

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  
**Федеральное государственное бюджетное образовательное**  
**учреждение высшего образования**  
**Санкт-Петербургский горный университет**

**Кафедра транспортно-технологических процессов и машин**

## **СИЛОВЫЕ АГРЕГАТЫ**

*Методические указания к практическим занятиям  
для студентов бакалавриата направления 23.03.03*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ**  
**2019**

УДК 629.113.073 (073)

**СИЛОВЫЕ АГРЕГАТЫ:** Методические указания к практическим занятиям / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: *В.Н. Федотов, Э.К. Абдулаев*. СПб, 2019. 37 с.

Методические указания к практическим занятиям разработаны в соответствии с типовой рабочей программой дисциплины, рекомендуемой УМО вузов РФ по образованию в области транспортных машин и транспортно-технологических комплексов.

Предложены темы для изучения теории силовых агрегатов транспортных, транспортно-технологических машин и оборудования на примерах различных моделей двигателей автомобилей.

Предназначены для студентов бакалавриата направления 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов».

Научный редактор проф. *А.С. Афанасьев*

Рецензент проф. *В.Н. Добромиров* (СПбГАСУ)

## **ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ ОТЧЕТОВ ПО ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ**

1. По всем практическим занятиям оформляются отчеты. Отчет должен содержать:

название и цель практического занятия;

краткое содержание практического занятия (перечень рассмотренных вопросов);

требуемые для данного занятия расчеты, таблицы, схемы, графики с поясняющим текстом (перечни необходимых для отображения в отчете материалов приведены в разд. 4 каждого практического занятия).

2. Все отчеты выполняются на ф. А4, согласно требованиям к текстовым материалам технических документов.

3. При выполнении схем, графиков необходимо руководствоваться следующими требованиями:

схемы и графики надлежит выполнять аккуратно с применением чертежных инструментов, либо стандартных программ Microsoft Office или специальных электронных программ для графических работ;

схемы и графики должны нумероваться и иметь подрисуночные подписи (при необходимости);

схемы и графики должны быть снабжены при необходимости наименованиями элементов.

4. Отчет проводится в виде контрольного опроса или краткого семинара по теме практического занятия, наличие письменного отчета у студента (см. п.2) является обязательным.

# **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №1**

## **ОБЩЕЕ УСТРОЙСТВО СИЛОВЫХ АГРЕГАТОВ. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ**

### **1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Ознакомление с основными типами силовых агрегатов Т и ТТМО, их составными частями. Ознакомление с классификацией, механизмами и системами автомобильных двигателей, а также изучение их рабочих циклов.

### **2. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

2.1. Общее устройство. Изучить основные типы силовых агрегатов на транспортных средствах: поршневые двигатели, газовые турбины, реактивные двигатели, электродвигатели.

2.2. Преимущества и недостатки поршневых двигателей. Классификация и условные обозначения ДВС по ГОСТ 4393-82.

2.3. Типы автомобильных двигателей (по виду смесеобразования, по типу применяемого топлива, по числу тактов и т.д.).

2.4. Назначение механизмов и систем четырехтактного двигателя внутреннего сгорания (кривошипно-шатунного и газораспределительного механизмов, систем охлаждения, смазки, питания, зажигания и вентиляции картера двигателя) на примере одноцилиндрового двигателя.

2.5. Принцип действия. Рабочий процесс (характеристика тактов) одноцилиндрового четырехтактного поршневого двигателя. Индикаторная диаграмма.

2.6. Применяемые в автомобильных двигателях топлива, их маркировка.

2.7. Сравнить карбюраторные, дизельные и инжекторные двигатели по удельной мощности, экономичности, экологичности и другим показателям.

2.8. Работа четырехтактных много цилиндровых двигателей. Рядные и V -образные двигатели. Порядок работы цилиндров.

2.9. Понятие о внешней скоростной характеристике двигателя.

### **3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

При изучении настоящей темы следует ознакомиться с существующими типами двигателей транспортных средств и рассмотреть их основные технические параметры. Следует обратить внимание на ряд специфических терминов, применяемых для технического описания двигателя транспортного средства (например: мощность, крутящий момент, расход топлива, удельный расход топлива и др.).

Рассмотрение общего устройства двигателей на практическом занятии не предполагает подробного изучения устройства и работы каждого типа двигателей. Необходимо обратить внимание на недостатки и преимущества поршневых двигателей и тщательно разобрать функциональную схему ДВС.

При подготовке к отчету данного практического занятия следует обратить внимание на различие в протекании рабочих процессов двигателей с принудительным воспламенением (карбюраторных и инжекторных) и с воспламенением от сжатия (дизельных), а также отличие их индикаторных диаграмм.

### **4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

4.1. Привести марки бензиновых двигателей ГАЗ 3110, ВАЗ 2114, BMW M4, Volvo S60, пояснить маркировку дизельных ДВС на примерах: 12 ЧН 13/14 (ЯМЗ 240Н); 8 Ч 12/12 (КамАЗ 740); 4 Ч 10/12 (Д-37Е); 42 ЧНОСП 16/17.

4.2. Изобразить схему четырехтактного поршневого двигателя и указать на ней основные его элементы и параметры.

4.3. Изобразить индикаторную диаграмму и выделить на ней характерные точки.

4.4. Представить порядок работы цилиндров 4, 6, 8-цилиндровых двигателей (рядных и V-образных).

4.5. Изобразить внешнюю скоростную характеристику двигателя.

## 5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. На какие группы подразделяются силовые агрегаты транспортных средств?

2. Почему получили наибольшее преимущество в автотранспорте поршневые ДВС?

3. Чем отличаются карбюраторные и дизельные двигатели?

4. Что такое степень сжатия?

5. Что означают буквы и цифры в маркировке бензина (А-80, АИ-92)?

6. Какие показатели изображаются на графике внешней скоростной характеристики?

7. Какие характерные точки имеет индикаторной диаграмме?

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ РАЗМЕРОВ ДВИГАТЕЛЯ

#### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучить методику расчета основных размеров двигателя, литровой и поршневой мощностей с использованием показателей процессов сжатия, сгорания и расширения.

#### 2. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

2.1. Два теоретических цикла. Смешанный и при  $V = \text{const}$  ( $\rho = 1$ ;  $\delta = \varepsilon$ ).

2.1.1. Расчет процессов сжатия, сгорания и расширения - основа определения основных размеров двигателя.

2.1.2. Среднее индикаторное давление  $p'_{\text{ср}i}$  одного из двух теоретических циклов.

2.1.3. Средние индикаторные давления: действительные и расчетные. «Скругление» индикаторной диаграммы и насосные потери при впуске и выпуске.

2.1.4. Коэффициент полноты индикаторной диаграммы действительного цикла. Уровень форсирования автомобильных двигателей и значения коэффициента полноты индикаторной диаграммы.

2.1.5. Действительное среднее индикаторное давление, как условное постоянное избыточное давление, которое, действуя на поршень, за один его ход совершает работу, равную работе газов в цилиндре за весь цикл.

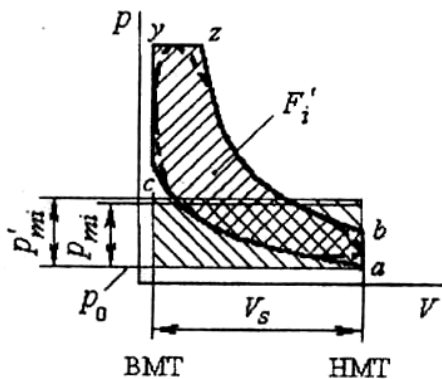


Рис.1. Графическая интерпретация среднего индикаторного давления

2.1.6. Механические потери мощности в узлах трения коленчатого вала, привода генератора, водяного насоса. Механический КПД.

2.1.7. Среднее эффективное давление и механический КПД. Работа на холостом ходе двигателя.

2.1.8. Эффективная мощность, литровая и

поршневые мощности.

2.2. Расчетные выражения.

$$2.2.1. p'_{\text{ср}i} = [p_0/(\epsilon - 1)] \{ \lambda(\rho - 1) + [\lambda\rho(n_2 - 1)][1 - 1/(\delta^{n_2 - 1})] - [1/(n_1 - 1)][(1 - 1/(\epsilon^{n_1 - 1}))] \}, (1)$$

$$2.2.2. p_{\text{ср}i} = \phi p'_{\text{ср}i}, \text{ МПа}, (2)$$

где  $\phi$  - коэффициент полноты диаграммы

$$2.2.3. p_e = p'_{\text{ср}i}, (3)$$

где  $\eta_m$  – механический КПД

$$2.2.4. N_{л} = N_{e \max} / V_{hi} = p_e n_e V_{hi} / 225 \tau V_{hi} = p_e n_e / 225 \tau, \text{ л.с./л}, \quad (4)$$

$$2.2.5. N_{п} = N_{e \max} / A_{пi} = p_e n_e V_{hi} / 225 \tau A_{пi} = N_{л} S, \text{ л.с./дм}^2, \quad (5)$$

### 3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Изучение данной темы должно базироваться на знании конструкции автомобильных двигателей (см. практическое занятие №1).

3.1. Два теоретических цикла. В основу определения основных размеров двигателя положен расчет процессов сжатия, сгорания и расширения. Предварительно рассчитывается среднее индикаторное давление  $p'_{срi}$  для одного из двух теоретических циклов – смешанного, либо при  $V = \text{const}$  ( $\rho = 1$ ;  $\delta = \epsilon$ ).

Индикаторную диаграмму получают при испытаниях двигателя на стенде или рассчитывают. Действительные средние индикаторные давления, полученные на стенде, будут отличаться от расчетных, т.к. имеют меньшие значения из-за «скругления» индикаторной диаграммы и насосных потерь при впуске и выпуске.

Индикаторная диаграмма действительного цикла для тактов сжатия и расширения показана на рис. 1 пунктирной линией. Площадь  $F$ . этой «скругленной» диаграммы связана с площадью расчетной индикаторной диаграммы теоретического цикла отношением  $F_i = \phi F'_i$ , где  $\phi$  – коэффициент полноты индикаторной диаграммы действительного цикла. Для 4-тактных автомобильных двигателей  $\phi = 0,95 \dots 0,98$ . С ростом уровня форсирования двигателя значение  $\phi$  соответственно повышается.

Среднее индикаторное давление  $p_{срi}$  есть условное постоянное избыточное давление, которое, действуя на поршень, за один его ход совершает работу, равную работе газов в цилиндре за весь цикл. При передаче работы газов на коленчатый вал индикаторное давление снижается за счет механических потерь мощности в узлах трения коленчатого вала, привода генератора, водяного насоса характеризуется совершенством конструкции



двигателя с точки зрения уровня механических потерь механическим КПД  $\eta_m$ .

Зная значение  $\eta_m$ , можно вычислить значение среднего эффективного давления  $p_e$  как произведение среднего индикаторного на коэффициент механических потерь.

3.2. Использование параметров двигателя аналога. При известном значении  $p_e$  задаем количество цилиндров  $i$  и значение оборотов  $n_e$ , соответствующих эффективной мощности  $N_e$ , исходя из конструкции двигателей аналогов.

Вычисляем значение среднего эффективного давления с помощью выражения:  $p_e = 30N_e\tau/V_hin$ , которое решаем относительно рабочего объема цилиндра двигателя  $V_h$ .

Вместе с тем  $V_h = (\pi D^3/4)S/D$ , задаваясь значениями  $S/D$  или средней скорости поршня  $v_n = Sn_e/30$ , можно определить диаметр цилиндра  $D$ , дм

Значение средней скорости поршня  $v_n$  находится в пределах: для двигателей грузовых автомобилей 80...110 дм/с; двигателей легковых автомобилей 100...140 дм/с.

Отношение  $S/D$ : для современных автомобильных двигателей колеблется в пределах 0,7...1,1 для бензиновых двигателей, для дизельных – 0,9...1,3.

3.3. Анализ отношения  $S/D$ . Увеличение отношения  $S/D$  сопровождается повышением средней скорости поршня, что приводит к возрастанию инерционных сил, а следовательно, к уменьшению величины механического к. п. д. Кроме того, увеличиваются высота и вес двигателя, а также ухудшается наполнение цилиндров. Однако, при увеличении отношения  $S/D$  диаметр цилиндра уменьшается, что снижает вероятность возникновения детонации.

Уменьшение отношения  $S/D$  приводит к снижению средней скорости поршня, уменьшению высоты и веса двигателя, улучшению наполнения и повышению индикаторного к. п. д. Однако при уменьшении этого отношения увеличивается диаметр

поршня, а также сила давления газов на элементы кривошипно-шатунного механизма.

3.4 Литровая и поршневая мощности. Оценку работы двигателя с точки зрения использования рабочего объема, а также его тепловой и динамической напряженности производят по литровой и поршневой мощностям.

Литровой мощностью двигателя  $N_{л}$  называют максимальную эффективную мощность, отнесенную к одному литру рабочего объема двигателя

Поршневой мощностью двигателя  $N_{п}$  называют максимальную эффективную мощность, отнесенную к 1  $дм^2$  суммарной площади днищ поршней двигателя.

3.5. После изучения материала приступить к расчету размеров двигателя по приведенным исходным данным, таблица 1.

Таблица 1.

**Исходные данные для расчета**

Показатели	Карбюраторный	Дизельный
$p_c$ – давление в конце такта сжатия, $кг/см^2$	8-15	30-45
$\epsilon$ - степень сжатия	5-10	16-20
$\lambda = p_z/p_c$ – степень увеличения давления	3-4	1,2-1,4
$\rho = \frac{V_z}{V_c}$ - степень предварительного расширения	-	1,2-1,7
$n_2$ – политропа расширения	1,25-1,33	1,22-1,25
$n_1$ – политропа сжатия	1,32-1,39	1,36-1,40
$\delta = \frac{e}{\rho}$ – степень последующего расширения	-	2

Полученные значения литровой и поршневой мощностей сравнить с аналогичными показателями современных ДВС, табл. 2, и сделать вывод о достоверности расчетов, если полученные значения не выходят за пределы диапазонов соответствующих показателей.

Таблица 2.

**Значения литровой и поршневой мощностей ДВС**

Типы двигателей	Литровая мощность, л.с./л	Поршневая мощность, л.с./дм <sup>2</sup>
Для карбюраторных двигателей: автомобилей массового производства спортивных и гоночных автомобилей	20...50 80...150	25...40 100...120
Для дизелей	15...30	15...40

**4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

- 4.1. Привести формулу определения среднего индикаторного давления смешанного теоретического цикла.
- 4.2. Привести формулу определения среднего индикаторного давления теоретического цикла при постоянном объеме.
- 4.3. Привести индикаторную диаграмму смешанного теоретического цикла и «скругленную» действительного цикла для тактов сжатия и расширения.
- 4.4. Указать на изображенной диаграмме среднее индикаторное давление теоретического и действительного циклов.
- 4.5. Привести результаты расчета основных размеров заданного типа двигателя.

**5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Аналитические выражения среднего индикаторного давления двигателей с воспламенением от искры и дизелей.
2. Индикаторные крутящий момент, мощность, коэффициент полезного действия, удельный расход топлива: их аналитические выражения для двигателей, работающих на жидком топливе
3. Составляющие механических потерь: потери на трение, их распределение по основным узлам двигателя.
4. Аналитические выражения эффективного крутящего момента, мощности и среднего давления.
5. Механический КПД, влияние его на величину режима работы и техническое состояние двигателя.
6. Литровая и поршневая мощности двигателя, их зависимость от степени форсирования, типа и конструктивных особенностей двигателя.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №3

### РАСЧЕТ И ПОСТРОЕНИЕ ВНЕШНЕЙ СКОРОСТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИЛОВОГО АГРЕГАТА (ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ АВТОМОБИЛЯ)

#### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучить назначения характеристик двигателя и выполнить расчет и построение внешней скоростной характеристики на примере базовых моделей двигателей (КамАЗ-740.1020, ВАЗ-21104).

#### 2. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

2.1. Испытания двигателей. Типовые ГОСТ 14846-81: «Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний».

Научно-исследовательские: стендовые и в эксплуатационных условиях по согласованным с заказчиками программами

2.2. Основные характеристики двигателей. Для оценки мощностных и экономических показателей работы двигателя используют характеристики двигателя, рис.1 и рис. 2.

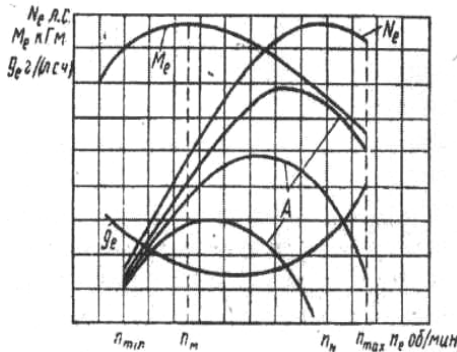


Рис.1. Внешняя и частичные скоростные характеристики карбюраторного двигателя

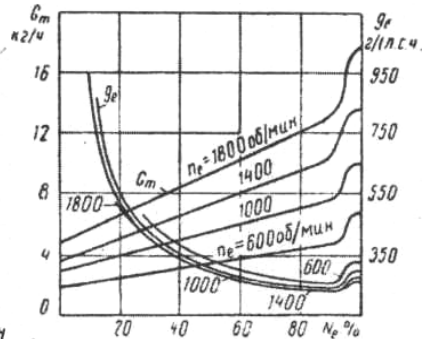


Рис. 2. Нагрузочная характеристика карбюраторного двигателя

2.3. Внешняя скоростная характеристика. Скоростная характеристика, соответствующая полностью открытой дроссельной заслонке («полному дросселю») или максимальной подаче топлива.

2.4. Расчетные параметры внешней скоростной характеристики:  $M_e$ , Нм;  $N_e$ , л.с, кВт;  $g_e$ , г/л.с.-ч; г/кВт-ч.

2.5. Расчет эффективной мощности  $N_e$ :

- для бензиновых карбюраторных и с распределенным впрыском двигателей

$$N_e = N_{e \max} n_e/n_N [1 + n/n_N - (n/n_N)^2], \text{ л.с.}$$

- для дизелей с неразделенной камерой сгорания

$$N_e = N_{e \max} n_e/n_N [0,87 + 1,13n/n_N - (n/n_N)^2], \text{ л.с.}$$

- для дизелей с предкамерой

$$N_e = N_{e \max} n_e/n_N [0,6 + 1,4n/n_N - (n/n_N)^2], \text{ л.с.}$$

- для дизелей с вихревой камерой

$$N_e = N_{e \max} n_e/n_N [0,7 + 1,3n/n_N - (n/n_N)^2], \text{ л.с.}$$

При расчетах задаем 5-6 значений  $n$  от  $n_N = n_{xx}$  до  $n_{max} = 1,2n_e$

2.6. Расчет эффективного крутящего момента:

$$M_e = 7160 N_e/n_e \text{ Нм}$$

2.7. Расчет удельного расхода топлива:

$$g_e = 1000G_T/N_e, \text{ г/л.с.-ч}$$

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

2.8. Расчет коэффициента приспособляемости  $K_M$ , через отношение максимального крутящего момента  $M_{e \max}$  к моменту при максимальной мощности  $M_{e N}$ :

$$K_M = M_{e \max} / M_{e N}$$

3. Выполнение графической зависимости  $M_e$ , Нм;  $N_e$ , л.с, (кВт);  $g_e$ , г/л.с.-ч (г/кВт-ч) от оборотов двигателя  $n_e$ , мин<sup>-1</sup>.

### 3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

3.1. Режимы работы двигателя. Силовые агрегаты транспортных и транспортно-технологических машин могут работать при различных числах оборотов, и поэтому их скоростные

режимы могут изменяться в широких пределах. Минимальное число оборотов ограничено устойчивой работой двигателя, а максимальное — качественным протеканием процесса газообмена, тепловой напряженностью деталей, повышением инерционных нагрузок, снижением механического к. п. д. и др.

Оптимальными режимами работы двигателя являются такие, при которых, например, обеспечена либо  $N_{e \max}$  максимальная мощность, либо максимальный крутящий момент  $M_{e \max}$ , либо минимальный удельный расход топлива  $g_{e \text{ мм}}$ .

В общем случае эксплуатационный режим работы силового агрегата является неустановившимся, так как нагрузка непрерывно изменяется. Длительное и значительное сопротивление от нагрузки может быть преодолено за счет запаса крутящего момента двигателя. Крутящий момент карбюраторных двигателей увеличивают открытием дроссельной заслонки, а дизелей — поворотом плунжеров насоса высокого давления в сторону увеличения подачи топлива.

3.2. Типовые испытания. К типовым относятся испытания, проведение которых регламентировано стандартом. Порядок и объем проведения типовых испытаний зависят от назначения двигателей. Для автомобильных двигателей типовые испытания выполняются в соответствии с ГОСТ 14846-81: «Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний».

В соответствии с этим стандартом определение рабочих показателей двигателей осуществляется по скоростным и нагрузочным характеристикам.

Типовые испытания ДВС автомобилей выполняют по программам, которые разрабатываются заводом-изготовителем, согласовываются с заказчиком (потребителем продукции) и органами государственного контроля.

Рекомендуемое содержание программы типовых испытаний:  
область распространения программы;

условия проведения испытаний (комплектность и нагрузка вспомогательных механизмов, атмосферные и рабочие условия,

сорта рабочих жидкостей, оборудование стенда);

объем и порядок проведения испытаний с указанием продолжительности нагрузочных режимов (таблица режимов) и проверок;

перечень и способы определения параметров двигателя и его систем;

объем разборки двигателя и измерения его деталей;

методика обработки результатов измерений.

3.3. Научно-исследовательские испытания. Испытания направлены на совершенствование конструкций, выпускаемых производством, а также опытных образцов двигателей, повышение их мощности, улучшение экономичности и экологических характеристик и т. п. Иногда, чтобы подчеркнуть целевое назначение, выделяют испытания износные, пусковые, регулировочные, доводочные, химмотологические и др.

Научно-исследовательские испытания проводят как в стендовых, так и в эксплуатационных условиях, по согласованным с заказчиком программам. Рекомендуемое содержание программ такое же, что и для типовых испытаний.

3.4. Скоростная характеристика двигателя. Скоростная характеристика представляет собой выраженную графически зависимость основных параметров, характеризующих работу двигателя (мощность, крутящий момент и др.), от числа оборотов при постоянном положении дроссельной заслонки или рейки топливного насоса, а также при постоянных значениях температуры масла и охлаждающей воды.

Скоростную характеристику, соответствующую полностью открытой дроссельной заслонке («полному дросселю») или максимальной подаче топлива, называют внешней (кривые  $N_e$  и  $M_e$  на рис. 1). По внешней скоростной характеристике определяют наибольшие мощности и моменты, которые может развить данный двигатель при разных оборотах. Характеристики, полученные при заслонке открытой не полностью или неполной подаче топлива, называют частичными (кривые А, см. рис. 1).

3.5. После изучения материала приступить к расчету внешней скоростной характеристики двигателя используя исходные данные аналогов, таблица 1.

Таблица 1

Основные параметры двигателей

Модели двигателей	Тип двигателя	Номинальная мощность, кВт ( л . с . )	Номинальная частота вращения, об/мин	Часовой расход топлива, кг/ч
ВАЗ 21104	Бензиновый с распределенным впрыском	65(89)	3800	7,5
КамАЗ 740.1020	Дизельный с неразделенной камерой	162(220)	2600	35,3

#### 4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

4.1. Испытания двигателей: типовые и исследовательские

4.2. Характеристики двигателей: внешние, частичные, нагрузочные, регуляторные. Их назначение

4.3. Привести примеры графиков внешней, частичных и нагрузочной характеристик

4.4. Выполнить расчет внешней характеристики одного из двигателей (см. табл. 2) по указанию преподавателя. Построить график, рис 2 (используя МО Excel).

Таблица 2

Расчет внешней характеристики

Параметры	Число оборотов, мин <sup>-1</sup>					
	800	1600	2400	3200	4000	4800
$N_{e, л.с.}$	19,2	41,1	61,7	77,0	83,0	75,7
$M_e, Нм$	172	184	184	173	149	113
$g_e, г/л.с.-ч$	1177	550	421	293	272	298



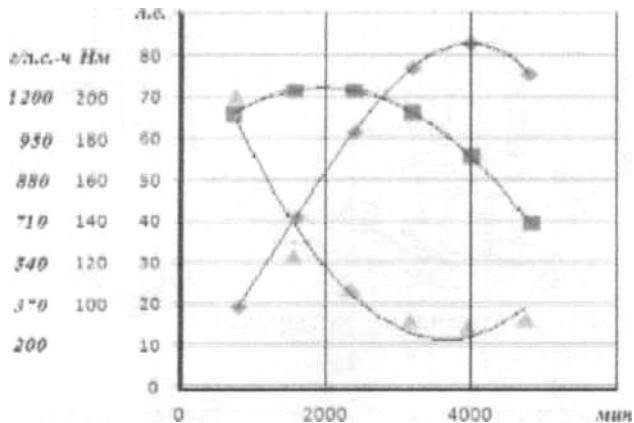


Рис. 2. Внешняя скоростная характеристика

4.5. По внешней скоростной характеристике (рис. 2) находим значения  $M_{e \max}$  (205 Нм) и  $M_{eN}$  (170 Нм) и определяем коэффициент приспособляемости двигателя

$$K_M = 205/170 = 1,21$$

Результаты расчета вносим в табл. 3

Таблица 3

Результаты расчета					
Параметры	$N_{e \max}$ , л.с.	$M_{e \max}$ , Нм	$M_{eN}$ , Нм	$g_{e \min}$ , г/л.с.-ч	$K_M$
Значения	83	205	170	220	1,21
Обороты коленчатого вала, мин-1	4000	2000	4000	3600	

## 5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дать формулировку скоростной характеристики двигателя внутреннего сгорания.

2. Дать формулировку внешней скоростной характеристики двигателя внутреннего сгорания.
3. Пояснить для чего используются скоростная и нагрузочная характеристики двигателя.
4. Назначение и основное содержание программ типовых испытаний двигателя.
5. Назначение и основное содержание программ типовых испытаний двигателя.
6. Назначение и основное содержание программ научно-исследовательских испытаний двигателя.
7. Выбор расчетной формулы для определения эффективной мощности.
8. Порядок расчета параметров  $Ne, л.с., M_e, Нм, g_e, г/л.с.-ч$  для построения графической внешней скоростной характеристики.

## **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 4**

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРЯДКА РАБОТЫ ЦИЛИНДРОВ ДВИГАТЕЛЯ**

#### **1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ**

Изучить схемы расположения кривошипов коленчатых валов, освоить методику назначения вспышек в многоцилиндровом двигателе.

#### **2. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

2.1. Многоцилиндровый и многоблочный поршневой двигатель с КШМ. Суммарный крутящий момент, рис. 1.

2.2. Схемы расположения кривошипов коленчатого вала (КВ):

- равномерная продольно-симметричная,  
угол отставания вспышек  $u_{кр} = 360^\circ / (0,5i_{кр}), (1)$
- равномерная продольно-несимметричная

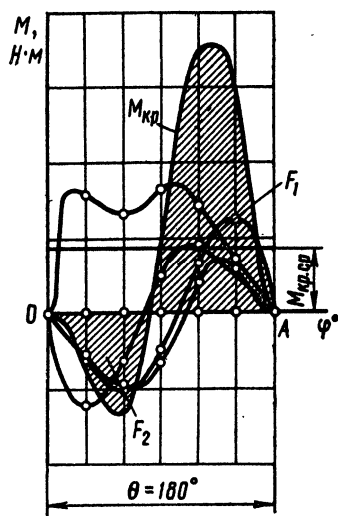


Рис. 1. Построение кривой суммарного крутящего момента 4-х цилиндрового 4-х тактного двигателя

угол отставания вспышек  

$$u_{кр} = 360^\circ / i_{кр}, \quad (2)$$

2.3. Блоки и отсеки двигателя - многоблочного и многоцилиндрового.

2.4. Определение порядка работы цилиндров по блокам и отсекам. Расчет угла поворота КВ  $u_{дв}$ .

$$u_{дв} = (180^\circ \tau) / i_{бл} i_{ц}, \quad (3)$$

где  $\tau$  - тактность двигателя (для 2-тактного двигателя  $\tau = 2$ ,

для 4-тактного двигателя  $\tau = 4$ );

$i_{бл}$  - количество блоков цилиндров двигателя;

$i_{ц}$  - количество цилиндров в одном блоке.

2.5. Требования при назначении вспышек в двигателе. Определение порядка работы цилиндров на примере двигателя с компоновочной схемой 8ЧV90<sup>0</sup> (8-цилиндровый 4-тактный двигатель с V-образным расположением блоков цилиндров и углом между блоками, равным 90°).

### 3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

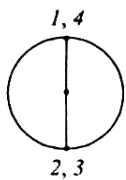


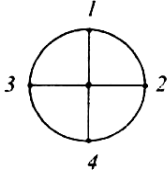



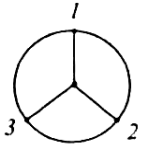

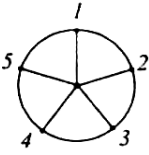

3.1. В общем случае двигатель является многоцилиндровым и многоблочным. Считается, что рабочие процессы во всех цилиндрах двигателя протекают одинаково, но со сдвигом по фазе в соответствии с порядком работы цилиндров.

Угол отставания вспышки в цилиндре зависит от схемы расположения кривошипов КВ, тактности двигателя и расположения блоков цилиндров.

3.2. Схемы расположения кривошипов КВ. Под схемой расположения кривошипов понимается их пространственное положение относительно друг друга и относительно оси вращения КВ. Наиболее распространенные схемы для 4-тактных двигателей приведены в табл. 1.

Таблица 1

Характерные схемы расположения кривошипов КВ

Схема расположения кривошипов	$\gamma_{кр}$	Значение угла между соседними кривошипами (номера соседних кривошипов указаны через тире)		
	180°	0° 2-3 	180° 1-2, 3-4 	—
	90°	90° 3-4 	180° 2-3 	270° 1-2 
	120°	—	—	240° 1-2, 2-3 
	72°	—	—	288° 1-2, 2-3, 3-4, 4-5 

3.3. Определяют значения удельной результирующей силы  $P_{\Sigma}$ , приложенной к центру поршневого пальца, лишь для первого цилиндра, расположенного в главном блоке двигателя. Для остальных цилиндров значения можно определить путем сдвига полученного массива значений на угол отставания вспышки в рассматриваемом цилиндре относительно первого цилиндра.

Для построения кривой суммарного крутящего момента многоцилиндрового двигателя графически суммируют кривые моментов каждого цилиндра, сдвигая одну кривую относительно другой на угол поворота кривошипа между вспышками. Так как величины и характер изменения крутящих моментов по углу поворота коленчатого вала всех цилиндров двигателя одинаковы и отличаются лишь угловыми интервалами, равными угловым интервалам между вспышками в отдельных цилиндрах, то для подсчета суммарного крутящего момента двигателя достаточно иметь кривую крутящего момента одного цилиндра, см. рис. 1.

От схемы расположения кривошипов зависят важные эксплуатационные свойства поршневого двигателя. В двигателях автомобилей с КШМ применяются следующие схемы расположения кривошипов:

- равномерная продольно-симметричная;
- равномерная продольно-несимметричная;

3.4. Равномерная продольно-симметричная (РПС) схема расположения кривошипов КВ. Равномерность расположения кривошипов означает, что плоскости расположения кривошипов делят окружность вращения кривошипов на одинаковые дуги.

Угол между двумя произвольно взятыми соседними плоскостями расположения кривошипов рассчитывается по формуле (1).

Симметричность расположения кривошипов означает, что два расположенных в одной плоскости кривошипа, направленных в одну сторону от оси вращения КВ, находятся по разные стороны от условного центра тяжести КВ на одинаковом от этого центра расстоянии.

РПС схема расположения кривошипов возможна при четном количестве кривошипов. Такая схема может применяться только в 4-тактных двигателях, но в случае равенства  $u_{дв} = u_{кр}$  неизбежной будет вспышка одновременно в двух цилиндрах, что противоречит требованиям, предъявляемым к автомобильным двигателям. По этой же причине такая схема не может применяться в 2-тактных двигателях.

РПС схема расположения кривошипов КВ для 4-цилиндрового двигателя показана на рис. 2.

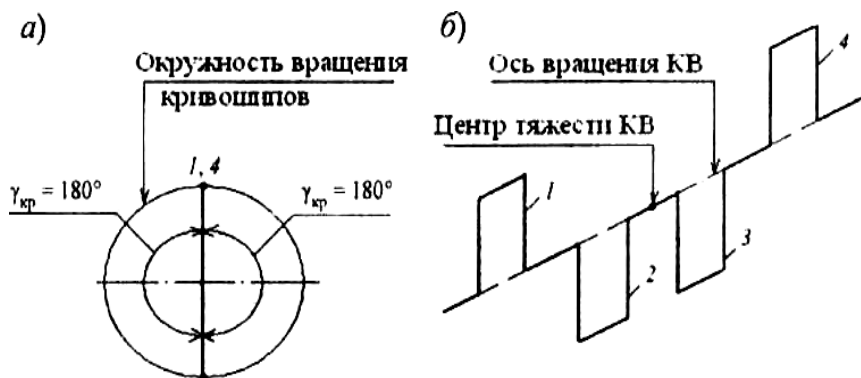


Рис. 2. Равномерная продольно-симметричная схема расположения кривошипов 1...4 КВ: а - проекция кривошипов на плоскость, перпендикулярную оси вращения КВ; б-пространственное расположение кривошипов

В данном примере плоскости расположения пар кривошипов 1, 4 и 2, 3 совпадают. Коленчатые валы с такой схемой расположения кривошипов широко применяются в 4-цилиндровых 4-тактных двигателях как отечественного, так и зарубежного производства.

Преимуществами применения РПС расположения кривошипов КВ являются:

- самоуравновешенность двигателя, вплоть до его полной самоуравновешенности;

- упрощение технологии механической обработки КВ (за одну установку КВ обрабатываются две шатунные шейки).

3.5. Равномерная продольно-несимметричная (РПН) схема расположения кривошипов КВ. Несимметричность расположения кривошипов означает, что в одной плоскости, проходящей через ось вращения КВ, может располагаться лишь один кривошип. При расположении в одной плоскости двух кривошипов они направлены в разные стороны от оси вращения КВ.

Угол между двумя произвольно взятыми соседними плоскостями расположения кривошипов рассчитывается по формуле (2).

В качестве примера (РПН) схема расположения кривошипов КВ для 4-цилиндрового двигателя показана на рис. 3.

В данном примере плоскости расположения пар кривошипов 1, 4 и 2, 3 расположены под прямым углом. Такая схема применяется как в 2-тактных, так и в 4-тактных двигателях, в том числе и в 4-тактных двигателях, в которых применение равномерной продольно-симметричной схемы исключено.

3.6. Определение порядка работы цилиндров по блокам и отсекам. При назначении вспышек должны быть в наибольшей степени обеспечены требования, предъявляемые к поршневым двигателям с КШМ, в частности к автомобильным двигателям:

- отсутствие одновременной вспышки в двух цилиндрах;
- максимальная удаленность вспышек по углу поворота КВ в цилиндрах одного отсека с целью уменьшения максимальных нагрузок на шатунные и коренные подшипники;
- максимальная удаленность вспышек по углу поворота КВ в цилиндрах одного блока (по длине КВ) для уменьшения нагрузок на коренные подшипники.

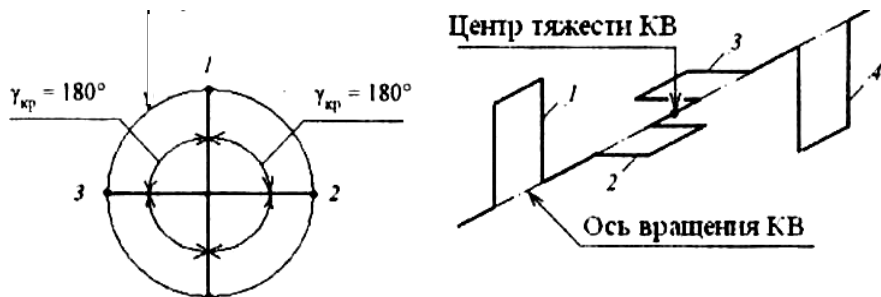


Рис. 3. Равномерная продольно-несимметричная схема расположения кривошипов 1... 4 КВ: а - проекция кривошипов на плоскость, перпендикулярную оси вращения КВ; б — пространственное расположение кривошипов

В общем случае поршневой двигатель является многоцилиндровым и многоблочным. Цилиндры двигателя, находящиеся в плоскости вращения кривошипа КВ, считаются расположенными в одном отсеке. Многоцилиндровый многоблочный двигатель может быть образован из нескольких отсеков. Пример 2-блочного двигателя, состоящего из четырех отсеков, показан на рис. 4.

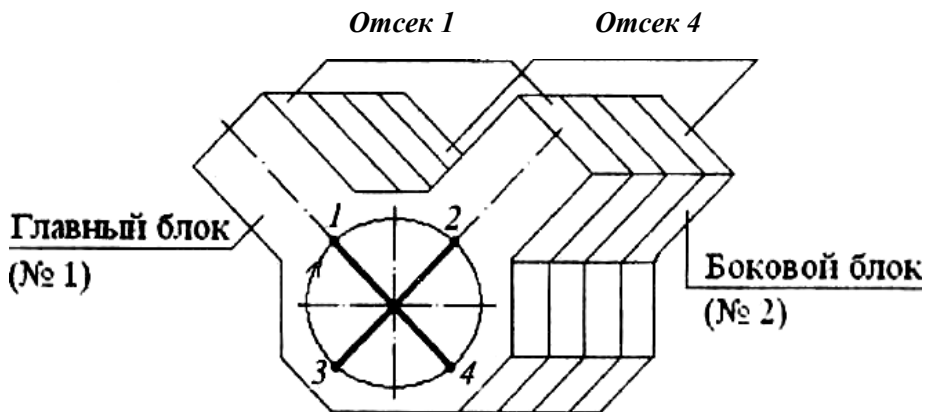


Рис. 4. Блоки и отсеки двигателя



Порядок работы цилиндров по двигателю определяется порядками работы цилиндров по блокам и по отсекам и назначается при выбранной схеме расположения кривошипов КВ. При этом следует в максимальном объеме выполнить требования, перечисленные ранее.

Каждый двигатель имеет равномерный выходной крутящий момент, если вспышки в последовательно работающих цилиндрах происходят через одинаковый угол поворота КВ  $u_{дв}$ . Значение этого угла рассчитывается для многоблочного двигателя по формуле (3).

Для назначения порядка работы цилиндров по главному блоку и по отсекам нужно наложить схему расположения кривошипов КВ на схему блоков и отсеков, совместив кривошип 1 с осью цилиндра 1 главного блока. При этом последующие кривошипы КВ (второй и другие) располагаются в соответствующих отсеках двигателя.

Далее, условно поворачивая КВ по часовой стрелке, назначаем вспышки в цилиндрах двигателя.

3.6. Пример назначения вспышек в цилиндрах двигателя. В качестве примера (см. рис. 4) рассматривается назначение порядка работы цилиндров в двигателе с компоновочной схемой  $8ЧV90^0$  (8-цилиндровый 4-тактный двигатель с V-образным расположением блоков цилиндров и углом между блоками  $u_{дв}$ , равным  $90^\circ$ ).

Для этого двигателя подходит КВ с равномерной продольно-несимметричной схемой расположения кривошипов при угле заклинки кривошипов  $u_{кр} = 90^\circ$  (см. табл. 1).

Далее рассматриваются два (из многих возможных) варианта работы цилиндров в блоках этого двигателя.

При показанном на рис. 3 положении кривошипов назначается вспышка в цилиндре 1 главного блока. Поскольку одновременная работа в двух цилиндрах недопустима, то вспышка в цилиндре 2 бокового блока при этом не назначается (пропускается).

Через  $90^\circ$  поворота КВ с плоскостью главного блока совпадет кривошип 3, а с плоскостью бокового блока - кривошип 1. Поскольку шатуны в каждом отсеке двигателя индивидуальные,

можно, не опасаясь наложения нагрузок на шатунные подшипники, назначить вспышку в боковом цилиндре отсека 1. Таким образом, вспышка в цилиндре 3 главного блока пропускается, а отставание вспышки в боковом цилиндре отсека 1 составит  $90^\circ$ .

Повернув схему кривошипов снова на  $90^\circ$ , исходя из названных выше требований к ДВС, назначают вспышку в цилиндре 4 главного блока и пропускают ее в цилиндре 3 бокового блока. Отсюда следует, что вспышка в цилиндре 4 главного блока отстает от вспышки в цилиндре 1 этого блока на угол  $180^\circ$ .

Порядки работы цилиндров в блоках двигателя по двум вариантам приведены в табл. 2.

Таблица 2

Варианты назначения вспышек

Вариант 1	Главный блок (№ 1)	1		4	2		3		
	Боковой блок (№ 2)		1			2		3	4
Вариант 2	Главный блок (№ 1)	1		4			3		2
	Боковой блок (№ 2)		1		4	2		3	

Аналогично порядки работы цилиндров назначаются и для двигателей с произвольным количеством блоков и цилиндров в блоках.

#### 4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

4.1. Суммарный крутящий момент многоцилиндрового и многоблочного поршневого двигателя, привести рисунок.

4.2. Привести схему равномерной продольно-симметричной схемы кривошипов КВ, привести формулу  $u_{кр}$ .

4.3. Привести схему равномерной продольно-несимметричной схемы кривошипов КВ, привести формулу  $u_{кр}$ .

4.4. Указать требования при назначении вспышек в цилиндрах двигателя.

4.5. Назначить вспышек в двигателе с КШМ по заданию преподавателя. Результаты оформить в табличной форме.

## 5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Объяснить порядок построения суммарного крутящего момента двигателя.
2. Объяснить понятие равномерная продольно-симметричная схема расположения кривошипов КВ.
3. Объяснить понятие равномерная продольно-несимметричная схема расположения кривошипов КВ.
4. Использование КВ с разными схемами расположения кривошипов в двигателях автомобилей.
5. Аналитические выражения для определения  $u_{кр}$ , для обеих схем кривошипов КВ и  $U_{дв}$ .
6. Порядок назначения вспышек в цилиндрах двигателя.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №5

### ТЕРМОХИМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ДВИГАТЕЛЯ

#### 1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучить методику термохимического расчета двигателя при расчете действительных циклов, выполнить расчет на примере бензинового и дизельного двигателей.

#### 2. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

- 2.1. Состав и свойства жидких и газообразных топлив.
  - 2.1.1. Бензин, дизельное и газообразное топлива для автомобильных и тракторных двигателей.
  - 2.1.2. Элементарный состав бензина и дизельного топлива выражается в долях единицы массы :  $C + H + O = 1$ .
  - 2.1.3. Элементарный состав газообразных топлив выражается в объемных долях:  $\Sigma C_n H_m O_r + N_2 = 1$ .

2.1.4. Продукты полного сгорания топлива: углекислый газ  $\text{CO}_2$ , водяные пары  $\text{H}_2\text{O}$ , избыточный кислород  $\text{O}_2$  и азот  $\text{N}_2$ .

2.1.5. Продукты неполного сгорания топлива: дополнительно угарный газ  $\text{CO}$ .

2.1.6. Количество кислорода, теоретически необходимое для сгорания 1 кг топлива, равно  $C/12 + \text{H}/4 - \text{O}_T/32$ , кмоль/кг, (2.1).

2.1.7. Количество воздуха, теоретически необходимое для сгорания 1 кг топлива в объемных долях, равно  $l_0 = 1/0,21(C/12 + \text{H}/4 - \text{O}_T/32)$ , кмоль воздуха/кг топлива.

2.1.8. Количество воздуха, теоретически необходимое для сгорания 1 кг топлива в массовых единицах, равно  $L_0 = 1/0,23(8/3C + 8\text{H} - \text{O}_T/32)$ , кг воздуха/кг топлива.

2.1.9. Коэффициентом избытка воздуха:  $\alpha = L/L_0$

2.1.10. Значения коэффициента избытка воздуха  $\alpha$  для

2.2. Горючая смесь и продукты сгорания.

2.2.1.  $M_1 = \alpha l_0 + 1/m_T$ , кмоль/кг.

2.2.2.  $M_1 = \alpha l_0$ , кмоль/кг

2.2.3.  $M_2 = C/12 + \text{H}/2 + (\alpha - 0,21)l_0$ , кмоль/кг.

2.2.4. Коэффициент молекулярного изменения горючей смеси  $\mu_0$  и коэффициент молекулярного изменения рабочей смеси  $\mu$ .

2.2.5.  $\mu = (\mu_0 + \gamma_r)/(1 + \gamma_r)$ , где  $\gamma_r$  – коэффициент остаточных газов, равный  $M_r/M_1$ .

2.3. *Теплота сгорания смеси.*

2.3.1.  $Q_n = 81C_p + 246\text{H}_p - 26(\text{O}_p - \text{S}_p) - 6W_p$  ккал/кг,

2.3.2.  $Q_{\text{см}} = Q_n / \alpha V_0$ , где  $V_0$  — объемное количество воздуха, теоретически необходимое для сгорания 1 кг топлива ( $m^3$  воздуха/кг топлива).

### 3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

3.1. Состав жидких и газообразных топлив. В поршневых двигателях могут применяться следующие топлива:

- жидкие (бензин, керосин, дизельное топливо, мазут, спирт, растительные масла и др.);
- газообразные (природные и сжиженные углеводородные газы, водород, генераторный газ и др.);
- твердые (древесный и каменный уголь и др. в виде суспензий).

Для автомобильных и тракторных двигателей применяются бензин, дизельное и газообразное топлива.

Автомобильные бензины получают путем прямой перегонки и крекинг-процесса нефти. Их основные показатели приведены в табл. 1.

Дизельные топлива для двигателей с воспламенением от сжатия выпускаются следующих марок: Л – летнее (выше 0°C); З – зимнее (до температуры -30°C); А – арктическое (до температуры -50°C) по ГОСТ 305-82; ДЛЭЧ-В, ДЛЭЧ, ДЗЭЧ – экологически чистые по ТУ381011348-90.

Таблица 1

**Автомобильные бензины**

Обозначение	Нормативный документ	Октановое число		Рекомендуемая степень сжатия
		Моторный метод	Исследовательский метод	
АИ-80	ГОСТ Р 51105-97 и ТУ 38.001165-97 (экспортное)	76	80	8,0
АИ-92	ТУ 38.001165-97	85	92	9,2
АИ-95	ГОСТ Р 51105-97	85	95	9,5
АИ-98	ГОСТ Р 51105-97	87	98	10,0

Из газообразных топлив для автомобильных двигателей выпускаются сжатый природный газ (СПГ) и сжиженные нефтяные газы (СНГ) марок: ПБА – пропан-бутан автомобильный; ПА – пропан автомобильный; ЭПА – этан-пропан автомобильный.

Элементарный состав жидких топлив (бензина и дизельного топлива) выражается в долях единицы массы :  $C + H + O = 1$ , где С,

H, O – массовые доли углерода, водорода и кислорода в 1 кг топлива.

Для газообразных топлив элементарный состав выражается в объемных долях:  $\sum C_n H_m O_r + N_2 = 1$ , где  $C_n$ ,  $H_m$ ,  $O_r$  – объемные доли каждого газа, входящего в 1 м<sup>3</sup> или в 1 кмоль газообразного топлива;  $N_2$  – объемная доля азота.

3.2. Реакция горения. Жидкое топливо по своему составу представляет собой соединение трех основных элементов; углерода C, водорода H и кислорода O.

В зависимости от количества кислорода, поступающего в цилиндр двигателя, сгорание топлива может быть полным или неполным. При полном сгорании образуются продукты, состоящие из углекислого газа CO<sub>2</sub>, водяных паров H<sub>2</sub>O, избыточного кислорода в топливе O<sub>2</sub> и азота N<sub>2</sub>, который поступает в цилиндр вместе с воздухом.

В случае неполного сгорания из-за недостатка кислорода часть углерода сгорает полностью и образует углекислый газ CO<sub>2</sub> ( $C + O_2 = CO_2$ ), а часть — не полностью с образованием окиси углерода CO ( $2C + O_2 = 2CO$ ).

При расчете в киломолях (*кмоль*) количество кислорода, теоретически необходимое для сгорания 1 кг топлива, равно

$$C/12 + H/4 - O_T/32, \text{ кмоль/кг}, \quad (1)$$

где  $O_T$  - число *кмоль* кислорода, который содержится в топливе.

В воздухе по объему содержится 21 % кислорода и 79 % азота, по массе, соответственно, 23 % и 77 %. Поэтому количество воздуха в *кмоль*х, теоретически необходимое для сгорания 1 кг топлива,

$$l_0 = 1/0,21(C/12 + H/4 - O_T/32), \text{ кмоль/кг}, \quad (2)$$

Теоретически необходимое количество воздуха  $L_0$ , для сгорания 1 кг топлива:

$$L_0 = 1/0,23(8/3C + 8H - O_T/32), \text{ кг воздуха/кг топлива, (3).}$$

В действительности на каждый кг или  $m^3$  топлива в цилиндр двигателя поступает воздух в количестве, которое отличается от теоретически необходимого. Отношение действительного количества воздуха  $L$  к теоретически необходимому  $L_0$  называют коэффициентом избытка воздуха:

$$\alpha = L/L_0, \text{ (4)}$$

Если коэффициент  $\alpha = 1$ , то полное сгорание топлива (до конечных продуктов окисления) возможно только при идеальном смешении топлива с воздухом, когда каждая частица топлива обеспечена необходимым для ее сгорания количеством кислорода. Поэтому полное сгорание топлива практически возможно только при коэффициенте  $\alpha > 1$ .

Значения коэффициента избытка воздуха  $\alpha$  для автомобильных двигателей при полной подаче топлива колеблются в пределах 0,85 – 1,15 для карбюраторных, 1,1 – 1,3 — для газовых двигателей, 1,2 – 1,7 — для дизелей.

3.3. Горючая смесь и продукты сгорания. Горючая смесь состоит из воздуха и испарившегося топлива. Если молекулярный вес топлива обозначить через  $m_T$ , то количество *кмолей* горючей смеси на 1 кг топлива будет равным:

$$M_I = \alpha L_0 + 1/m_T, \text{ кмолей/кг, (5)}$$

Так как молекулярный вес автомобильного бензина  $m_T = 110...120$ , то при ориентировочных расчетах бензиновых двигателей  $1/m_T$  можно пренебречь.

У дизелей объем топлива, впрыскиваемого в цилиндр, по сравнению с объемом воздуха 0,01 %, и поэтому величину  $1/m_T$  можно не учитывать. Тогда, количество *кмолей* свежего заряда можно определить по формуле:

$$M_1 = a l_0, \text{ кмолей/кг, (6)}$$

Выражение для общего количества продуктов сгорания:

$$M_2 = C/12 + H/2 + (\alpha - 0,21)l_0, \text{ кмолей/кг, (7)}$$

Вес продуктов сгорания равен сумме весов топлива и воздуха до сгорания, но количество *кмолей* продуктов сгорания может быть не равно количеству *кмолей*, свежего заряда.

Изменение количества *кмолей* свежего заряда в результате сгорания определяют как разность:

$$\Delta M = M_2 - M_1, \text{ кмолей (8)}$$

В результате сгорания жидкого топлива объем продуктов сгорания оказывается больше объема свежего заряда.

Изменение объема при сгорании характеризует коэффициент молекулярного изменения горючей смеси  $\mu_0$  - отношение количества *кмолей* продуктов сгорания  $M_2$  к количеству *кмолей* горючей смеси  $M_1$ .

Коэффициент  $\mu_0$  не учитывает влияния остаточных газов. Поэтому введено понятие о коэффициенте молекулярного изменения рабочей смеси  $\mu$ , который представляет собой отношение общего количества *кмолей* газов в цилиндре после сгорания (продукты сгорания  $M_2$  и остаточные газы  $M_T$  от предыдущего цикла) к общему количеству *кмолей* газов до сгорания (горючая смесь  $M_1$  и остаточные газы  $M_T$ ):  $\mu = (M_2 + M_T)/(M_1 + M_T)$ . Разделим полученное выражение на  $M_T$ , и выполнив преобразования получим:

$$\mu = (\mu_0 + \gamma_T)/(1 + \gamma_T), \text{ (9)}$$



где  $\gamma_r$  – коэффициент остаточных газов, равный  $M_r/M_1$ .

Формула действительна для двигателей, работающих как на жидком, так и на газообразном топливе.

Значения коэффициента молекулярного изменения рабочей смеси  $\mu$  находятся в пределах:

для бензиновых двигателей .....1,02—1,12

для дизелей....., .....1,01—1,06.

3.4. Теплота сгорания смеси. Низшую теплоту сгорания жидких и твердых топлив определяют по формуле Д. И. Менделеева:

$$Q_H = 81C_p + 246H_p - 26(O_p - S_p) - 6W_p, \text{ ккал/кг}, \quad (10)$$

где  $C_p$ ,  $H_p$ ,  $O_p$ ,  $S_p$  и  $W_p$  — процентное содержание в топливе отдельных его элементов и воды.

Основным методом определения теплоты сгорания топлива является сжигание его в калориметре.

Мощность двигателей, работающих на различных топливах, зависит от теплоты сгорания смеси топлива и необходимого для сгорания количества воздуха.

Если пренебречь объемом топлива, то теплоту сгорания смеси жидкого топлива с воздухом можно определить по формуле:

$$Q_{см} = Q_H / \alpha V_0, \quad (11)$$

где  $V_0$  — объемное количество воздуха, теоретически необходимое для сгорания 1 кг топлива ( $m^3$  воздуха/кг топлива).

После изучения материала приступить к термохимическому расчету размеров двигателя по приведенным исходным данным, табл. 2.

Последовательность выполнения расчета в табл.3

Таблица 2

Значения параметров, задаваемых для выполнения термохимического расчета на основании конструктивных особенностей проектируемого двигателя

Наименование параметра	Обозначение	Значение для ДВС	
		бензинового	дизеля
Температура окружающей среды, К	$T_o$	293	293
Давление окружающей среды, МПа	$P_o$	0,1	0,1
Температура в цилиндре в начале сжатия, К	$T_a$	337	396
Давление газов в цилиндре в начале сжатия, МПа	$P_a$	0,085	0,125
Коэффициент избытка воздуха	$a$	0,994	1,45
Степень сжатия	$\varepsilon$	10	23
Подогрев свежего заряда от стенок цилиндра	$\Delta T$	10	15
Температура газов на выпуске из цилиндра, К	$T_r$	1050	850
Давление газов на выпуске из цилиндра, МПа	$P_r$	0,11	0,12
Коэффициент, учитывающий неодинаковость теплоемкостей свежего заряда и продуктов сгорания	$\psi$	1,13	1,10
Элементный состав топлива, кг/кг топлива	C	0,855	0,870
	H	0,145	0,126
	O	-	0,004

Таблица 3

Наименование величины	Значение параметров для двигателя	Значение величины для двигателя
Теоретическое количество воздуха, для полного сгорания 1 кг топлива, кмоль		
$l_0 = 1/0,21(C/12 + H/4 - O_r/32)$		
Теоретическое количество воздуха для полного сгорания 1 кг топлива, кг		
$L_0 = 1/0,23(8/3C + 8H - O_r)$		
Количество заряда, поступившего в цилиндр к началу сжатия, кмоль/кг топлива		
$M_1 = a l_0$		
Количество продуктов полного сгорания, кмоль/кг		
$M_2 = C/12 + H/2 + (a - 0,21)l_0$		
Коэффициент остаточных газов		
$\gamma_r = ((T_o + \Delta T)/T_r) * (P_r / (\varepsilon P_o - P_r))$		
Коэффициент наполнения		
$\eta_v = (\varepsilon/(\varepsilon-1)) * (P_a/P_o) * (T_o/(T_a(1 + \gamma_r)))$		

#### 4. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

- 4.1. Привести перечень топлив и составляющих жидких и газообразных автомобильных топлив.
- 4.2. Описать характерные особенности реакции горения топлива.
- 4.3. Объяснить разницу в терминах «горючая смесь» и «рабочая смесь».
- 4.4. Указать выражения для определения низшей теплоты сгорания топлива и теплоты сгорания топлива с воздухом.
- 4.5. Вставить таблицу с результатами термохимического расчета.

#### 5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. *Понятие о рабочих телах, применяемых в ДВС. Состав и основные свойства жидких и газообразных топлив, используемых в ДВС.*
2. *Количество воздуха, теоретически необходимое для полного сгорания топлива. Коэффициент избытка воздуха.*
3. *Теоретический состав и количество продуктов сгорания топлива при избытке и недостатке воздуха.*
4. *Термохимические свойства свежего заряда и продуктов сгорания, их зависимость от состава смеси и от температуры.*
5. *Основные сведения об альтернативных топливах для автомобильных ДВС (газоконденсаты, спирты, эфиры, водород и т.д.).*
6. *Коэффициент остаточных газов и коэффициент наполнения, их связь.*

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Зотов, Л. Л.* Автомобильные двигатели : рабочие процессы [Текст] : учеб. пособие / Л. Л. Зотов. - СПб. : Изд-во СЗТУ, 2006. - 132 с. : ил. Режим доступа: [http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com\\_irbis&view=irbis&Itemid=374&task=st\\_static\\_req&bns\\_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req\\_irb=<I=39%2E3%2F%D0%97%>](http://irbis.spmi.ru/jirbis2/index.php?option=com_irbis&view=irbis&Itemid=374&task=st_static_req&bns_string=NWPIB,ELC,ZAPIS&req_irb=<I=39%2E3%2F%D0%97%>)

## СОДЕРЖАНИЕ

Общие требования к проведению и оформлению самостоятельных работ.....	3
Практическая работа № 1. Общее устройство силовых агрегатов. Принцип действия автомобильного двигателя.....	4
Практическая работа № 2. Определение основных размеров двигателя.....	6
Практическая работа № 3. Расчет и построение внешней скоростной характеристики силового агрегата (двигателя внутреннего сгорания автомобиля).....	12
Практическая работа № 4. Определение порядка работы цилиндров двигателя.....	18
Практическая работа № 5. Термохимический расчет двигателя...	27
Библиографический список.....	36
Содержание.....	37

## **СИЛОВЫЕ АГРЕГАТЫ**

*Методические указания к практическим занятиям  
для студентов бакалавриата направления 23.03.03*

Сост.: *В.Н. Федотов, Э.К. Абдулаев*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой  
транспортно-технологических процессов и машин

Ответственный за выпуск *В.Н. Федотов*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 10.09.2019. Формат 60×84/16.

Усл. печ. л. 2,1. Усл.кр.-отт. 2,1. Уч.-изд.л. 1,9. Тираж 50 экз. Заказ 779. С 278.

Санкт-Петербургский горный университет  
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета  
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2