

Проект «Инженерные кадры Зауралья»

*МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ*  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Курганский государственный университет»

Кафедра «Автомобильный транспорт и автосервис»

## **АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДВИГАТЕЛИ**

Методические указания  
к выполнению лабораторных работ  
по дисциплине «Силовые агрегаты»  
для студентов направления 190600.62

*Часть первая*

Курган 2014

Кафедра: «Автомобильный транспорт и автосервис»

Дисциплины: «Силовые агрегаты»  
(направление 190600.62).

Составили: канд. техн. наук, проф. А.В. Глазырин, канд. техн. наук,  
доц. В.Н. Шабуров; канд. техн. наук, доц. А.В. Савельев.

Утверждены на заседании кафедры «23» сентября 2013 г.

Рекомендованы методическим советом университета в рамках проекта «Инженерные кадры Зауралья» «22» ноября 2013 г.

## ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Силовые агрегаты», изучаемая студентами соответствующего направления, даёт обучающимся систему знаний о факторах, формирующих энергетические, экологические, эксплуатационные и другие показатели работы двигателей. Лабораторный практикум по двигателям внутреннего сгорания является неотъемлемой частью изучения указанной дисциплины и проводится с целью закрепления знаний, полученных в лекционном курсе. В настоящих методических указаниях представлены следующие лабораторные работы: «Внешняя скоростная характеристика дизельного двигателя, снабжённого всережимным регулятором», «Скоростная характеристика дизельной топливной аппаратуры», «Нагрузочная характеристика бензинового двигателя», «Регулировочная характеристика бензинового двигателя».

### 1 ОБЩАЯ МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ И ОФОРМЛЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Учебно-методическое руководство студентами осуществляет преподаватель, в помощь которому на всё время проведения занятий прикрепляется учебный мастер кафедры. Перед началом занятий преподаватель проводит инструктаж по технике безопасности при выполнении лабораторной работы.

В начале каждого занятия студенты знакомятся с теоретическими вопросами и методическими указаниями по проведению работы. Преподаватель проверяет правильность усвоения студентами теории и методики, контролирует качество выполнения работы студентами, даёт указания по устранению допущенных ими ошибок.

Каждый студент за время лабораторных работ должен освоить выполнение операций на всех рабочих местах, поэтому при проведении очередной лабораторной работы студенты-исполнители заменяют друг друга на рабочих местах. Контроль за перемещением студентов с одного рабочего места на другое осуществляет старший подгруппы. Каждый студент знакомится с устройством установок и измерительных приборов, практически осваивает приёмы пользования ими, порядок проверки и градуировки их.

Испытания двигателей производятся в соответствии с ГОСТ 14846-81 «Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний». Замеры параметров во время испытаний производятся после вывода двигателя на соответствующий установившийся режим.

При оформлении отчётов о выполнении лабораторных работ студенты должны уделять особое внимание аккуратности и правильности расчётов, записей и построения графиков. Опытные точки, полученные непосредственными замерами, изображаются на графиках в виде маленьких окружностей диаметром 1-2 мм. Полученные точки соединяются так, чтобы на кривой уложилось наибольшее количество точек. Не следует соединять точки прямыми, так как в этом случае получается ломаная линия, искажающая изображение характера протека-

ния действительного процесса. При построении кривых необходимо внимательно подходить к выбору масштаба, пользуясь основным правилом – простота понимания характеристики и полное использование площади формата.

## 2 ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ИСПЫТАНИИ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

При испытании двигателей должна быть обеспечена полная безопасность и безвредность условий для работы студентов, преподавателей и учебных мастеров. На каждом занятии студенты инструктируются преподавателем по технике безопасности. Проведение инструктажа регистрируется в специальном журнале.

В лаборатории вывешиваются правила по технике безопасности при работе на испытательных стендах.

Всем студентам, преподавателям и учебным мастерам при испытании двигателей необходимо выполнять следующие правила техники безопасности:

1 Работать только в аккуратной одежде, не имеющей развевающихся частей. Иметь аккуратную причёску.

2 Перед пуском двигателя включить в работу систему вентиляции лаборатории.

3 При измерении расхода топлива не допускать переливания топлива из колбы мерного устройства.

4 Запрещается включение приборов, кнопочных пускателей, рубильников и переключателей оборудования, не относящегося к проводимой работе.

5 Все наружные соединительные устройства вращающихся деталей и другие опасные части испытательных установок и двигателей ограждены кожухами, но это не обеспечивает полной безопасности. В связи с этим запрещается во время работы:

а) находиться в зоне карданного вала;

б) касаться руками кожуха вентилятора системы охлаждения, выпускного коллектора двигателя и металлических деталей электротормоза.

6 Запрещается открывать защитные сетки жидкостных реостатов при включённых рубильниках стендов.

7 Запрещается проводить испытания двигателя одному человеку. Присутствие второго человека обязательно для оказания, в случае необходимости, первой помощи.

8 При появлении неисправности во время испытаний необходимо немедленно уменьшить подачу топлива, выключить электропитание стенда и приборов и остановить двигатель.

9 Запрещается в лаборатории работать с открытым пламенем и курить.

10 В случае возникновения пожара студентам необходимо без паники немедленно покинуть лабораторию, а преподавателю и учебному мастеру принять необходимые меры по тушению возгорания посредством огнетушителя и песка и информировать соответствующие службы.

### 3 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

## ВНЕШНЯЯ СКОРОСТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ, СНАБЖЁННОГО ВСЕРЕЖИМНЫМ РЕГУЛЯТОРОМ

### 3.1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Целью настоящей работы является ознакомление с характером изменения основных показателей работы дизельного двигателя при переменной частоте вращения и основными факторами, определяющими протекание характеристики.

### 3.2 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Под скоростной характеристикой дизеля понимают изменение эффективной мощности  $N_e$ , крутящего момента  $M_k$ , часового  $G_T$  и удельного  $g_e$  расходов топлива и других показателей работы двигателя в зависимости от частоты вращения коленчатого вала при постоянном положении рычага управления подачей топлива. Скоростная характеристика, снятая при максимальном положении рычага управления подачей топлива, называется внешней.

Характеристика снимается на дизеле без наддува при полном натяжении пружины регулятора. На графиках характеристики (рисунок 3.1) по оси абсцисс откладывается частота вращения  $n$ , а по оси ординат – основные показатели двигателя ( $N_e$ ,  $G_T$ ,  $g_e$ ,  $M_k$  или  $p_e$  и другие). Характеристика имеет два участка:

- участок от минимальной частоты вращения  $n_{\min}$  при наибольшей внешней нагрузке до номинального режима  $n_n$  является частью скоростной характеристики, обеспечиваемой работой корректора (внешняя ветвь скоростной характеристики), регулятор при этом не работает;

- участок от режима  $n_n$  до режима холостого хода  $n_{x,\max}$  называется регуляторной ветвью. На этом участке регулятор уменьшает цикловую подачу топлива от номинальной до величины, необходимой лишь для преодоления внутренних потерь в дизеле.

#### **Внешняя ветвь скоростной характеристики (ВСХ)**

ВСХ представляет собой верхнюю границу поля эксплуатационных режимов работы двигателя. При этом частоте вращения  $n_n$  соответствует номинальная эффективная мощность  $N_{en}$ , а при  $n_m$  двигатель развивает максимальный крутящий момент  $M_{k\max}$ .

Крутящий момент двигателя находится в прямой пропорциональной зависимости от среднего эффективного давления  $p_e$ , которое в свою очередь определяется выражением:

$$p_e = c \cdot q_{ц} \cdot \eta_i \cdot \eta_m, \quad (3.2.1)$$

где  $c$  – постоянный коэффициент;

$q_{ц}$  – цикловая подача топлива;

$\eta_i$ ,  $\eta_m$  – индикаторный и механический КПД.

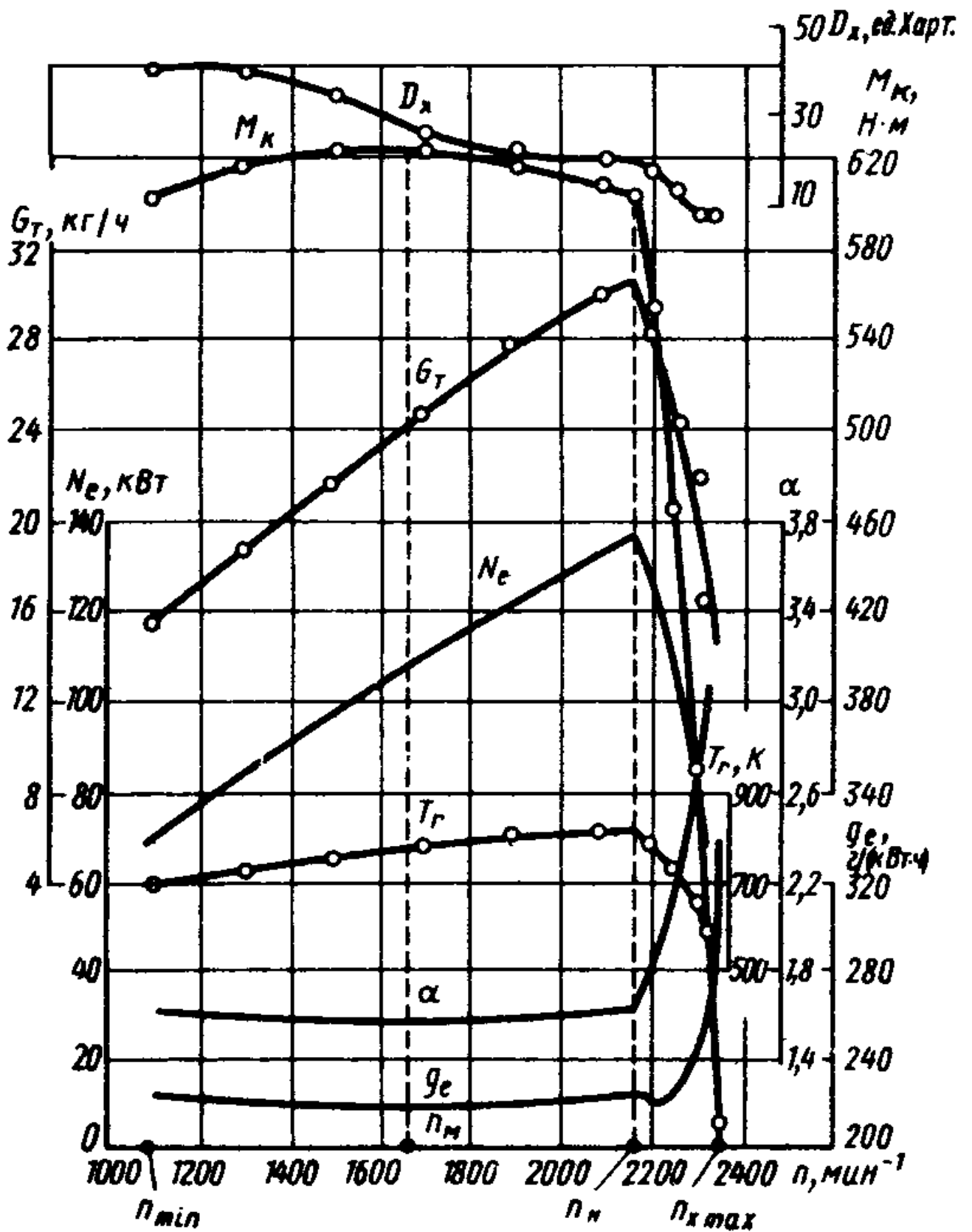


Рисунок 3.1 – Внешняя скоростная характеристика дизеля, снабженного всережимным регулятором

При уменьшении частоты вращения от  $n_n$  до  $n_m$  («перегруз двигателя») несколько увеличивается коэффициент наполнения  $\eta_v$ , вследствие снижения гидравлического сопротивления впускной системы. Это обстоятельство позволяет увеличить цикловую подачу топлива с помощью корректора при приемлемых значениях коэффициента избытка воздуха  $\alpha$  и дымности отработавших газов (ОГ). Индикаторный КПД двигателя при этом может незначительно уменьшаться, а механический КПД  $\eta_m$  возрастает. Все это приводит к увеличению  $p_e$ , а следовательно – крутящего момента  $M_k$ . Максимальные значения  $p_e$  и  $M_k$  достигаются при частоте вращения  $n_m$ .

Дальнейший «перегруз двигателя» приводит к уменьшению  $n$  ниже  $n_m$ . На этом участке падает коэффициент наполнения  $\eta_v$  из-за несоответствия фаз газораспределения. При отсутствии «обратной» коррекции подачи топлива значительно снижается  $\alpha$ , ухудшаются условия смесеобразования, растут потери тепла в стенки, происходит значительное падение  $\eta_i$  и возрастает дымность ОГ. Несмотря на происходящее некоторое увеличение  $\eta_m$  происходит значительное уменьшение  $p_e$  и, следовательно,  $M_k$ .

Изменение эффективной мощности  $N_e$  происходит в соответствии с выражением:

$$N_e = \frac{p_e \cdot V_d \cdot n}{30 \cdot \tau}, \quad (3.2.2)$$

где  $p_e$  – среднее эффективное давление;

$V_d$  – рабочий объем двигателя;

$n$  – частота вращения двигателя;

$\tau$  – коэффициент тактности.

При малом изменении  $p_e$  по ВСХ эффективная мощность двигателя растет за счет увеличения  $n$ .

Экономичность работы двигателя, оцениваемую удельным эффективным расходом топлива, можно проанализировать по выражению:

$$g_e = \frac{C}{\eta_i \cdot \eta_m}, \quad (3.2.3)$$

где  $C$  – постоянный коэффициент.

С увеличением частоты вращения удельный расход топлива уменьшается вследствие некоторого увеличения  $\eta_i$  и  $\eta_m$ . Минимум  $g_e$  определяется максимальным значением произведения  $\eta_i \cdot \eta_m$ . При дальнейшем увеличении  $n$  экономичность работы ухудшается, так как увеличиваются механические потери двигателя, а следовательно, уменьшается  $\eta_m$ .

### **Регуляторная ветвь характеристики**

Решающую роль в формировании зависимости показателей от частоты вращения по регуляторной ветви играет уменьшение цикловой подачи топлива с ростом  $n$ , осуществляемое регулятором. Показатели двигателя ( $p_e$ ,  $M_k$ , и  $N_e$ ) в диапазоне от  $n_n$  до  $n_{x,max}$  резко уменьшаются от номинальных значений до нуля.

Удельный эффективный расход топлива  $g_e$  при увеличении  $n$  выше  $n_n$  снижается в узком диапазоне вблизи  $n_n$ , из-за улучшения условий сгорания то-

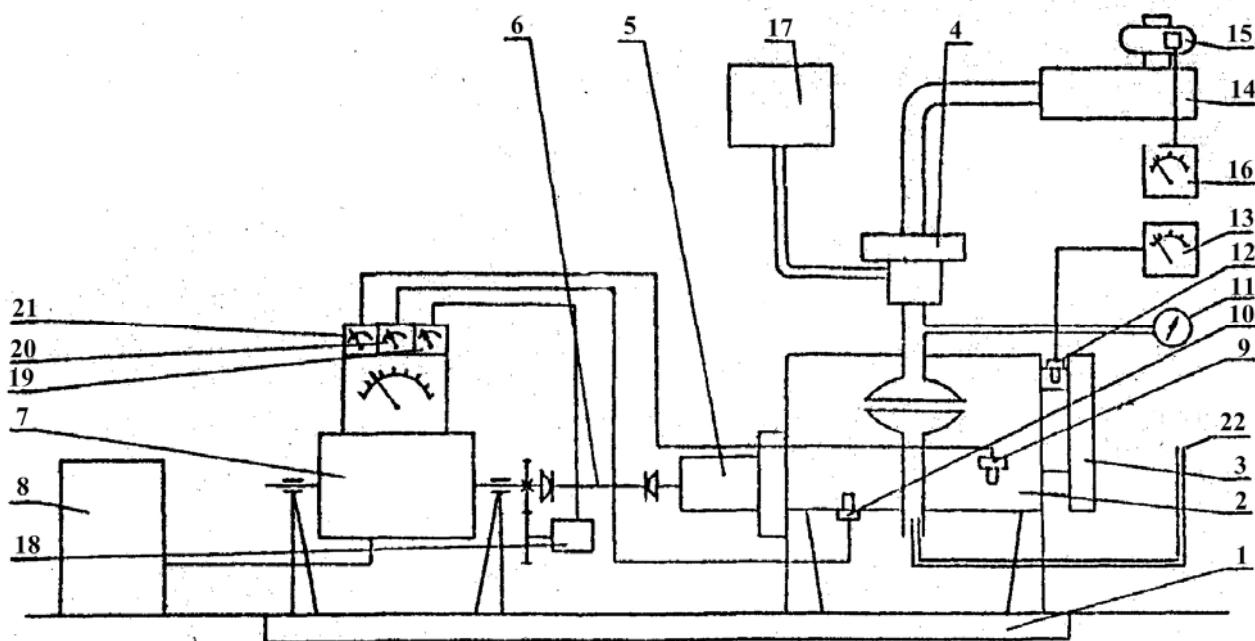
плива и роста  $\eta_i$ , а затем резко возрастает при обеднении смеси, уменьшении  $\eta_i$  и особенно  $\eta_m$ , в связи с уменьшением нагрузки.

### 3.3 УСТАНОВКА И ПРИБОРЫ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ

Двигатели внутреннего сгорания испытываются на стендах с тормозными устройствами, позволяющими поглощать развиваемую двигателем механическую энергию и измерить крутящий момент. Стенды оборудуются приборами для измерения частоты вращения, расхода топлива и других величин.

Двигатель крепится на стенде с помощью стоек, установленных на массивной чугунной плите. Для уменьшения колебаний стен и перекрытий стенд установлен на фундаменте, выполненном в виде сплошного бетонного массива.

Стенд для испытания двигателя состоит из следующих основных узлов и устройств: тормозного устройства; системы питания двигателя топливом; системы питания двигателя воздухом; системы отвода отработавших газов; органов управления двигателем; контрольных приборов. Схема стенда для испытания двигателя изображена на рисунке 3.2.



- 1 – подмоторная рама; 2 – двигатель; 3 – радиатор; 4 – воздушный фильтр;  
 5 – коробка передач; 6 – карданный вал; 7 – нагрузочное устройство; 8 – реостат;  
 9 – датчик давления масла; 10 – датчик температуры масла; 11 – манометр;  
 12 – датчик температуры воды; 13 – указатель температуры воды;  
 14 – ресивер; 15 – счётчик газа; 16 – указатель расхода воздуха; 17 – расходомер топлива;  
 18 – тахогенератор; 19 – указатель частоты вращения;  
 20 – указатель температуры масла; 21 – указатель давления масла;  
 22 – труба для отвода отработавших газов

Рисунок 3.2 – Схема стенда для испытания двигателей

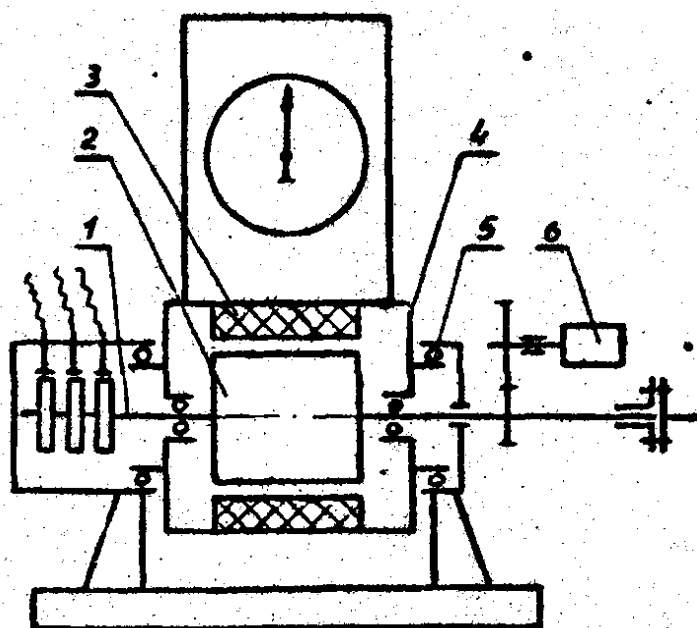
Двигатель соединён с тормозным устройством посредством карданного вала. Системы охлаждения и смазки двигателя являются штатными, отличии-



тельной их особенностью является установка датчиков температуры повышенной точности. Отработавшие газы по специальной трубе отводятся за пределы лаборатории.

**Тормозное устройство.** В эксплуатационных условиях мощность двигателя используется для получения эффективной работы машин. При испытании двигателей на стенде мощность поглощается тормозом, при этом одновременно производится измерение крутящего момента. Для этого тормоз снабжён весовым механизмом. Наиболее удобными для испытания автотракторных двигателей являются электрические тормоза, посредством которых можно измерить не только эффективную мощность, но и мощность механических потерь двигателя.

Основным агрегатом электрического тормоза является электрическая балансирная машина, которая может работать как в режиме генератора, так и в режиме электродвигателя (рисунок 3.3).



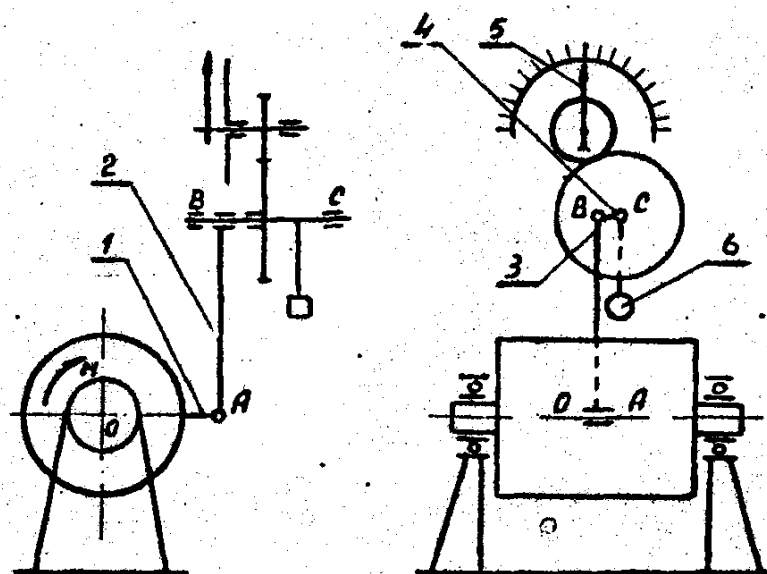
1 – вал ротора; 2 – ротор; 3 – электромагниты; 4 – статор;  
5 – подшипники статора; 6 – датчик электротахометра

Рисунок 3.3 – Схема электрической балансирной машины

Статор машины 4 установлен на подшипниках 5, укрепленных в стойках плиты, поэтому он может качаться относительно оси, совпадающей с осью вращения ротора 2. При вращении ротора и взаимодействии магнитных полей ротора и статора на статоре возникает реактивный момент, равный крутящему моменту, развиваемому двигателем. Этот момент стремится повернуть статор в сторону вращения вала ротора. Статор связан с весовым механизмом, с помощью которого определяется величина момента.

Принцип действия весового механизма маятникового типа заключается в следующем (рисунок 3.4). При работе тормоза крутящий момент двигателя поворачивает статор по направлению вращения вала. Рычаг 1 через соединительную тягу 2 поворачивает кривошип 3, установленный эксцентрично относительно оси маятника 4. При этом маятник весового механизма отклоняется на

определенный угол, пропорциональный величине крутящего момента, и удерживается в этом положении. Через передаточный механизм во вращение приводится стрелка 5, показывающая величину усилия, приложенного к кривошипу (тормозного усилия).



1 – рычаг; 2 – соединительная тяга; 3 – кривошип;  
4 – ось маятника; 5 – стрелка; 6 – маятник

Рисунок 3.4 – Кинематическая схема весового механизма маятникового типа

Крутящий момент на тормозе, численно равный крутящему моменту двигателя, определяется по формуле:

$$M_T = P_T \cdot l_T, \quad (3.3.1)$$

где  $P_T$  – тормозное усилие, Н;

$l_T$  – приведенное плечо весового механизма, м (у большинства существующих тормозов плечо  $l_T$  берется равным 716,2 мм).

Электрические тормоза для испытания двигателей внутреннего сгорания подразделяются на тормоза постоянного и переменного тока.

Электрические тормоза переменного тока на базе асинхронных двигателей с фазным ротором просты по устройству, имеют сравнительно небольшие габариты, но не обеспечивают достаточно широкого диапазона регулирования частоты вращения. Стенд работает при частоте вращения меньше синхронной в режиме двигателя и больше синхронной в режиме генератора. Переход с одного режима на другой происходит автоматически, как только частота вращения ротора становится равной синхронной.

Изменение частоты вращения ротора при прокрутке и нагрузке двигателя при испытаниях производится с помощью жидкостного реостата. Реостат состоит из бака, наполненного однопроцентным раствором кальцинированной соды в воде. Внутри бака на валу укреплены три электродные пластины, изолированные от вала и друг от друга. Каждая пластина соединена с фазовой обмоткой ротора электротормоза. Изменяя степень погружения электродов в жидкость, ре-

гулируют активное сопротивление в обмотках ротора и тем самым частоту его вращения (в режиме двигателя) или нагрузку (в режиме генератора).

Измерение частоты вращения ротора электротормоза на стенде производится с помощью электрического тахометра. Датчик тахометра приводится во вращение от ротора (рисунок 3.3), указатель устанавливается на пульте стенда.

**Измерение расхода топлива.** Определение расхода при испытании двигателя производится по времени расхода заданной порции топлива за опыт. В лабораторной практике чаще всего пользуются измерением расхода топлива по массе (рисунок 3.5 а).

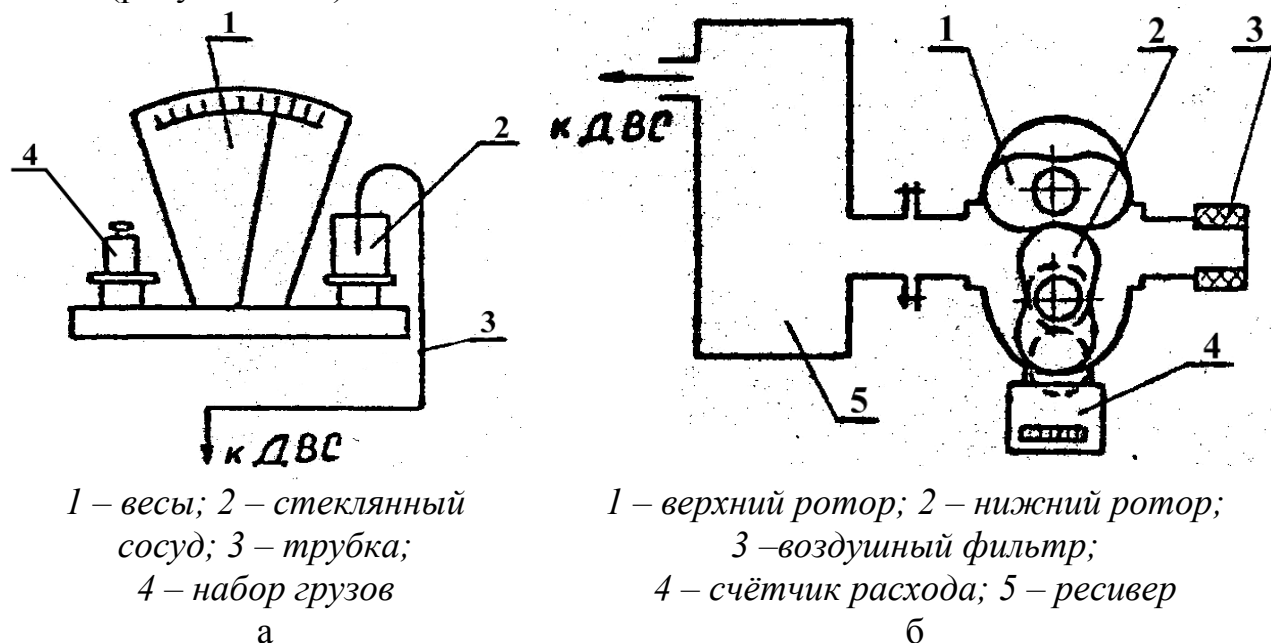


Рисунок 3.5 – Схема замера расхода топлива (а) и схема ротационного счётчика газа (б)

Стеклянный сосуд ёмкостью не менее 3 л устанавливают на весы. В сосуд, заполненный топливом, опущена трубка, которая соединяет его с топливным насосом.

Техника измерения массы топлива, израсходованной за опыт, заключается в следующем. По мере расходования топлива из сосуда стрелка весов отклоняется. В тот момент, когда стрелка весов находится против деления шкалы, включают секундомер и выключают его после того, как двигателем будет израсходована заданная масса топлива. При необходимости производится уравновешивание весов с помощью специальных грузов.

**Измерение расхода воздуха.** Для замера расхода воздуха при испытаниях двигателей применяют ротационные счетчики газа (рисунок 3.5 б). Счетчик состоит из верхнего 1 и нижнего 2 роторов, установленных внутри корпуса. От вала нижнего ротора вращение передается через передаточный механизм счётчику. Шкала счётчика проградуирована в кубических метрах объёма проходящего воздуха. Замеряя с помощью секундомера время расхода определённого количества воздуха, можно вычислить часовой расход воздуха.

**Измерение температур.** При испытаниях двигателей измеряют температуры окружающего воздуха, охлаждающей жидкости и масла, при этом при-

меняются следующие приборы: термометр расширения (ртутные, спиртовые), манометрические приборы и электрические термометры сопротивления.

Термометры расширения применяются для измерения температуры окружающего воздуха.

Действие манометрического термометра основано на использовании давления паров жидкости, кипящей при низкой температуре в полости приёмного элемента. При нагревании приёмного элемента давление внутри него повышается, передаётся через жидкость в капиллярном канале трубки к указателю и деформирует его трубчатую пружину. Деформация пружины через приводной механизм передаётся стрелке указателя.

В термометрах сопротивления используется свойство проводников электричества менять своё сопротивление в зависимости от температуры.

**Измерение давлений.** Для измерения атмосферного давления применяется механический барометр-анероид, шкала которого проградуирована в мм рт. ст. и имеет пределы измерения 700...800 мм рт. ст. Пружинные манометры со шкалой до 1 МПа применяют для измерения давления масла в системе смазки.

### 3.4 МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ И ЗАМЕРАЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

1 Прогреть двигатель до температуры охлаждающей жидкости на выходе  $t_b = 80-85^\circ\text{C}$ .

2 Установить рычаг управления подачей топлива в положение максимальной подачи при отключенном электротормозе. Снять точку регуляторной характеристики (холостой ход).

3 Включить электротормоз. Увеличивая нагрузку на электротормозе, снять регуляторную ветвь характеристики, при этом частоту вращения менять через 20-30 мин<sup>-1</sup>. Быть особенно внимательным при фиксации точки перехода от регуляторной характеристики к внешней.

4 Уменьшая частоту вращения с помощью электротормоза через 100-150 мин<sup>-1</sup>, снять внешнюю характеристику по достижении минимально возможного скоростного режима.

При испытаниях фиксируются: частота вращения  $n_T$ , нагрузка на тормозе  $p_T$ , время расходования  $\Delta G_T$  грамм топлива  $\Delta \tau_T$ , время расходования  $\Delta V_B$ , м<sup>3</sup> воздуха  $\Delta \tau_b$ , температура охлаждающей жидкости  $t_b$ , давление масла  $p$ .

### 3.5 ОБРАБОТКА ОПЫТНЫХ ДАННЫХ И ПОСТРОЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Результаты испытаний заносятся в таблицу опытных данных (таблица 3.1).

Таблица 3.1 – Опытные данные

Номер замера	$n_T$	$p_T$	$\Delta G_T$	$\Delta \tau_T$	$\Delta V_B$	$\Delta \tau_b$	$t_b$	$p$
	мин <sup>-1</sup>	н	г	с	м <sup>3</sup>	с	°С	МПа

Опытные данные обрабатываются по формулам.

Частота вращения двигателя,  $n$ ,  $\text{мин}^{-1}$ :

$$n = n_T \cdot i_p, \quad (3.5.1)$$

где  $n_T$  – частота вращения вала электротормоза,  $\text{мин}^{-1}$ ;

$i_p$  – передаточное число редуктора.

Эффективная мощность двигателя,  $N_e$ , кВт:

$$N_e = c (p_T \cdot n_T) / \eta_p, \quad (3.5.2)$$

где  $c$  – постоянная электротормоза;

$p_T$  – нагрузка на электротормозе, Н;

$n_T$  – частота вращения вала электротормоза,  $\text{мин}^{-1}$ ;

$\eta_p$  – КПД редуктора.

Постоянная электротормоза:

$$c = \frac{l_T}{9554}. \quad (3.5.3)$$

Эффективный крутящий момент двигателя, Н·м:

$$M_k = \frac{p_T \cdot l_T}{i_p \cdot \eta_p}, \quad (3.5.4)$$

где  $p_T$  – нагрузка на электротормозе, Н;

$l_T$  – длина рычага весового устройства, м;

$i_p$  – передаточное число редуктора;

$\eta_p$  – КПД редуктора.

Среднее эффективное давление,  $p_e$ , МПа:

$$p_e = \frac{30 \cdot N_e \cdot \tau}{V_d \cdot n}, \quad (3.5.5)$$

где  $N_e$  – эффективная мощность, кВт;

$\tau$  – коэффициент тактности;

$p_T$  – нагрузка на электротормозе, Н;

$l_T$  – длина рычага весового устройства, м;

$\eta_p$  – КПД редуктора;

$V_d$  – рабочий объем двигателя, л;

$n$  – частота вращения двигателя,  $\text{мин}^{-1}$ .

Часовой расход топлива,  $G_T$ , кг/ч:

$$G_T = 3,6 \frac{\Delta G_T}{\Delta \tau_T}, \quad (3.5.6)$$

где  $\Delta G_T$  – мерная порция топлива, г;

$\Delta \tau_T$  – время расхода мерной порции, с.

Удельный эффективный расход топлива,  $g_e$ , г/кВт·ч:

$$g_e = 10^3 \frac{G_T}{N_e}, \quad (3.5.7)$$

где  $G_T$  – часовой расход топлива, кг/ч;  
 $N_e$  – эффективная мощность двигателя, кВт.  
 Цикловая подача топлива,  $q_{ц}$ , г/цикл:

$$q_{ц} = 10^3 \frac{G_T}{30ni}, \quad (3.5.8)$$

где  $G_T$  – часовой расход топлива, кг/ч;  
 $n$  – частота вращения двигателя, мин<sup>-1</sup>;  
 $i$  – число цилиндров.

Часовой расход воздуха,  $G_B$ , кг/ч:

$$G_B = 3,6 \cdot 10^3 \frac{\Delta V_B \rho_0}{\Delta \tau_B}, \quad (3.5.9)$$

где  $\Delta V_B$  – мерный объем воздуха, м<sup>3</sup>;  
 $\rho_0$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

$$\rho_0 = \frac{p_0 \cdot 10^6}{287 \cdot T_0}, \quad (3.5.10)$$

где  $p_0$  – атмосферное давление, МПа;  
 $T_0$  – температура воздуха, К.

Коэффициент наполнения,  $\eta_v$ :

$$\eta_v = \frac{10^3 \cdot G_B \cdot \tau}{120 \cdot \rho_0 \cdot V_L \cdot n}, \quad (3.5.11)$$

где  $G_B$  – часовой расход воздуха, м<sup>3</sup>/ч;  
 $\tau$  – коэффициент тактности;  
 $\rho_0$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  
 $V_L$  – рабочий объем двигателя, л.

Коэффициент избытка воздуха,  $\alpha$ :

$$\alpha = \frac{G_B}{l_0 \cdot G_T}, \quad (3.5.12)$$

где  $G_B$  – часовой расход воздуха, м<sup>3</sup>/ч;  
 $G_T$  – часовой расход топлива, кг/ч;  
 $l_0 = 14,5$  (для дизельного топлива).

Расчетные величины сводятся в таблицу 3.2.

Таблица 3.2 – Расчетные данные

номер замера	n	N <sub>e</sub>	M <sub>к</sub>	P <sub>e</sub>	G <sub>T</sub>	g <sub>e</sub>	q <sub>ц</sub>	α	η <sub>v</sub>
	об/мин	кВт	Нм	МПа	кг/ч	г/кВт·ч	мг/цикл	-	-

Затем производится построение графиков характеристики и их анализ с обязательным определением коэффициента приспособляемости двигателя.

## 4 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2 СКОРОСТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИЗЕЛЬНОЙ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ

### 4.1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Определить характер изменения подачи топлива дизельной топливной аппаратурой в зависимости от скоростного режима.

### 4.2 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Скоростная характеристика дизельной топливной аппаратуры состоит из внешней и регулярной ветвей (рисунок 4.1).

Анализ внешней ветви скоростной характеристики топливной аппаратуры показывает, что при уменьшении частоты вращения кулачкового вала при фиксированном положении рейки подача топлива на цикл уменьшается.

Основными причинами уменьшения подачи топлива за цикл при понижении частоты вращения являются уменьшение скорости перемещения плунжера и скорости перетекания топлива через впускное и перепускное окна гильзы насосного элемента.

В непосредственной зависимости от изменения скорости перетекания топлива через впускное окно гильзы находится величина нарастания давления топлива в надплунжерном пространстве. Чем меньше скорость перетекания топлива через впускное окно гильзы, тем медленнее повышается давление топлива над плунжером, а это, в свою очередь, обуславливает более позднее открытие нагнетательного клапана в начале и более раннее его закрытие в конце подачи топлива.

Следовательно, при уменьшении частоты вращения кулачкового вала насоса (для неизменного положения рейки) нагнетание топлива в форсунку начинается позже и заканчивается раньше. Наряду с этим при снижении частоты вращения вследствие уменьшения скорости перемещения плунжера увеличиваются потери топлива через неплотности между плунжером и гильзой. В целом оба эти фактора вызывают понижение подачи топлива за цикл при уменьшении частоты вращения кулачкового вала насоса.

Скоростная характеристика такого вида весьма неблагоприятна. Понижение подачи топлива за цикл при уменьшении частоты вращения коленчатого вала (во время работы двигателя с перегрузкой) влечет за собой уменьшение среднего эффективного давления, а следовательно, и крутящего момента двигателя.

Для исправления протекания внешней ветви скоростной характеристики применяют корректор. При уменьшении частоты вращения кулачкового вала насоса, вследствие перегрузки двигателя, корректор дополнительно перемещает рейку насоса. Это увеличивает подачу топлива на цикл, повышает крутящий момент и мощность двигателя и улучшает его внешнюю характеристику.

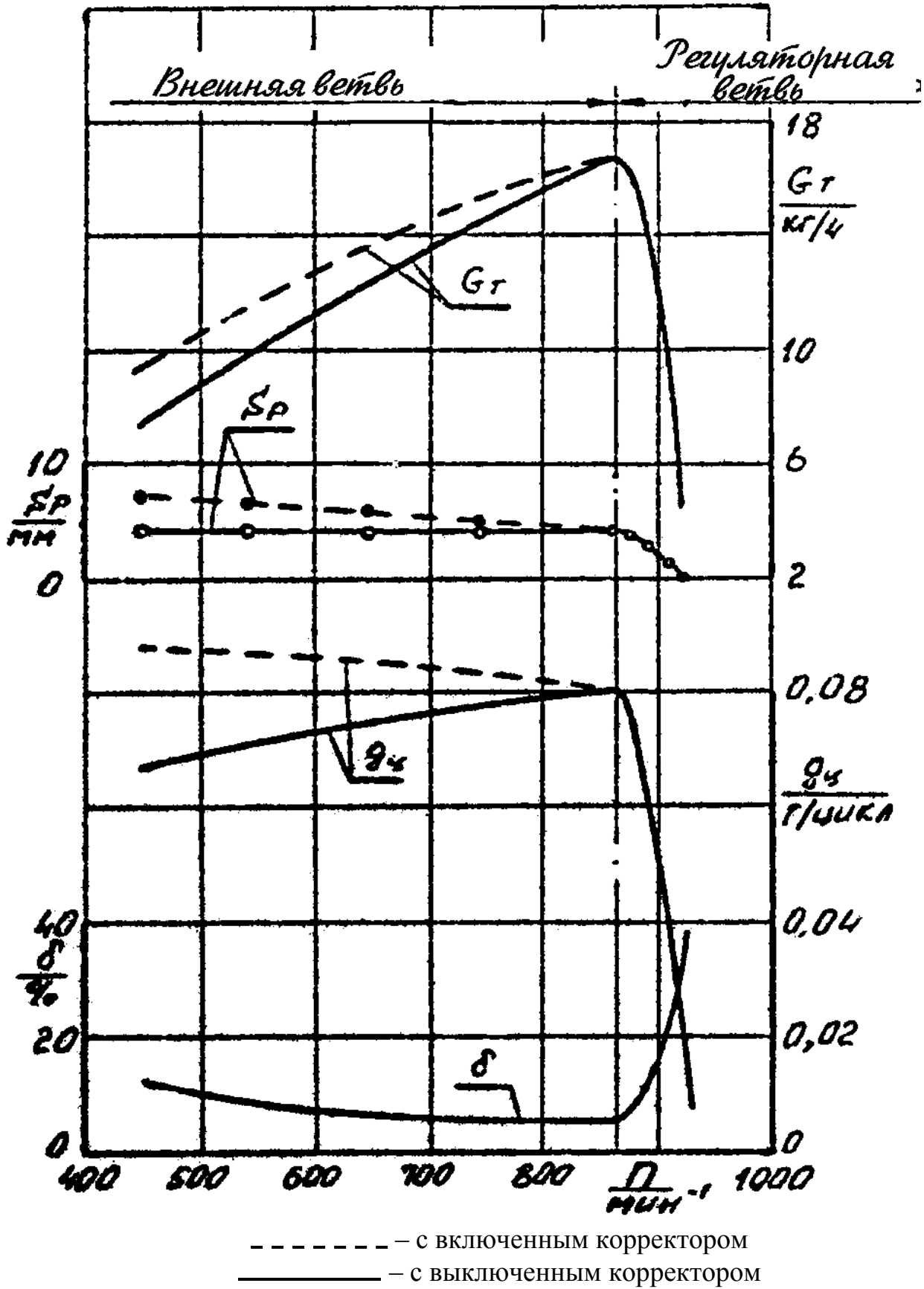


Рисунок 4.1 – Скоростная характеристика дизельной топливной аппаратуры

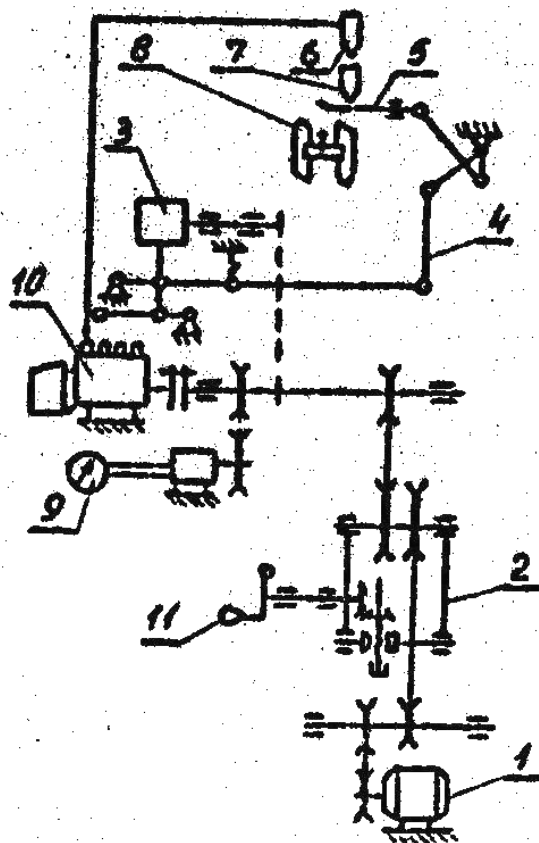


При увеличении частоты вращения до определенной величины, зависящей от положения органа управления подачей топлива, на рейку топливного насоса начинает воздействовать регулятор, уменьшающий активный ход плунжера и подачу топлива вплоть до подачи холостого хода. Эта часть скоростной характеристики называется регуляторной ветвью характеристики.

Важным показателем работы дизельной топливной аппаратуры является степень неравномерности подачи топлива по цилиндрам. Обычно степень неравномерности не должна превышать 3-5% на номинальном режиме. При большей степени неравномерности может возникать дымление в перегруженных цилиндрах при общем недоборе мощности двигателя. При уменьшении подачи топлива степень неравномерности увеличивается.

#### 4.3 СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Испытание топливной аппаратуры дизеля производится на стенде, предназначенном для регулировки и испытания топливной аппаратуры различных двигателей (рисунок 4.2).



- 1 – электродвигатель; 2 – вариатор; 3 – механизм отсчета числа циклов; 4 – механизм отсечки подачи топлива; 5 – шторка; 6 – форсунка;  
7 – пеногаситель; 8 – мензурки; 9 – электротахометр;  
10 – топливный насос; 11 – маховик вариатора

Рисунок 4.2 – Кинематическая схема стенда для испытания топливной аппаратуры

Испытываемый насос высокого давления (ТНВД) 10 крепится на станине стенда и приводится во вращение от электродвигателя 1 через систему клиноремённых передач и вариатор 2. Передаточное отношение клиноремённого вариатора изменяется с помощью маховичка 11, при этом частота вращения вала привода насоса изменяется в пределах от 120 до 1300 мин<sup>-1</sup>. Измерение частоты вращения насоса производится электрическим дистанционным тахометром 9. От вала привода насоса с помощью цепной передачи приводится во вращение автоматический механизм 3 для отсчёта числа циклов. Включение механизма осуществляется с помощью рукоятки, при этом через систему рычагов перемещается шторка 5 механизма 4 отсечки подачи топлива, которая открывает путь топливу из форсунки 6 в мензурки 8. Пеногасители 7 противодействуют дроблению струи впрыскиваемого форсункой топлива на мелкие частицы и образованию пены, благодаря чему точность измерений повышается. Как только вал привода топливного насоса сделает установленное число оборотов, автоматический механизм отсчета числа циклов отключается и освобождает шторку, которая с помощью пружины возвращается в исходное положение. При этом прекращается поступление топлива в мензурки, а топливо, поступающее из форсунок, по шторке стекает в бак. Требуемое число циклов может изменяться через 50 до 1225 (при испытаниях число циклов указывается преподавателем).

В насос высокого давления топливо подается из бака стенда через фильтры топливоподкачивающим насосом топливной аппаратуры двигателя.

#### 4.4 МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ И ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

Число циклов, за которое топливо попадает в мензурки, задается путем установки счетчика против соответствующего деления на шкале с пометкой «левое вращение». Обычно замер должен продолжаться в течение одной минуты, поэтому число на шкале счетчика должно примерно соответствовать частоте вращения вала топливного насоса.

Испытания рекомендуется проводить в следующем порядке:

1 Установить рычаг управления топливным насосом в положение максимальной подачи.

2 С помощью вариатора установить максимальную возможную частоту вращения, при которой имеется подача топлива. Снять точку регуляторной ветви характеристики.

3 Снимать точки регуляторной ветви характеристики примерно через 20 мин<sup>-1</sup>, меняя частоту вращения с помощью вариатора. Последнюю точку регуляторной характеристики снять в момент подхода винта рычага регулятора к упору (фиксируется с помощью щупа).

4 Снять внешнюю ветвь характеристики на корректоре примерно через 100 мин<sup>-1</sup>, уменьшая частоту вращения до 400...450 мин<sup>-1</sup>.

5 Заклинить рейку топливного насоса на жестком упоре. Снять внешнюю ветвь характеристики с отключенным корректором примерно через 100 мин<sup>-1</sup> в том же диапазоне частот.

При снятии характеристики производится замер следующих параметров: частота вращения  $n$ , подача топлива по секциям насоса  $\Delta_i$ , число циклов  $Z$ , ход рейки  $S_p$ .

#### 4.5 ОБРАБОТКА ОПЫТНЫХ ДАННЫХ И ПОСТРОЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Результаты измерений заносятся в таблицу 4.1 опытных данных отчета.

Таблица 4.1 – Опытные данные

номер замера	$n$	$\Delta_1$	$\Delta_2$	$\Delta_3$	$\Delta_4$	$Z$	$S_p$
	мин <sup>-1</sup>	см <sup>3</sup>	см <sup>3</sup>	см <sup>3</sup>	см <sup>3</sup>	об	мм

Опытные данные обрабатываются по следующим формулам:

Средняя подача секциями за опыт,  $\Delta_{cp}$ , см<sup>3</sup>:

$$\Delta_{cp} = \frac{\sum \Delta_i}{i}, \quad (4.5.1)$$

где  $\Delta_i$  – подача топлива  $i$ -ой секцией, см<sup>3</sup>;

$i$  – число секций насоса.

Степень неравномерности подачи топлива по секциям,  $\delta$ , %:

$$\delta = \frac{\Delta_{max} - \Delta_{min}}{\Delta_{cp}} \cdot 100\%. \quad (4.5.2)$$

Средняя цикловая подача топлива,  $q_{ц}$ , г/цикл:

$$q_{ц} = \rho_T \frac{\Delta_{cp}}{Z}, \quad (4.5.3)$$

где  $\rho_T = 0,84$  г/см<sup>3</sup> – плотность топлива;

$Z$  – число оборотов за опыт (по счетчику).

Часовой расход топлива,  $G_T$ , кг/ч:

$$G_T = g_{ц} \cdot i \cdot n \cdot 60/10^3, \quad (4.5.4)$$

где  $n$  – частота вращения насоса, мин<sup>-1</sup>.

Расчетные данные заносятся в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 – Расчетные данные

номер замера	$n$	$\Delta_{cp}$	$\delta$	$q_{ц}$	$G_T$
	мин <sup>-1</sup>	см <sup>3</sup>	%	г/цикл	кг/ч

На основании расчетных данных строятся графики и проводится анализ полученных результатов.

## 5 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3 НАГРУЗОЧНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

### 5.1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Получение навыков снятия нагрузочной характеристики двигателя и ознакомление с характером изменения показателей его работы по нагрузочной характеристике.

### 5.2 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Нагрузочной характеристикой двигателя называют зависимость основных показателей работы двигателя от нагрузки при постоянной частоте вращения коленчатого вала (рисунок 5.1).

Нагрузочная характеристика снимается с целью выявления зависимости изменения удельного и часового расхода топлива от нагрузки на заданном скоростном режиме. Здесь же наносятся зависимости содержания токсических компонентов в ОГ. Так как автомобильный двигатель в условиях эксплуатации работает в широком диапазоне частот вращения, то для выявления его топливной экономичности и токсичности отработавших газов снимается несколько нагрузочных характеристик при постоянных значениях частоты вращения коленчатого вала. По полученным данным определяются наиболее выгодные, с точки зрения экономичности и токсичности, нагрузочные режимы двигателя при различной частоте вращения коленчатого вала.

При снятии нагрузочной характеристики двигателя на тормозном стенде нагрузку изменяют с помощью нагрузочного устройства, а постоянство скоростного режима обеспечивают за счет изменения степени открытия дроссельной заслонки карбюратора.

На графике, представляющем нагрузочную характеристику, по оси абсцисс откладывают один из параметров, характеризующий нагрузку ( $N_e$ ,  $M_e$ ,  $p_e$ ), а по оси ординат – показатели работы двигателя.

Кроме основных зависимостей  $g_e = f(N_e)$  и  $G_T = f(N_e)$  на графике приводят изменения коэффициента избытка воздуха  $\alpha$ , коэффициента наполнения  $\eta_v$ , разрежения во впускном трубопроводе  $\Delta p_k$ , содержания токсичных компонентов в отработавших газах и других параметров.

Проанализируем характер протекания и причины изменения параметров работы двигателя по нагрузочной характеристике.

В карбюраторном двигателе изменение нагрузки осуществляется количественным регулированием, т.е. изменением коэффициента наполнения, определяемого положением дроссельной заслонки. При открытии дроссельной заслонки вследствие уменьшения гидравлического сопротивления снижается разрежение во впускном трубопроводе  $\Delta p_k$ , увеличиваются коэффициент наполнения  $\eta_v$ , расход горючей смеси, а следовательно, и часовой расход топлива  $G_T$ .

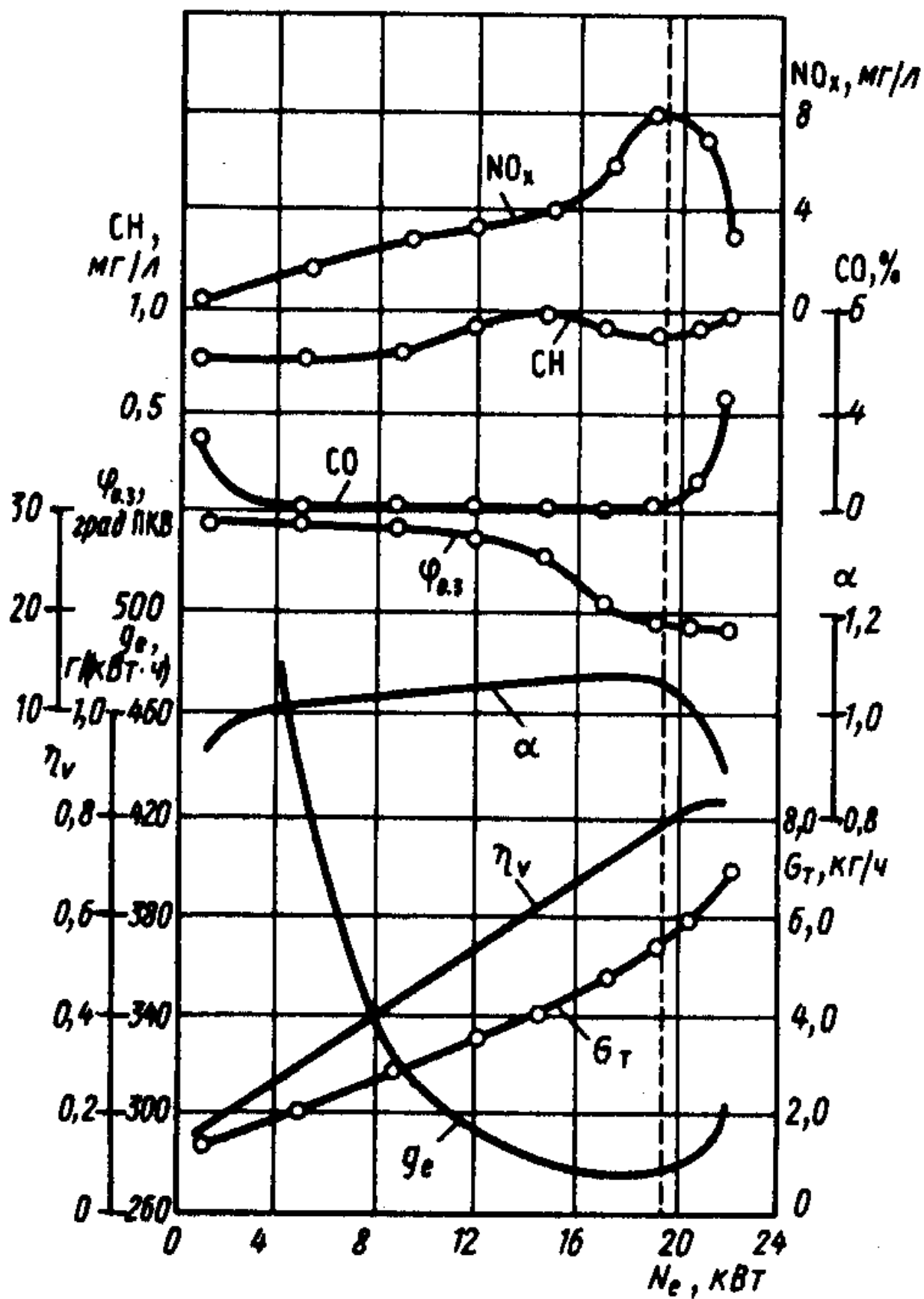


Рисунок 5.1 – Нагрузочная характеристика бензинового двигателя

Изменение удельного расхода топлива  $g_e$  связано с изменением механического и индикаторного коэффициентов полезного действия, так как

$$g_e = \frac{C}{\eta_i \cdot \eta_m}, \quad (5.2.1)$$

где  $C$  – постоянный коэффициент.

Изменение  $\eta_i$  в зависимости от нагрузки определяется в основном качеством смеси, характеризуемым коэффициентом избытка воздуха  $\alpha$ .

На малых нагрузках ( $\eta_v < 0,35$ ) топливо поступает в основном через систему холостого хода, которая обогащает смесь ( $\alpha = 0,7 \dots 0,8$ ). Обогащение смеси увеличивает потери энергии на химическое недогорание топлива, что приводит к снижению  $\eta_i$ .

На средних нагрузках работает главная дозирующая система карбюратора, готовящая обедненную смесь ( $\alpha > 1$ ). В результате повышается полнота сгорания топлива, что приводит к увеличению  $\eta_i$ .

При увеличении нагрузки выше 85% номинальной ( $\eta_v > 0,6$ ) смесь вновь обогащается за счет включения экономайзера ( $\alpha = 0,8 \dots 0,95$ ). Это вновь приводит к снижению  $\eta_i$  из-за увеличения потерь на химическое недогорание топлива.

Механический коэффициент полезного действия  $\eta_m$  возрастает от 0 на холостом ходу до максимального значения при полном открытии дроссельной заслонки. Как известно,

$$\eta_m = p_e/p_i = 1 - p_m/p_i. \quad (5.2.2)$$

С увеличением нагрузки  $p_m$  несколько возрастает, главным образом за счет увеличения работы трения поршней, вызванного повышением давлений и температур в цилиндре.

На нагрузках, близких к холостому ходу,  $p_m$  также увеличивается, что связано с ростом потерь на газообмен, так как на этих режимах значительно прикрывается дроссельная заслонка и увеличивается сопротивление впускной системы. Однако изменение механических потерь в условиях нагрузочной характеристики несущественно, поэтому  $p_m$  можно считать постоянным.

Среднее индикаторное давление  $p_i$  с увеличением степени открытия дроссельной заслонки увеличивается главным образом за счет увеличения коэффициента наполнения  $\eta_v$ .

Увеличение  $p_i$  с ростом нагрузки приводит к уменьшению отношения  $p_m/p_i$  и, следовательно, к увеличению механического коэффициента полезного действия  $\eta_m$ . Отметим, что  $\eta_m$  оказывает наиболее сильное влияние на зависимость  $g_e = f(N_e)$ .

Таким образом, удельный эффективный расход топлива  $g_e$  уменьшается с ростом нагрузки за счет увеличения  $\eta_i$  и  $\eta_m$ . Наименьший эффективный удельный расход топлива достигается при максимальном значении произведения  $\eta_i \cdot \eta_m$ . В диапазоне нагрузок 80...100% от полной, несмотря на продолжающийся рост  $\eta_m$ , эффективный расход топлива увеличивается из-за снижения  $\eta_i$ , вследствие перехода к обогащенным (мощностным) составам смеси. Изменение

содержания токсичных компонентов на характеристике определяется совместным влиянием  $\alpha$ ,  $\eta_v$  и угла опережения зажигания.

### 5.3 МЕТОДИКА, ИСПЫТАНИЯ И ИЗМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

1 Прогреть двигатель до температуры охлаждающей жидкости на выходе 80-85 °С.

2 Установить заданную постоянную частоту вращения двигателя при холостом ходе и произвести замер параметров.

3 Последующие опыты проводить при увеличении нагрузки электротормоза, поддерживая постоянной частоту вращения коленчатого вала путем увеличения открытия дроссельной заслонки. Всего должно быть снято 6...8 точек.

4 При снятии характеристики измеряются: частота вращения электротормоза  $n_T$ , нагрузка на электротормозе  $p_T$ , время расходования мерной порции топлива  $\Delta t_T$ , расход воздуха  $Q_B$ , угол опережения зажигания  $\varphi_{0.3}$ , содержание СО и СН в отработавших газах, разрежение во впускном трубопроводе  $\Delta p_K$ , температура охлаждающей жидкости  $t_B$ , давление масла  $p$ .

### 5.4 ОБРАБОТКА ОПЫТНЫХ ДАННЫХ И ПОСТРОЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Результаты замеров сводятся в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 – Опытные данные

номер замера	$n_T$ мин <sup>-1</sup>	$p_T$ Н	$\Delta G_T$ г	$\Delta t_T$ с	$Q_B$ м <sup>3</sup> /ч	$\varphi_{0.3}$ град	$t_B$ °С	$p$ МПа	$\Delta p_K$ МПа	СО %	СН млн <sup>-1</sup>

Расчетные величины определяются по формулам.

Частота вращения двигателя,  $n$ , мин<sup>-1</sup>:

$$n = n_T \cdot i_p, \quad (5.4.1)$$

где  $n_T$  – частота вращения вала электротормоза, мин<sup>-1</sup>;

$i_p$  – передаточное число редуктора.

Эффективная мощность двигателя,  $N_e$ , кВт:

$$N_e = c(p_T \cdot n_T) / \eta_p, \quad (5.4.2)$$

где  $c$  – постоянная электротормоза;

$p_T$  – нагрузка на электротормозе, Н;

$n_T$  – частота вращения вала электротормоза, мин<sup>-1</sup>;

$\eta_p$  – КПД редуктора.

Постоянная электротормоза,  $c$

$$c = \frac{I_T}{9554}. \quad (5.4.3)$$

Эффективный крутящий момент двигателя,  $M_K$ , Нм:

$$M_k = \frac{p_T \cdot l_T}{i_p \cdot \eta_p}, \quad (5.4.4)$$

где  $p_T$  – нагрузка на электротормозе, Н;  
 $l_T$  – длина рычага весового устройства, м;  
 $i_p$  – передаточное число редуктора;  
 $\eta_p$  – КПД редуктора.  
Среднее эффективное давление,  $p_e$ , МПа:

$$p_e = \frac{30 \cdot N_e \cdot \tau}{V_l \cdot n}, \quad (5.4.5)$$

где  $N_e$  – эффективная мощность, кВт;  
 $\tau$  – коэффициент тактности;  
 $p_T$  – нагрузка на электротормозе, Н;  
 $l_T$  – длина рычага весового устройства, м;  
 $\eta_p$  – КПД редуктора;  
 $V_l$  – рабочий объем двигателя, л;  
 $n$  – частота вращения двигателя мин<sup>-1</sup>.  
Часовой расход топлива,  $G_T$ , кг/ч:

$$G_T = 3,6 \frac{\Delta G_T}{\Delta t_T}, \quad (5.4.6)$$

где  $\Delta G_T$  – мерная порция топлива, г;  
 $\Delta t_T$  – время расхода мерной порции, с.  
Удельный эффективный расход топлива,  $g_e$ , г/кВт·ч:

$$g_e = 10^3 \frac{G_T}{N_e}, \quad (5.4.7)$$

где  $G_T$  – часовой расход топлива, кг/ч;  
 $N_e$  – эффективная мощность двигателя, кВт.  
Часовой расход воздуха,  $G_B$ , кг/ч:

$$G_B = Q_B \cdot \rho_0, \quad (5.4.8)$$

где  $Q_B$  – часовой расход воздуха, м<sup>3</sup>/ч;  
 $\rho_0$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

$$\rho_0 = \frac{p_0 \cdot 10^6}{287 \cdot T_0}, \quad (5.4.9)$$

где  $p_0$  – атмосферное давление, МПа;  
 $T_0$  – температура воздуха, К.

Коэффициент наполнения,  $\eta_v$ :

$$\eta_v = \frac{10^3 \cdot G_B \cdot \tau}{120 \cdot \rho_0 \cdot V_l \cdot n}, \quad (5.4.10)$$

где  $G_B$  – часовой расход воздуха, кг/ч;  
 $\tau$  – коэффициент тактности;  
 $\rho_0$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  
 $V_l$  – рабочий объем двигателя, л.



Коэффициент избытка воздуха,  $\alpha$ :

$$\alpha = \frac{G_B}{I_0 \cdot G_T}, \quad (5.4.11)$$

где  $G_B$  – часовой расход воздуха, кг/ч;

$G_T$  – часовой расход топлива, кг/ч;

$I_0 = 14,9$  (для бензина).

Расчетные величины сводятся в таблицу 5.2.

Таблица 5.2 – Расчетные данные

номер замера	n	$N_e$	$M_k$	$p_e$	$G_T$	$g_e$	$G_B$	$\eta_v$	$\alpha$
	мин <sup>-1</sup>	кВт	Нм	МПа	кг/ч	г/кВт·ч	кг/ч	-	-

Затем производится построение графиков характеристики и анализ полученных результатов.

## 6 ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №4 РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

### 6.1 ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Получение навыков снятия регулировочной характеристики и определение оптимального угла опережения зажигания (УОЗ) при заданной частоте вращения и постоянном положении дроссельной заслонки карбюратора.

### 6.2 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Регулировочная характеристика по углу опережения зажигания (рисунок 6.1) представляет собой зависимость эффективной мощности, часового и удельного расхода топлива от угла опережения зажигания  $N_e$ ,  $G_T$ ,  $g_e = f(\varphi_{0.з.})$ . Здесь же наносятся зависимость содержания токсических компонентов в отработавших газах (ОГ).

Снятие характеристики производится при постоянной частоте вращения и неизменном положении дроссельной заслонки. В этих условиях за оптимальный угол опережения зажигания  $\varphi_{0.з. \text{ опт.}}$  принимается тот, которому соответствует наибольшая эффективная мощность и минимальный удельный эффективный расход топлива. При этом практически неизменными остаются коэффициент наполнения  $\eta_v$  и коэффициент избытка воздуха  $\alpha$ .

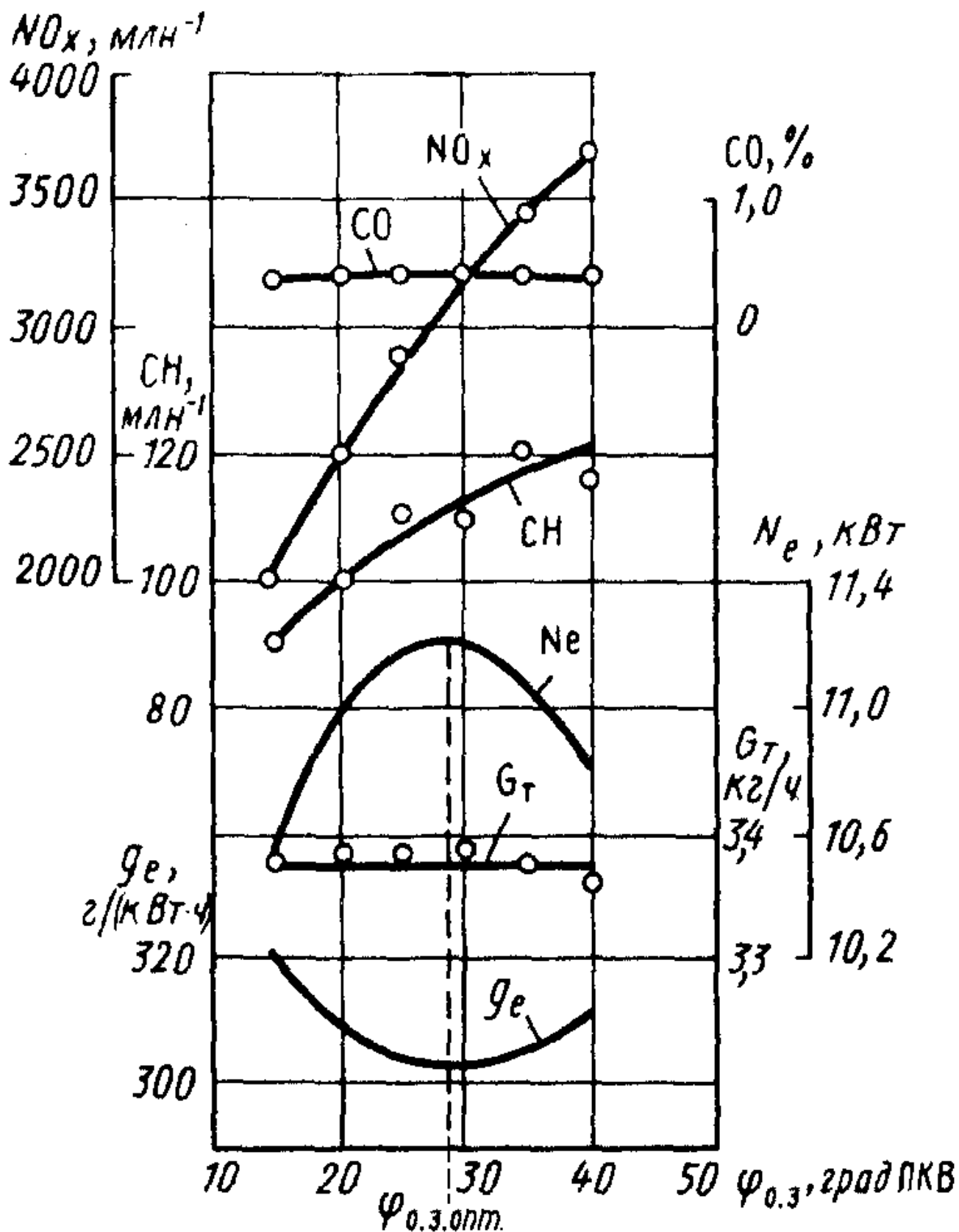


Рисунок 6.1 – Регулировочная характеристика бензинового двигателя по углу опережения зажигания

Значению  $\varphi_{0.3. \text{ опт.}}$  будут соответствовать максимальные величины индикаторного  $\eta_i$  и механического  $\eta_m$  КПД двигателя. Совпадение максимального значения  $\eta_m$  с максимальной величиной  $\eta_i$  при  $\varphi_{0.3. \text{ опт.}}$  объясняется зависимостью:

$$\eta_m = 1 - \frac{p_m}{A \cdot \eta_v \cdot \eta_i}, \quad (6.2.1)$$

где  $p_m$  – среднее давление механических потерь;

$A$  – постоянный коэффициент.

Поскольку эффективный КПД вычисляется по формуле

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_m, \quad (6.2.2)$$

очевидно, что при постоянных  $\eta_v$  и  $\alpha$  его изменение (как и изменение  $N_e$  и  $g_e$ ) определяется только изменением индикаторного КПД  $\eta_i$ .

Если УОЗ меньше оптимального (позднее зажигания), то процесс сгорания смещается на линию расширения. В результате уменьшается степень расширения, возрастают потери теплоты в систему охлаждения и с отработавшими газами. При работе двигателя с поздним зажиганием происходит перегрев двигателя и снижение индикаторного КПД.

УОЗ существенно влияет на токсичность ОГ.

При увеличении частоты вращения величина  $\varphi_{0.3. \text{ опт.}}$  возрастает, поскольку сокращается время, отводимое на процесс сгорания, что не может быть компенсировано даже некоторым увеличением скорости горения вследствие более сильной турбулизации заряда.

Уменьшение нагрузки (при  $n = \text{const}$ ) также вызывает увеличение  $\varphi_{0.3. \text{ опт.}}$ , что объясняется снижением коэффициента наполнения и увеличением коэффициента остаточных газов.

Иногда искусственно уменьшают УОЗ, делая его меньше оптимального, с целью уменьшения содержания  $\text{NO}_x$  в ОГ или для подавления детонации.

### 6.3 ОБЩАЯ МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ УГЛА ОПЕРЕЖЕНИЯ ЗАЖИГАНИЯ

Измерение угла опережения зажигания производится стробоскопическим прибором Э-102, который предназначен для визуального измерения угла опережения зажигания по видимому положению контрольных меток при импульсном подсвечивании венца маховика двигателя. Прибор подключается к аккумуляторной батарее и свече первого цилиндра. При работающем двигателе сигнал, снимаемый со свечи первого цилиндра, формирует короткий импульс света (примерно 1/5000 с). Если освещать этим импульсом света венец маховика напротив неподвижной метки на картере двигателя, то, вследствие физиологической инерции человеческого зрения, он будет казаться неподвижным, что позволяет определить значение угла опережения зажигания по шкале, нанесённой на венце маховика.

## 6.4 МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЯ И ЗАМЕРЯЕМЫЕ ВЕЛИЧИНЫ

1 Прогреть двигатель до температуры охлаждающей жидкости на выходе  $t_{в} = 80-85 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

2 Установить дроссельную заслонку в определенное положение и снимать характеристику при постоянной частоте вращения коленчатого вала двигателя. Первый опыт рекомендуется проводить при позднем зажигании ( $-5^{\circ}$  п.к.в.); при последующих опытах  $\varphi_{о.з.}$  должен увеличиваться поворотом корпуса прерывателя-распределителя (или датчика импульсов). Постоянство частоты вращения поддерживать изменением нагрузки на тормозе. Всего снимается 5-7 точек.

3 На каждом режиме измеряются: угол опережения зажигания  $\varphi_{о.з.}$ , частота вращения вала электротормоза  $n_{т}$ , нагрузка на электротормозе  $p_{т}$ , время расхода мерной порции топлива,  $\Delta t_{т}$ , температура охлаждающей жидкости  $t_{в}$  и содержание CO и CH в ОГ.

## 6.5 ОБРАБОТКА ОПЫТНЫХ ДАННЫХ И ПОСТРОЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Результаты замеров сводятся в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 – Опытные данные

номер замера	$n_{т}$ мин <sup>-1</sup>	$p_{т}$ Н	$\varphi_{о.з.}$ град	$\Delta G_{т}$ г	$\Delta t_{т}$ с	CO %	CH млн <sup>-1</sup>	$t_{в}$ °C	p МПа
--------------	------------------------------	--------------	--------------------------	---------------------	---------------------	---------	-------------------------	---------------	----------

Расчетные величины определяются по формулам:

Частота вращения двигателя,  $n$ , мин<sup>-1</sup>:

$$n = n_{т} \cdot i_{р}, \quad (6.5.1)$$

где  $n_{т}$  – частота вращения вала электротормоза, мин<sup>-1</sup>;

$i_{р}$  – передаточное число редуктора.

Эффективная мощность двигателя,  $N_e$ , кВт:

$$N_e = c (p_{т} \cdot n_{т}) / \eta_{р}, \quad (6.5.2)$$

где  $c$  – постоянная электротормоза;

$p_{т}$  – нагрузка на электротормозе, Н;

$n_{т}$  – частота вращения вала электротормоза, мин<sup>-1</sup>;

$\eta_{р}$  – КПД редуктора.

Постоянная электротормоза,  $c$ :

$$c = \frac{l_{т}}{9554}, \quad (6.5.3)$$

где  $l_{т}$  – приведенная длина рычага весового устройства электротормоза, м.

Часовой расход топлива,  $G_{т}$ , кг/ч:

$$G_{т} = 3,6 \frac{\Delta G_{т}}{\Delta t_{т}}, \quad (6.5.4)$$

где  $\Delta G_{т}$  – мерная порция топлива, г;

$\Delta t_{т}$  – время расхода мерной порции, с.

Удельный эффективный расход топлива,  $g_e$ , г/ кВт · ч;

$$g_e = 10^3 \frac{G_T}{N_e}, \quad (6.5.5)$$

где  $G_T$  – часовой расход топлива, кг/ч;

$N_e$  – эффективная мощность двигателя, кВт.

Таблица 6.2 – Расчетные данные

номер замера	$n$	$N_e$	$G_T$	$g_e$
	мин <sup>-1</sup>	кВт	кг/ч	г/ кВт·ч

На основании расчетных и опытных данных строятся графики характеристики и дается анализ полученных результатов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения лабораторных работ студент должен овладеть методикой испытания автомобильных двигателей, научиться измерять и рассчитывать основные технические и экологические показатели работы ДВС. Отчёты по лабораторным работам должны содержать наименование работы, цель, методику испытаний, таблицы результатов замеров и расчёта необходимых величин, а также расчётные формулы. Обработка материалов испытаний, расчёты и построение графиков производится студентами индивидуально на развёрнутых тетрадных листах либо специальных бланках. Отчёт должен заканчиваться развёрнутыми и чёткими выводами по работе и оформляться студентом непосредственно на занятии. Оформленный отчёт предьявляется преподавателю для проверки.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Вырубов, Д. Н. Двигатели внутреннего сгорания: Теория поршневых и комбинированных двигателей [Текст] / Д. Н. Вырубов [и др.]. – М. : Машиностроение, 1983. – 372 с.

2 Колчин, А. И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей [Текст]: учебное пособие для вузов / А. И. Колчин, В. П. Демидов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Высшая школа, 2002. – 496 с.

3 Луканин, В. Н. Двигатели внутреннего сгорания [Текст]: учебник. В 3 кн. Кн.1. Теория рабочих процессов / В. Н. Луканин [и др.]. – М. : Высшая школа, 1995. – 368 с.

4 Николаенко, А. В. Теория, конструкция и расчет автотракторных двигателей [Текст] / А. В. Николаенко. – М. : Колос, 1984. – 335 с.

Глазырин Аркадий Васильевич  
Шабуров Виктор Николаевич  
Савельев Алексей Викторович

## **АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДВИГАТЕЛИ**

Методические указания  
к выполнению лабораторных работ  
по дисциплине «Силовые агрегаты»  
для студентов направления 190600.62

*Часть первая*

Редактор Е.А. Могутова

---

Подписано к печати 24.01.14	Формат 60×84 1/16	Бумага тип. № 1
Печать цифровая	Усл. печ.л. 2,0	Уч.-изд.л. 2,0
Заказ 30	Тираж 50	Не для продажи

---

РИЦ Курганского государственного университета.  
640669 г. Курган, ул. Гоголя, 25.  
Курганский государственный университет.