигатели автомобильные.
6. ГОСТ 18509-88. Дизели тракторные комбайновые. Методы стендовых испытаний.

Содержание

Общие сведения.....	3
Порядок проведения лабораторных работ.....	5
Техника безопасности при проведении лабораторных работ.....	6
1. Объект испытаний- двигатель УМЗ -5А.....	8
1.1 Основные технические данные двигателя.....	8
1.2 Описание конструкции двигателя УМЗ-5А.....	9
2. Стенд для испытаний ДВС.....	11
2.1 Описание структуры стенда для испытаний ДВС.....	11
2.2 Измерительная аппаратура стенда.....	14
2.3 Управление двигателем.....	23
3. Основные правила проведения испытаний.....	25
4. Лабораторные работы.....	28
4.1 Лабораторная работа №1 «Характеристика по составу смеси».....	28
4.2 Лабораторная работа №2 «Характеристика по углу опережения зажигания».....	38
4.3 Лабораторная работа №3 «Индицирование ДВС».....	45
4.4 Лабораторная работа №4 «Внешняя скоростная характеристика поршневого ДВС».....	55
4.5 Лабораторная работа №5 «Нагрузочная характеристика».....	62
5. Обработка результатов эксперимента.....	67
Библиографический список.....	75

Учебное издание

*Ковылов Юрий Леонидович
Крепляк Михаил Сергеевич
Филимонов Михаил Дмитриевич*

**ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВС
И ИХ ПОЛУЧЕНИЕ
НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ СТЕНДЕ**

Методические указания

Технический редактор В. Н. В я к и н
Редакторская обработка А. С. К о ч е у л о в а
Корректорская обработка Н. В. П р я д и л ь н и к о в а
Доверстка Е. А. Л а р и о н о в а

Подписано в печать 21.12.07. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Печ. л. 4,75.

Тираж 120 экз. Заказ 241 . ИП-ж123/2007

Самарский государственный
аэрокосмический университет.
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

Изд-во Самарского государственного
аэрокосмического университета.
443086 Самара, Московское шоссе, 34.