

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Северо-Кавказский федеральный университет»

# МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторным работам

по дисциплине «Силовые агрегаты»

для студентов направления подготовки

23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов

(Направленность (профиль) «Автомобили и автомобильное хозяйство»)

## СОДЕРЖАНИЕ

|                                                                                               |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>ПРЕДИСЛОВИЕ.....</b>                                                                       | <b>5</b>  |
| <b>ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ.....</b>                                                               | <b>8</b>  |
| 1. Оборудование и приборы испытательной моторной установки, методики, замеров и расчётов..... | 8         |
| 2. Характеристика холостого хода.....                                                         | 15        |
| 3. Регуляторная характеристика дизеля.....                                                    | 18        |
| 4. Регулировочная характеристика по углу опережения зажигания.....                            | 22        |
| 5. Регулировочная характеристика по составу смеси.....                                        | 27        |
| 6. Нагрузочная характеристика.....                                                            | 32        |
| 7. Скоростная характеристика.....                                                             | 36        |
| 8. Исследование рабочего процесса двигателей внутреннего сгорания индицированием.....         | 41        |
| <b>ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ... ..</b>                                                              | <b>57</b> |
| 1. Оценка параметров процессов впуска и сжатия.....                                           | 57        |
| 2. Оценка параметров процесса сгорания.....                                                   | 61        |
| 3. Оценка параметров процессов расширения и выпуска.....                                      | 67        |
| 4. Оценка индикаторных показателей рабочего цикла.....                                        | 71        |
| 5. Оценка эффективных показателей рабочего цикла.....                                         | 71        |
| <b>МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ.....</b>                | <b>81</b> |
| 1. Цель и задача расчетно-графической работы.....                                             | 81        |

|                                                                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2. Содержание и объём расчетно-графической работы.....                                                               | 81 |
| 3. Методика расчета рабочего цикла и показателей работы .....                                                        | 82 |
| 4. Построение индикаторной диаграммы, расчет характеристик,<br>анализ результатов.....                               | 92 |
| 5. Общие требования к оформлению расчетно-графической<br>работы.....                                                 | 94 |
| 6. Рекомендации по организации выполнения расчетно-графической<br>работы, примерный календарный план выполнения..... | 94 |
| 7. Порядок защиты и ответственность студента за выполнение<br>расчетно-графической работы.....                       | 95 |
| ЛИТЕРАТУРА.....                                                                                                      | 96 |
| ПРИЛОЖЕНИЯ.....                                                                                                      | 98 |

## ПРЕДИСЛОВИЕ

---

Современные наземные транспортные средства представляют собой сложные совокупности большого числа механических, электрических, гидравлических, комбинированных систем и агрегатов. Они эксплуатируются при высоких скоростях движения, в сложной дорожной обстановке, большей частью, на неустановившихся режимах, оказывая неблагоприятное экологическое воздействие на окружающую среду. Безопасность движения и экономические показатели использования транспорта определяются многими факторами, в т.ч. организационно-управленческими, технологическими, техническими. Среди последних важное значение имеют различные аспекты получения, преобразования, использования энергии объектами транспорта. Организация и управление производственно-техническими процессами, обеспечивающими безопасность, своевременность, экономичность доставки грузов и пассажиров на практике осуществляется инженерно-техническим персоналом транспортных предприятий, обеспечивающим эффективную техническую подготовку и эксплуатацию подвижного состава.

Силовые агрегаты – важнейшая составляющая наземных транспортных средств, т.к. обеспечивают получение, преобразование, использование энергии для совершения транспортной работы – главной функции подвижного состава.

Знания, полученные в теоретическом курсе и закрепляемые при выполнении курса лабораторных работ, курса практических работ, расчётно-графической работы, обеспечивают возможность глубокого изучения дисциплины в целом как комплекса знаний, степень усвоения и грамотность использования которых определяет эффективность, безопасность, экологичность процессов производства транспортной продукции.

Основные задачи материалов, содержащихся в учебно-методическом пособии:

- изучить режимы и характеристики, мощностные и экономические показатели, требования к силовым агрегатам и их системам с учётом условий эксплуатации как основу, обеспечивающую понимание современного состояния и направления развития транспортных энергетических установок;
- расширить информационную базу для эффективной практической деятельности по организации технической эксплуатации подвижного состава автомобильного транспорта;
- создать условия для углубления и закрепления знаний, являющихся основой развития умений и навыков, способствующих формированию профессиональных компетенций.

В ходе изучения дисциплины «Силовые агрегаты» у обучающегося формируются следующие компетенции:

- (ОК-1) – владеет культурой мышления, способен к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей её достижения;
- (ОК-6) – стремится к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства;
- (ОК-8) – осознаёт социальную значимость своей будущей профессии, обладает высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности;
- (ПК-15) – владеет знаниями технических условий и правил рациональной эксплуатации транспортной техники, причин и последствий прекращения её работоспособности;
- (ПК-17) – способен в составе коллектива исполнителей к анализу передового научно-технического опыта и тенденций развития технологий эксплуатации транспортно-технологических машин и комплексов;
- (ПК-21) – владеет умением изучать и анализировать необходимую информацию, технические данные, показатели и результаты работы по совершенствованию технологических процессов эксплуатации, ремонта и

сервисного обслуживания транспортных и транспортно-технологических машин различного назначения, их агрегатов, систем и элементов, проводить необходимые расчеты, используя современные технические средства.

## ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

---

### 1.ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИБОРЫ ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ МОТОРНОЙ УСТАНОВКИ, МЕТОДИКИ ЗАМЕРОВ И РАСЧЕТОВ

#### 1.1 Цель и содержание работы

Ознакомление с оборудованием и приборами, используемыми при испытаниях ДВС, методикой выполнения замеров и обработки результатов измерений.

Организационная форма занятия - в основу занятия положен метод изучения устройства и характеристик оборудования и приборов тормозной испытательной установки, а также методики проведения экспериментов.

#### 1.2 Методические рекомендации

Основным узлом испытательной установки является электротормоз. Он представляет собой электрическую машину постоянного тока с регулируемой системой возбуждения, работающую при испытаниях генератором с изменяемой внешней нагрузкой. ЭЛЕКТРИЧЕСКИ он связан с городской электросетью через преобразователь тока ( постоянного тока в переменный) и с пультом управления, МЕХАНИЧЕСКИ – с ДВС и с весовым устройством для замера реактивного момента на статоре, равного крутящему моменту ДВС. Для измерения этого момента статор машины имеет возможность поворота вокруг оси ротора, поэтому установлен на основании не жестко, а на двух стойках с подшипниками. На статоре закреплён рычаг с шарниром, через который электротормоз связан с рычажным механизмом весов. Весовой механизм снабжён маятниковым противовесом и удерживает статор от вращения моментом реакции, допуская лишь малые угловые отклонения. Отклонения статора от нейтрального положения пропорциональны этому моменту, который равен измеряемому крутящему моменту ДВС. Весовой механизм связан со стрелкой – указателем крутящего момента,

взаимодействующим с циферблатом, градуированным по окружности в пределах от 0 до 1000 Нм.

Регистрацию крутящего момента  $M_k$  (Н·м) по циферблату производят с точностью до половины меньшего деления. При этом погрешность измерений момента не превышает 0,5 %, что соответствует требованиям. При колебаниях стрелки принимают среднее деление в границах колебаний. Для изменения интенсивности торможения (нагрузки) служит реостат пульта управления, с помощью которого изменяют ток в цепи якоря и обмотке возбуждения. Частоту вращения коленчатого вала ( $n$ ) измеряют в об/мин с помощью дистанционного электрического тахометра типа ТЭ-204 (при настройке режима работы) и с помощью электронного тахометра марки ТЦ-1 при точных измерениях. Ошибка измерения оборотов вала не должна быть более 0,5% от номинального числа оборотов.

Эффективную мощность (кВт), развиваемую двигателем, рассчитывают

по значениям крутящего момента (показаниям тормоза)  $M_K$  и частоты вращения  $n$  вала по уравнению:

$$N_e = \frac{M_k \cdot n}{9550},$$

где  $M_k$  - Н\*м,  $n$  мин<sup>-1</sup>.

Среднее эффективное давление для четырехтактного двигателя, имеющего  $i$  цилиндров и литраж цилиндра  $V_h$  :

$$p_e = \frac{120 \cdot N_e}{i \cdot V_h \cdot n},$$

где  $i \cdot V_h$  – в литрах,  $n$  – об/мин,  $N_e$  – кВт,  $p_e$  – МПа.

Для определения расходов топлива при испытании двигателя измеряют расход  $\Delta g$  топлива (г) за опыт с помощью весового устройства с трехходовым краном и время опыта  $\tau$  (с). Точность замеров 0,5 %. Схему

весового устройства приводят в отсчете. Расчетная формула для часового (кг/ч) расхода топлива:

$$G_T = 3,6 \Delta g / \tau .$$

Удельный эффективный расход топлива (г/(кВт·ч)) рассчитывают по формуле:

$$g_e = \frac{G_T \cdot 1000}{N_e} .$$

Удельный цикловой расход топлива (мг/(цикл·литр)) рассчитывают по формуле:

$$G_{уд.ц} = \frac{G_T \cdot 10^6}{30 \cdot n \cdot i \cdot V_h} .$$

Плотность воздуха (кг/м<sup>3</sup>) рассчитывают по замеренному барометрическому давлению  $B$  (мм рт. ст.) и температуре  $t$ , °С воздуха в лаборатории по уравнению:

$$p_B = \frac{B}{273 + t} \cdot 0,465 .$$

Расход воздуха за опыт измеряют с помощью ротационного счетчика РС-600, а время опыта – секундомером. Обеспечиваемая точность 2 %. При замерах определяют время (с) расходования нескольких (5 – 7) кубометров воздуха.

Часовой расход воздуха находят из выражения:

$$G_B = 3600 Q p_B / \tau ,$$

где  $Q$  – расход воздуха за опыт, м<sup>3</sup>;

$p_B$  – плотность воздуха на впуске, кг/м<sup>3</sup>;

$\tau$  – время опыта, с.

Коэффициент *наполнения*  $\eta_V$  подсчитывается по формуле:

$$\eta_V = G_B / G_{BT} ,$$

где  $G_{BT} = 0,03iV_h n p_B$  – теоретический расход воздуха в двигателе, (кг/ч),  
 $iV_h$  – литраж двигателя (в литрах).

Коэффициент избытка воздуха  $a$  рассчитывают, зная  $I_0$  – теоретически необходимое количество воздуха для полного сгорания используемого топлива.

Расчетное уравнение:  $a = G_B / (I_0 G_T)$ .

Для бензина  $I_0 = 14,9$

Для дизтоплива  $I_0 = 14,35$ .

Индикаторный  $\eta_i$ , механический  $\eta_m$  и эффективный  $\eta_e$  КПД двигателя подсчитывают по формулам:

$$\eta_e = \frac{3600 \cdot N_i}{G_T \cdot H_u}; \quad \eta_m = \frac{N_e}{N_i};$$

$$\eta_e = \frac{3600 \cdot N_e}{G_T \cdot H_u}; \quad \eta_e = \eta_i \cdot \eta_m,$$

где  $H_u = 44000$  – низшая теплота сгорания, кДж/кг,

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

### 1.3 Аппаратура, оборудование и материалы

Типовые испытания двигателей и обработка результатов проводятся в соответствии с требованиями ГОСТа 14806-89.

Для проведения испытаний автомобильный двигатель установлен на специально оборудованном испытательном тормозном стенде и соединён с приспособлением для торможения, в качестве которого используется универсальный электрический тормоз, оборудованный весовым устройством для замера крутящего момента и реостатом для изменения тормозной нагрузки тока в цепи якоря и в обмотке возбуждения. Испытательный стенд оборудован системами топливо и воздухоизоляция охлаждения и отвода

продуктов сгорания. Кроме того, установка имеет все приборы и механизмы для обеспечения нормальной работы двигателя, производства требуемых измерений контроля за нормальным состоянием двигателя в соответствии с ГОСТ 14846-81.

#### **1.4 Указания по технике безопасности.**

1. Безопасную работу организуют преподаватель и инженер лаборатории, проводящие испытания.
2. При проведении испытаний каждый студент должен находиться только на своем рабочем месте и выполнять действия, предписанные инструкцией.
3. Соблюдать осторожность при нахождении вблизи выхлопного коллектора и выпускных труб во избежание ожогов.
4. Точно выполнять инструкции руководителя испытаний.
5. Все приводные и соединительные устройства, вращающиеся детали должны иметь надежное ограждение. Скорость вращения ротора не должна превышать допустимую по паспорту.
6. Не допускается работа испытательной установки, при подтеканиях топлива, масла и воды, а также при утечках отработанных газов через неплотности в соединениях.
7. Двигатель, тормозная установка и рабочее место у тормозного стенда должны содержаться в чистоте.
8. Запас топлива должен находиться только в расходном топливном баке.
9. Соблюдать особую осторожность, при пользовании электрическими приборами. Следить за исправностью пульта, заземления стендов, проводников тока.
10. Прекратить работу и принять меры к предупреждению аварий и пожара (выключить зажигание или топливopодачу в двигателе, обесточить установку) в случае обнаружения неисправности электрооборудования стенда.

11. Предупредить в случае необходимости распространение пламени (огнетушителем, песком и т.п.), покинуть помещение, вызвать пожарную команду.

12. Запрещается хранение топлива и масла в дополнительных емкостях (баках, флягах, бидонах и др.) в помещении лаборатории.

13. Запрещается в помещении лаборатории пользоваться открытым огнем (факелы, фонари и паяльные лампы.)

14. Запрещается вращение вентиляей, передвижение рычагов, включение рубильников без указания преподавателя или инженера.

15. Запрещается работа стенда при неисправной принудительной приточно-вытяжной вентиляции.

### **1.5 Методика и порядок выполнения работы**

Типовые испытания двигателей и обработка результатов проводятся в соответствии с требованиями ГОСТа 14806–89. Студент допускается к работам после инструктажа по технике безопасности, регистрируемого в журнале. Лабораторные работы проводятся по подгруппам с одновременным участием всех студентов подгруппы в выполнении одной работы. При этом студент выполняет замеры на одном из шести рабочих постов.

К выполнению замеров приступают после того, как двигатель прогреет до оптимального теплового состояния. Режим работы на каждой заданной точке характеристики должен быть установившимся. Один гудок звукового сигнала, подаваемый руководителем испытаний, служит командой для произведения замеров на всех постах. Длительность периода замеров около одной минуты. После этого следует команда «конец замеров», чему соответствует два последовательных гудка. Этот сигнал служит также командой к изменению режима двигателя для перехода к очередной точке снимаемой характеристики. После стабилизации режима на новой точке снова следует команда «замер». В рамках лабораторной работы №1

подгруппа выполняет замеры лишь на двух режимах т.к. целью является знакомство с методикой выполнения замеров и обработки их результатов.

### **1.6 Содержание отчета, его форма и правила оформления.**

В отчете, оформленном на листах формата А4, приводят номер и наименование лабораторной работы, ее цель, описание испытательной установки, краткую методику испытаний, схему устройства или прибора, использованного студентом на рабочем посту, формулы, используемые для обработки результатов замеров, а также полученные значения  $N_e$ ,  $p_e$ ,  $g_e$ ,  $\eta_e$ ,  $\eta_v$  и т.д.

### **1.7 Задания и вопросы для формирования и контроля владения компетенциями.**

1. Какие параметры работы двигателя определяются непосредственным измерением?
2. Какие параметры работы двигателя необходимы для оценки:
  - а) мощности?
  - б) экономичности?
  - в) часового расхода воздуха?
  - г) коэффициента наполнения?
3. Какой метод используется при оценке  $G_T$  ?
4. Какой метод используется при оценке  $G_B$  ?
5. В результате чего возникает момент сопротивления вращения коленчатого вала?
6. Какие системы обеспечивают работу двигателя при испытаниях?
7. Каким показателем оценивается экономичность при испытаниях?

**Список литературы [1,2,3,4,5]**

## **2.ХАРАКТЕРИСТИКА ХОЛОСТОГО ХОДА**

### **2.1 Цель и содержание работы**

Установление характера изменения зависимости показателей работы ДВС от частоты вращения при отсутствии внешней нагрузки, экспериментальное получение характеристики, обработка, графическое представление и анализ результатов.

Организационная форма занятия – в основу занятия положен метод экспериментального определения показателей работы силового агрегата с помощью приборов и оборудования тормозной испытательной установки.

### **2.2 Методические рекомендации**

Графически представленные зависимости часового расхода топлива ( $G_T$ ), воздуха ( $G_B$ ) коэффициента наполнения ( $\eta_v$ ), коэффициента избытка воздуха ( $\alpha$ ), удельного циклового расхода топлива ( $G_{т.ц.уд.}$ ) от частоты вращения называется характеристикой холостого хода. Она позволяет оценить влияние положения органа определяющего величину подачи топлива на вышеперечисленные показатели. Условиями получения характеристики являются оптимальность теплового режима и отсутствие внешней нагрузки, а значит и отсутствие эффективной работы снимаемой с коленчатого вала.

### **2.3 Аппаратура, оборудование и материалы**

Типовые испытания двигателей и обработка результатов проводятся в соответствии с требованиями ГОСТа 14806-89.

Для проведения испытаний автомобильный двигатель установлен на специально оборудованном испытательном тормозном стенде и соединён с приспособлением для торможения, в качестве которого используется универсальный электрический тормоз, оборудованный весовым устройством для замера крутящего момента и реостатом для изменения тормозной нагрузки тока в цепи якоря и в обмотке возбуждения. Испытательный стенд

оборудован системами топливо и воздухоизоляция охлаждения и отвода продуктов сгорания. Кроме того, установка имеет все приборы и механизмы для обеспечения нормальной работы двигателя, производства требуемых измерений контроля за нормальным состоянием двигателя в соответствии с ГОСТ 14846-81.

#### **2.4 Указания по технике безопасности.**

1. Безопасную работу организуют преподаватель и инженер лаборатории, проводящие испытания.
2. При проведении испытаний каждый студент должен находиться только на своем рабочем месте и выполнять действия, предписанные инструкцией.
3. Соблюдать осторожность при нахождении вблизи выхлопного коллектора и выпускных труб во избежание ожогов.
4. Точно выполнять инструкции руководителя испытаний.
5. Все приводные и соединительные устройства, вращающиеся детали должны иметь надежное ограждение. Скорость вращения ротора не должна превышать допустимую по паспорту.
6. Не допускается работа испытательной установки, при подтеканиях топлива, масла и воды, а также при утечках отработанных газов через неплотности в соединениях.
7. Двигатель, тормозная установка и рабочее место у тормозного стенда должны содержаться в чистоте.
8. Запас топлива должен находиться только в расходном топливном баке.
9. Соблюдать особую осторожность, при пользовании электрическими приборами. Следить за исправностью пульта, заземления стендов, проводников тока.
10. Прекратить работу и принять меры к предупреждению аварий и пожара (выключить зажигание или топливоподачу в двигателе, обесточить

установку) в случае обнаружения неисправности электрооборудования стенда.

11. Предупредить в случае необходимости распространение пламени (огнетушителем, песком и т.п.), покинуть помещение, вызвать пожарную команду.

12. Запрещается хранение топлива и масла в дополнительных емкостях (баках, флягах, бидонах и др.) в помещении лаборатории.

13. Запрещается в помещении лаборатории пользоваться открытым огнем (факелы, фонари и паяльные лампы.)

14. Запрещается вращение вентиляей, передвижение рычагов, включение рубильников без указания преподавателя или инженера.

15. Запрещается работа стенда при неисправной принудительной приточно-вытяжной вентиляции.

## **2.5 Методика и порядок выполнения работы**

После прогрева двигателя до оптимальной температуры устанавливается режим  $n=600 \text{ мин}^{-1}$ ,  $M_e=0$ . После стабилизации режима по команде руководителя испытание одновременно на всех постах выполняются замеры (см. лабораторную работу 1). После окончания замеров в первом опыте, изменением положения органа, определяющего подачу топлива устанавливается режим  $n=800 \text{ мин}^{-1}$ ,  $M_e=0$ , на котором также выполняются замеры. Для получения характеристики последовательно выполняют замеры в 7–8 опытах в диапазоне  $600 - 1800 \text{ мин}^{-1}$

## **2.6 Содержание отчета, его форма и правила оформления.**

В отчёте выполненном на листах формата А4 указывают номер и название лабораторной работы, её цель, определение, условия и метод получения характеристики, протокол испытания, графики  $G_T(n)$ ,  $G_B(n)$ ,  $\eta_v(n)$ ,  $\alpha(n)$ ,  $G_{т.ц.уд}(n)$ . Сущность анализа характеристики состоит в объяснении причин конкретного изменения каждой из представленных графически

зависимостей. Кроме того значения коэффициентов наполнения и избытка воздуха сравниваются с приведёнными в литературе для аналогичных двигателей, на основании чего формулируется заключение о состоянии систем топливоподачи и воздухоподачи.

## **2.7 Задания и вопросы для формирования и контроля владения компетенциями.**

1. В чём состоит цель получения характеристики?
2. В чём состоит условие получения характеристики?
3. В чём состоит методика получения характеристики?
4. Каким образом и почему изменяется  $G_T$ ?
5. Каким образом и почему изменяется  $G_B$ ?
6. Каким образом и почему изменяется  $G_{T.ц.уд}$ ?
7. Каким образом и почему изменяется  $\eta_v$ ?
8. Каким образом и почему изменяется  $\alpha$ ?
9. Чему равна эффективная работа, снимаемая с коленчатого вала?
10. На что затрачивается индикаторная мощность, развиваемая газами внутри цилиндра?

**Список литературы [1,2,3,4,5]**

## **3.РЕГУЛЯТОРНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИЗЕЛЯ**

### **3.1 Цель и содержание работы**

Исследование зависимостей мощностных и экономических показателей работы ДВС от нагрузки при работе на регуляторе, снятие и обработка регуляторной характеристики, обработка и анализ результатов.

Организационная форма занятия – в основу занятия положен метод экспериментального определения показателей работы силового агрегата с помощью приборов и оборудования тормозной испытательной установки.

### **3.2 Методические рекомендации**

Регуляторной характеристикой называется совокупность графически изображенных зависимостей основных показателей работы двигателя (частота вращения вала, часовой и удельный расходы топлива, коэффициенты избытка воздуха и наполнения) от мощности. Она является разновидностью нагрузочной характеристики, отличается от нее тем, что скорость вращения коленчатого вала задается автоматически всережимным механическим регулятором и потому не остается строго постоянной. С ростом нагрузки она несколько снижается, что определяется степенью нечувствительности регулятора.

### **3.3 Аппаратура, оборудование и материалы**

Типовые испытания двигателей и обработка результатов проводятся в соответствии с требованиями ГОСТа 14806-89.

Для проведения испытаний автомобильный двигатель установлен на специально оборудованном испытательном тормозном стенде и соединён с приспособлением для торможения, в качестве которого используется универсальный электрический тормоз, оборудованный весовым устройством для замера крутящего момента и реостатом для изменения тормозной нагрузки тока в цепи якоря и в обмотке возбуждения. Испытательный стенд оборудован системами топливо и воздухоизоляция охлаждения и отвода продуктов сгорания. Кроме того, установка имеет все приборы и механизмы для обеспечения нормальной работы двигателя, производства требуемых измерений контроля за нормальным состоянием двигателя в соответствии с ГОСТ 14846-81.

### **3.4 Указания по технике безопасности.**

1. Безопасную работу организуют преподаватель и инженер лаборатории, проводящие испытания.
2. При проведении испытаний каждый студент должен находиться только на своем рабочем месте и выполнять действия, предписанные инструкцией.
3. Соблюдать осторожность при нахождении вблизи выхлопного коллектора и выпускных труб во избежание ожогов.
4. Точно выполнять инструкции руководителя испытаний.
5. Все приводные и соединительные устройства, вращающиеся детали должны иметь надежное ограждение. Скорость вращения ротора не должна превышать допустимую по паспорту.
6. Не допускается работа испытательной установки, при подтеканиях топлива, масла и воды, а также при утечках отработанных газов через неплотности в соединениях.
7. Двигатель, тормозная установка и рабочее место у тормозного стенда должны содержаться в чистоте.
8. Запас топлива должен находиться только в расходном топливном баке.
9. Соблюдать особую осторожность, при пользовании электрическими приборами. Следить за исправностью пульта, заземления стендов, проводников тока.
10. Прекратить работу и принять меры к предупреждению аварий и пожара (выключить зажигание или топливоподачу в двигателе, обесточить установку) в случае обнаружения неисправности электрооборудования стенда.
11. Предупредить в случае необходимости распространение пламени (огнетушителем, песком и т.п.), покинуть помещение, вызвать пожарную команду.
12. Запрещается хранение топлива и масла в дополнительных емкостях (баках, флягах, бидонах и др.) в помещении лаборатории.

13. Запрещается в помещении лаборатории пользоваться открытым огнем (факелы, фонари и паяльные лампы.)

14. Запрещается вращение вентиляей, передвижение рычагов, включение рубильников без указания преподавателя или инженера.

15. Запрещается работа стенда при неисправной принудительной приточно-вытяжной вентиляции.

### **3.5 Методика и порядок выполнения работы**

На нормально прогретом двигателе при снятой внешней тормозной нагрузке задают скорость коленчатого вала на холостом ходу (например, 1300 об/мин). После кратковременной выдержки (около 1 мин) одновременно на всех постах производят замеры параметров. Когда все замеры выполнены, подают сигнал конца опыта. После того устанавливают новый режим работы путем нагружения двигателя внешней тормозной нагрузкой до 50 Нм (ориентировочно). После выдержки и стабилизации режима подают сигнал и производят все замеры. Результаты замера на каждом посту заносят в рабочий протокол. Таким образом, проводят 8–10 опытов, ступенчато увеличивая тормозную нагрузку до максимальной, при которой частота вращения коленчатого вала достигает минимальной устойчивой частоты, равной примерно 600 об/мин. При этом необходимо зафиксировать показания тахометра, соответствующие достижению наибольшего значения крутящего момента и началу резкого уменьшения оборотов вала при последующем увеличении нагрузки. Для завершения испытаний уменьшают нагрузку до холостого хода и производят остановку ДВС.

На основании рабочих протоколов заполняют индивидуальный протокол испытаний. На основании опытных и полученных расчетом данных строят графики, используемые для объяснения причин и закономерностей изменения основных показателей работы по заданной характеристике.

### 3.6 Содержание отчета, его форма и правила оформления.

В отчете, оформленном на листах формата А4, приводят номер и наименование лабораторной работы, ее цель, определение, условия и методику получения характеристики, протокол испытаний, графики –  $M_c(p_c)$ ,  $g_c(p_c)$ ,  $n_e(p_e)$ ,  $G_T(p_e)$ ,  $\alpha(p_e)$ ,  $\eta_e(P_c)$ . В заключение представляется анализ полученной характеристики, в котором сравнивают характеристику с аналогами, объясняют полученные закономерности и экстремальные значения параметров и делают вывод о качествах двигателя и возможностях его использования в эксплуатации.

### 3.7 Задания и вопросы для формирования и контроля владения компетенциями.

1. В чем состоит цель снятия характеристики?
2. В чем состоит методика снятия характеристики?
3. В чем состоит условие снятия характеристики?
4. Как изменяется частота вращения коленчатого вала?
5. В чем состоит причина увеличения  $M$
6. Каково отношение между величинами  $M_e$ ,  $M_c$  при  $n = const$  ?
7. Как и почему изменяется  $g_c$  нагрузки?
8. Каким образом и почему изменяется  $\alpha$ ?

Список литературы [1,2,3,4,5]

## 4. РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПО УГЛУ ОПЕРЕЖЕНИЯ ЗАЖИГАНИЯ

### 4.1 Цель и содержание работы

Выявление степени влияния угла опережения зажигания на мощность и экономичность двигателя, выбор оптимального угла опережения зажигания для заданного режима работы двигателя, обоснование необходимости

регулирования угла при изменении режима работы, снятие и обработка характеристики, обработка и анализ результатов.

Организационная форма занятия – в основу занятия положен метод решения проблемных ситуаций при экспериментальном определении показателей работы силового агрегата с помощью приборов и оборудования тормозной испытательной установки.

#### **4.2 Методические рекомендации**

Регулировочной характеристикой по углу опережения зажигания называется совокупность графически изображенных зависимостей эффективной мощности, часового и удельного эффективного расходов топлива от угла опережения зажигания.

Условиями снятия характеристики являются: постоянство открытия дроссельной заслонки, постоянство числа оборотов, для каждой опытной точки, постоянство и нормальность теплового режима двигателя.

В условиях эксплуатации двигателя большое значение имеет правильная установка момента зажигания и возможность автоматического регулирования его в зависимости от изменения числа оборотов или от нагрузки.

#### **4.3 Аппаратура, оборудование и материалы**

Типовые испытания двигателей и обработка результатов проводятся в соответствии с требованиями ГОСТа 14806-89.

Для проведения испытаний автомобильный двигатель установлен на специально оборудованном испытательном тормозном стенде и соединён с приспособлением для торможения, в качестве которого используется универсальный электрический тормоз, оборудованный весовым устройством для замера крутящего момента и реостатом для изменения тормозной нагрузки тока в цепи якоря и в обмотке возбуждения. испытательный стенд

оборудован системами топливо и воздухоизоляция охлаждения и отвода продуктов сгорания. Кроме того, установка имеет все приборы и механизмы для обеспечения нормальной работы двигателя, производства требуемых измерений контроля за нормальным состоянием двигателя в соответствии с ГОСТ 14846-81.

#### **4.4 Указания по технике безопасности.**

1. Безопасную работу организуют преподаватель и инженер лаборатории, проводящие испытания.
2. При проведении испытаний каждый студент должен находиться только на своем рабочем месте и выполнять действия, предписанные инструкцией.
3. Соблюдать осторожность при нахождении вблизи выхлопного коллектора и выпускных труб во избежание ожогов.
4. Точно выполнять инструкции руководителя испытаний.
5. Все приводные и соединительные устройства, вращающиеся детали должны иметь надежное ограждение. Скорость вращения ротора не должна превышать допустимую по паспорту.
6. Не допускается работа испытательной установки, при подтеканиях топлива, масла и воды, а также при утечках отработанных газов через неплотности в соединениях.
7. Двигатель, тормозная установка и рабочее место у тормозного стенда должны содержаться в чистоте.
8. Запас топлива должен находиться только в расходном топливном баке.
9. Соблюдать особую осторожность, при пользовании электрическими приборами. Следить за исправностью пульта, заземления стендов, проводников тока.
10. Прекратить работу и принять меры к предупреждению аварий и пожара (выключить зажигание или топливоподачу в двигателе, обесточить

установку) в случае обнаружения неисправности электрооборудования стенда.

11. Предупредить в случае необходимости распространение пламени (огнетушителем, песком и т.п.), покинуть помещение, вызвать пожарную команду.

12. Запрещается хранение топлива и масла в дополнительных емкостях (баках, флягах, бидонах и др.) в помещении лаборатории.

13. Запрещается в помещении лаборатории пользоваться открытым огнем (факелы, фонари и паяльные лампы.)

14. Запрещается вращение вентиляей, передвижение рычагов, включение рубильников без указания преподавателя или инженера.

15. Запрещается работа стенда при неисправной принудительной приточно-вытяжной вентиляции.

#### **4.5 Методика и порядок выполнения работы**

На прогретом двигателе плавным открытием дросселя и одновременным увеличением нагрузки устанавливают заданное число оборотов. При этом угол опережения зажигания устанавливается автоматом. Затем плавным перемещением рычага-управления, связанного с корпусом, поворачивают корпус прерывателя-распределителя вокруг оси так, чтобы угол опережения зажигания был равен нулю. При этом, уменьшая тормозную нагрузку, сохраняют заданное число оборотов.

После установления режима производят замеры на первой опытной точке. Снятие второй опытной точки осуществляют после увеличения угла опережения зажигания на 5–8 градусов. Для этого корпус прерывателя поворачивают против вращения кулачка. Обороты двигателя при этом несколько возрастут, поэтому для поддержания заданной скорости вала нагрузку увеличивают. Замеры производят после 2–3 минутной выдержки на установившемся режиме. Затем увеличение угла опережения зажигания производят опять не более чем на 5...8° п.к.в. по сравнению с предыдущим

его значением. Общее количество опытных точек ограничивается после перегиба кривой мощности появлением детонационных стуков в двигателе, что обязательно отмечается на регулировочной характеристике. О правильности методики снятия характеристики в процессе испытаний можно судить по постоянству расхода топлива (воздуха) за опыт неизменной длительности. Результаты замеров заносят в протокол характеристики и дополняют расчетами остальных параметров. Как вариант регулировочную характеристику по углу опережения зажигания получают с помощью ЭВМ, распечатку характеристики используют в качестве протокола испытаний, строят графики и проводят анализ результатов. При сравнении характеристики с аналогами обращают внимание на сходство или различие расчётной и экспериментальной характеристик.

#### **4.6 Содержание отчета, его форма и правила оформления.**

В отчете, оформленном на листах формата А4, приводят номер и наименование лабораторной работы, ее цель, определение, условия и методику получения характеристики, протокол испытаний, графики –  $N_e = (\theta)$ ,  $g_e = (\theta)$ . В заключение представляется анализ в котором необходимо объяснить характер и причины изменения мощности и удельного расхода топлива при изменении угла опережения зажигания, выбрать оптимальный угол зажигания. Кроме того, надо указать, как изменится величина оптимального угла опережения зажигания, если: а) изменить частоту вращения вала, б) изменить угол открытия дроссельной заслонки.

#### **4.7 Задания и вопросы для формирования и контроля владения компетенциями.**

1. В чем состоит цель снятия характеристики?
2. В чем состоит методика снятия характеристики?
3. В чем состоит условие снятия характеристики?
4. Какой угол опережения зажигания называется оптимальным?

5. Как влияет на величину  $\Theta_{\text{ОПТ}}$  изменение скоростного режима?

6. Как влияет на величину  $\Theta_{\text{ОПТ}}$  изменение нагрузочного режима?

**Список литературы [1,2,3,4,5]**

## **5. РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПО СОСТАВУ СМЕСИ**

### **5.1 Цель и содержание работы**

Выявление характера и степени влияния состава смеси на мощность и экономичность двигателя, определение целесообразных пределов изменения  $a$  при регулировке карбюратора для заданного режима работы двигателя, снятие и обработка характеристики, обработка и анализ результатов.

Организационная форма занятия – в основу занятия положен метод решения проблемных ситуаций при экспериментальном определении показателей работы силового агрегата с помощью приборов и оборудования тормозной испытательной установки.

### **5.2 Методические рекомендации**

Характеристикой по составу смеси называется совокупность графически избранных зависимостей эффективной мощности двигателя  $N_e$  и удельного эффективного расхода топлива  $g_e$  от часового расхода топлива  $G_T$  (или от коэффициента избытка воздуха  $a$ ).

Снятие серии характеристик по составу смеси на различных режимах работы двигателя позволяет определить оптимальную характеристику карбюратора и проверить соответствие работы карбюратора этой характеристике. Условиями снятия характеристики являются: постоянство открытия дроссельной заслонки, постоянство числа оборотов, оптимальный угол опережения зажигания для каждой опытной точки, постоянство и нормальность теплового режима двигателя.

Переменным является состав смеси, изменяемый путем вращения регулировочной иглы, установленной в корпусе карбюратора напротив главного жиклера. Вследствие изменения проходного сечения жиклера изменяется часовой расход топлива, при неизменном расходе воздуха состав смеси изменяется в соответствии с заданным положением регулировочной иглы, регистрируемым при замерах.

### **5.3 Аппаратура, оборудование и материалы**

Типовые испытания двигателей и обработка результатов проводятся в соответствии с требованиями ГОСТа 14806-89.

Для проведения испытаний автомобильный двигатель установлен на специально оборудованном испытательном тормозном стенде и соединён с приспособлением для торможения, в качестве которого используется универсальный электрический тормоз, оборудованный весовым устройством для замера крутящего момента и реостатом для изменения тормозной нагрузки тока в цепи якоря и в обмотке возбуждения. Испытательный стенд оборудован системами топливо и воздухоизоляция охлаждения и отвода продуктов сгорания. Кроме того, установка имеет все приборы и механизмы для обеспечения нормальной работы двигателя, производства требуемых измерений контроля за нормальным состоянием двигателя в соответствии с ГОСТ 14846-81.

### **5.4 Указания по технике безопасности.**

1. Безопасную работу организуют преподаватель и инженер лаборатории, проводящие испытания.
2. При проведении испытаний каждый студент должен находиться только на своем рабочем месте и выполнять действия, предписанные инструкцией.
3. Соблюдать осторожность при нахождении вблизи выхлопного коллектора и выпускных труб во избежание ожогов.

4. Точно выполнять инструкции руководителя испытаний.
5. Все приводные и соединительные устройства, вращающиеся детали должны иметь надежное ограждение. Скорость вращения ротора не должна превышать допустимую по паспорту.
6. Не допускается работа испытательной установки, при подтеканиях топлива, масла и воды, а также при утечках отработанных газов через неплотности в соединениях.
7. Двигатель, тормозная установка и рабочее место у тормозного стенда должны содержаться в чистоте.
8. Запас топлива должен находиться только в расходном топливном баке.
9. Соблюдать особую осторожность, при пользовании электрическими приборами. Следить за исправностью пульта, заземления стендов, проводников тока.
10. Прекратить работу и принять меры к предупреждению аварий и пожара (выключить зажигание или топливоподачу в двигателе, обесточить установку) в случае обнаружения неисправности электрооборудования стенда.
11. Предупредить в случае необходимости распространение пламени (огнетушителем, песком и т.п.), покинуть помещение, вызвать пожарную команду.
12. Запрещается хранение топлива и масла в дополнительных емкостях (баках, флягах, бидонах и др.) в помещении лаборатории.
13. Запрещается в помещении лаборатории пользоваться открытым огнем (факелы, фонари и паяльные лампы.)
14. Запрещается вращение вентиляей, передвижение рычагов, включение рубильников без указания преподавателя или инженера.
15. Запрещается работа стенда при неисправной принудительной приточно-вытяжной вентиляции.

### 5.5 Методика и порядок выполнения работы

Ввод двигателя в режим осуществляется следующим образом: плавно и медленно открывая дроссельную заслонку до заданного положения, одновременно изменяют тормозную нагрузку, добиваясь заданного значения  $n$ . Медленно заворачивая регулировочную иглу системы топливоподачи и одновременно уменьшая тормозную нагрузку, добиваются максимального обеднения смеси при условии устойчивой работы двигателя при заданном числе оборотов. После этого подбирают наивыгоднейшее значение угла опережения зажигания (ориентируясь по изменениям числа оборотов и добиваясь максимума оборотов). На установившемся режиме первой опытной точки испытания (наиболее обедненная смесь) производят замеры. Далее обогатить смесь поворотом иглы против часовой стрелки. Установить заданные обороты двигателя путем изменения тормозной нагрузки. Затем подобрать оптимальное зажигание и с помощью тормозного устройства окончательно установить заданные обороты; дать выдержку 2–3 мин. и произвести замеры. Следующие замеры производить каждый раз, обогащая смесь поворотом регулировочной иглы против часовой стрелки примерно на  $60^\circ$ . Испытания прекращают при уменьшении показания тормоза после достижения его максимального значения. Как вариант регулировочную характеристику по составу смеси получают с помощью ЭВМ. Распечатку характеристики используют в качестве протокола испытаний, строят графики и проводят анализ результатов. При сравнении характеристики с аналогами обращают внимание на сходство или различие расчётной и экспериментальной характеристик.

### 5.6 Содержание отчета, его форма и правила оформления.

В отчёте, оформленном на листах формата А4 приводят номер и наименование лабораторной работы, ее цель, определение, условия и методику получения характеристики, протокол испытаний, графики –  $N_e(a)$ ,  $g_e(a)$  или  $N_e(G_T)$ ,  $g_e(G_T)$ .

Анализируя полученную характеристику, надо отметить два конкретных характерных значения часового расхода топлива:  $G_{T1}$  и  $G_{T2}$ , соответствующих минимальному удельному расходу топлива и максимальной мощности. При первом значении расхода двигатель работает на бедной смеси  $\alpha_{э.к.}$ , топливо сгорает полнее, но при меньших скоростях и потому мощность меньше максимальной при данном числе оборотов. Вторым расход топлива соответствует работе двигателя на более богатой смеси  $\alpha_m$ . В этом случае сгорание происходит быстрее и двигатель развивает максимальную мощность, но при некотором ухудшении экономичности. В эксплуатации на обследуемом режиме работы расход топлива должен быть в пределах, ограниченных этими характерными значениями расхода. Выполняя анализ необходимо установить мощностной и экономический составы горючей смеси, соответствующие этим расходам, и сравнить их с требуемыми значениями коэффициента избытка воздуха для однотипных двигателей на подобном режиме. Мощностной и экономический составы смеси, называемые пределами эффективного (целесообразного) обогащения и обеднения смеси определяют зону реальных регулировок системы топливоподачи:  $\alpha_m \leq \alpha \leq \alpha_{э.к.}$ .

Как вариант регулировочную характеристику по составу смеси получают с помощью ЭВМ. Распечатку характеристики используют в качестве протокола испытаний, строят графики и проводят анализ результатов. При сравнении характеристики с аналогами обращают внимание на сходство или различие расчетной и экспериментальной характеристик.

### **5.7 Задания и вопросы для формирования и контроля владения компетенциями.**

1. В чем состоит цель снятия характеристики?
2. В чем состоит методика снятия характеристики?
3. В чем состоит условие снятия характеристики?

4. Какой состав смеси называется экономичным?
5. Какой состав смеси называется мощностным?
6. Внутри каких пределов лежит зона реальных регулировок карбюратора?
7. В области каких смесей и почему находится  $\alpha_m$ ?
8. В области каких смесей и почему находится  $\alpha_{эк}$ ?

**Список литературы [1,2,3,4,5]**

## **6. НАГРУЗОЧНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА**

### **6.1 Цель и содержание работы**

Изучение влияния нагрузки на величину основных показателей работы двигателя, изучение особенностей рабочего процесса двигателя с искровым зажиганием при различном наполнении цилиндров свежим зарядом, получение характеристики установленной на двигателе системы топливоподачи и определение ее соответствия требованиям, снятие и обработка характеристики, обработка и анализ результатов.

Организационная форма занятия – в основу занятия положен метод экспериментального определения показателей работы силового агрегата с помощью приборов и оборудования тормозной испытательной установки.

### **6.2 Методические рекомендации**

Графически изображенная зависимость основных показателей двигателя – часового и удельного эффективного расхода топлива, коэффициента избытка воздуха и др. от нагрузки, характеризуемой мощностью, или средним эффективным давлением называется нагрузочной характеристикой.

В условиях эксплуатации двигатель работает по нагрузочной характеристике, когда, например, автомобиль движется с некоторой

постоянной скоростью по дороге с переменным сопротивлением на неизменной передаче. При переходе к более тяжелой дороге для сохранения прежней скорости движения (того же числа оборотов коленчатого вала) необходимо дополнительно открыть дроссельную заслонку, т.е. увеличить мощность, и наоборот.

### **6.3 Аппаратура, оборудование и материалы**

Типовые испытания двигателей и обработка результатов проводятся в соответствии с требованиями ГОСТа 14806-89.

Для проведения испытаний автомобильный двигатель установлен на специально оборудованном испытательном тормозном стенде и соединён с приспособлением для торможения, в качестве которого используется универсальный электрический тормоз, оборудованный весовым устройством для замера крутящего момента и реостатом для изменения тормозной нагрузки тока в цепи якоря и в обмотке возбуждения. Испытательный стенд оборудован системами топливо и воздухоизоляция охлаждения и отвода продуктов сгорания. Кроме того, установка имеет все приборы и механизмы для обеспечения нормальной работы двигателя, производства требуемых измерений контроля за нормальным состоянием двигателя в соответствии с ГОСТ 14846-81.

### **6.4 Указания по технике безопасности.**

1. Безопасную работу организуют преподаватель и инженер лаборатории, проводящие испытания.
2. При проведении испытаний каждый студент должен находиться только на своем рабочем месте и выполнять действия, предписанные инструкцией.
3. Соблюдать осторожность при нахождении вблизи выхлопного коллектора и выпускных труб во избежание ожогов.

4. Точно выполнять инструкции руководителя испытаний.
5. Все приводные и соединительные устройства, вращающиеся детали должны иметь надежное ограждение. Скорость вращения ротора не должна превышать допустимую по паспорту.
6. Не допускается работа испытательной установки, при подтеканиях топлива, масла и воды, а также при утечках отработанных газов через неплотности в соединениях.
7. Двигатель, тормозная установка и рабочее место у тормозного стенда должны содержаться в чистоте.
8. Запас топлива должен находиться только в расходном топливном баке.
9. Соблюдать особую осторожность, при пользовании электрическими приборами. Следить за исправностью пульта, заземления стендов, проводников тока.
10. Прекратить работу и принять меры к предупреждению аварий и пожара (выключить зажигание или топливоподачу в двигателе, обесточить установку) в случае обнаружения неисправности электрооборудования стенда.
11. Предупредить в случае необходимости распространение пламени (огнетушителем, песком и т.п.), покинуть помещение, вызвать пожарную команду.
12. Запрещается хранение топлива и масла в дополнительных емкостях (баках, флягах, бидонах и др.) в помещении лаборатории.
13. Запрещается в помещении лаборатории пользоваться открытым огнем (факелы, фонари и паяльные лампы.)
14. Запрещается вращение вентиляей, передвижение рычагов, включение рубильников без указания преподавателя или инженера.
15. Запрещается работа стенда при неисправной принудительной приточно-вытяжной вентиляции.

### **6.5 Методика и порядок выполнения работы.**

Испытания проводятся при неизменной регулировке системы топливоподачи и оптимальном зажигании при установившихся скоростном и тепловом режимах двигателя.

На первой опытной точке нормально прогретый двигатель работает на заданном скоростном режиме при полностью снятой нагрузке электротормоза.

Переход к следующей опытной точке осуществляют, приоткрывая дроссельную заслонку и снижая число оборотов двигателя до заданного, увеличением торможения так, чтобы показания тормоза увеличились примерно на 15 Н·м. После корректировки угла зажигания и оборотов и трехминутной выдержки на установление нормального теплового режима снова производят замеры.

Далее, увеличивая нагрузку от опыта к опыту, сохраняя неизменными заданный скоростной и тепловой режим двигателя и корректируя угол опережения зажигания, получают около 8 точек характеристики. Как вариант характеристику получают с помощью ЭВМ. Распечатку характеристики используют в качестве протокола испытаний, строят графики и проводят анализ результатов. При сравнении характеристики с аналогами обращают внимание на сходство или различие расчётной и экспериментальной характеристик.

### **6.6 Содержание отчета, его форма и правила оформления.**

В отчете, оформленном на листах формата А4, приводят номер и наименование лабораторной работы, ее цель, определение, условия и методику получения характеристики, протокол испытаний, графики -  $G_T(N_e)$ ,  $g_e(N_e)$ ,  $\eta(N_e)$ ,  $a(N_e)$ . При этом мощность откладывается по оси абсцисс в кВт, либо в процентах от максимального значения, полученного при испытаниях. При анализе характеристики необходимо объяснить и

обосновать результаты и характер изменения полученных зависимостей, оценить качество двигателя.

### **6.7 Задания и вопросы для формирования и контроля владения компетенциями.**

1. В чем состоит цель снятия характеристики?
  2. В чем состоит методика снятия характеристики?
  3. В чем состоит условие снятия характеристики?
  4. Как и почему изменяется  $G_T$  по нагрузочной характеристике?
  5. Как и почему изменяется  $g_e$  по нагрузочной характеристике?
  6. Каково соотношение между величинами  $M_e$ ,  $M_c$  при снятии характеристики? Почему?
  7. Каким показателем оценивается степень дросселирования двигателя?
  8. Как и почему изменяется  $\alpha$  по нагрузочной характеристике?
  9. Как и почему изменяется  $\eta_v$  по нагрузочной характеристике?
- Список литературы [1,2,3,4,5]**

## **7. СКОРОСТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА**

### **7.1 Цель и содержание работы**

Выявление влияния частоты вращения на мощность и экономичность двигателя, сравнение испытуемого двигателя с аналогами по показателям одной скоростной характеристики, снятие и обработка характеристики, обработка и анализ результатов.

Организационная форма занятия – в основу занятия положен метод экспериментального определения показателей работы силового агрегата с помощью приборов и оборудования тормозной испытательной установки.

## 7.2 Методические рекомендации

Скоростной характеристикой двигателя называется совокупность графиков зависимостей мощности  $N_e$ , крутящего момента  $M_k$ , часового  $G_T$  и удельного  $g_e$  расходов топлива от числа оборотов  $n$  вала.

Примером работы двигателя в условиях скоростной характеристики является тот случай, когда автомобиль движется на прямой передаче все время при открытии дросселя по дороге различного сопротивления. Изменение сопротивления движению при изменении коэффициента дорожного сопротивления, приводит к изменению скорости движения машины и частоты вращения коленчатого вала двигателя.

Различают внешние скоростные и частичные скоростные характеристики. Внешними называются скоростные характеристики снятые при полном открытии дросселя. Если при снятии внешней скоростной характеристики для каждой опытной точки подбиралась оптимальная по мощности регулировка карбюратора, то такая внешняя характеристика называется внешней характеристикой абсолютной, т. к. она показывает предельные возможности двигателя.

Частичными называются скоростные характеристики, снятые при неполных, частичных открытиях дросселя. Условиями снятия характеристики являются: постоянство открытия дроссельной заслонки, постоянство и оптимальность регулировки карбюратора, оптимальность угла опережения зажигания для каждой опытной точки, постоянство и оптимальность теплового режима двигателя.

Переменным является число оборотов, изменяющееся вследствие принудительного (с пульты) изменения тормозной нагрузки.

## 7.3 Аппаратура, оборудование и материалы

Типовые испытания двигателей и обработка результатов проводятся в соответствии с требованиями ГОСТа 14806-89.

Для проведения испытаний автомобильный двигатель установлен на специально оборудованном испытательном тормозном стенде и соединён с приспособлением для торможения, в качестве которого используется универсальный электрический тормоз, оборудованный весовым устройством для замера крутящего момента и реостатом для изменения тормозной нагрузки тока в цепи якоря и в обмотке возбуждения. Испытательный стенд оборудован системами топливо и воздухоизоляция охлаждения и отвода продуктов сгорания. Кроме того, установка имеет все приборы и механизмы для обеспечения нормальной работы двигателя, производства требуемых измерений контроля за нормальным состоянием двигателя в соответствии с ГОСТ 14846-81.

#### **7.4 Указания по технике безопасности.**

1. Безопасную работу организуют преподаватель и инженер лаборатории, проводящие испытания.
2. При проведении испытаний каждый студент должен находиться только на своем рабочем месте и выполнять действия, предписанные инструкцией.
3. Соблюдать осторожность при нахождении вблизи выхлопного коллектора и выпускных труб во избежание ожогов.
4. Точно выполнять инструкции руководителя испытаний.
5. Все приводные и соединительные устройства, вращающиеся детали должны иметь надежное ограждение. Скорость вращения ротора не должна превышать допустимую по паспорту.
6. Не допускается работа испытательной установки, при подтеканиях топлива, масла и воды, а также при утечках отработанных газов через неплотности в соединениях.
7. Двигатель, тормозная установка и рабочее место у тормозного стенда должны содержаться в чистоте.
8. Запас топлива должен находиться только в расходном топливном баке.

9. Соблюдать особую осторожность, при пользовании электрическими приборами. Следить за исправностью пульта, заземления стендов, проводников тока.

10. Прекратить работу и принять меры к предупреждению аварий и пожара (выключить зажигание или топливоподачу в двигателе, обесточить установку) в случае обнаружения неисправности электрооборудования стенда.

11. Предупредить в случае необходимости распространение пламени (огнетушителем, песком и т.п.), покинуть помещение, вызвать пожарную команду.

12. Запрещается хранение топлива и масла в дополнительных емкостях (баках, флягах, бидонах и др.) в помещении лаборатории.

13. Запрещается в помещении лаборатории пользоваться открытым огнем (факелы, фонари и паяльные лампы.)

14. Запрещается вращение вентиляей, передвижение рычагов, включение рубильников без указания преподавателя или инженера.

15. Запрещается работа стенда при неисправной принудительной приточно-вытяжной вентиляции.

### **7.5 Методика и порядок выполнения работы.**

Ввод двигателя в режим осуществляют следующим образом: плавно и медленно открывая дроссельную заслонку до заданного положения (в % – 25, 40, 80 и т.п.), одновременно увеличением тормозной нагрузки устанавливают заданное число оборотов вала первой опытной точки, например, 1500 об/мин.

Подбирают с помощью рычага управления зажиганием оптимальный угол опережения зажигания, число оборотов при этом несколько увеличится, тогда увеличением тормозной нагрузки опять добиваются заданного числа оборотов. Дают время (1 мин) для стабилизации режима. На установившемся режиме первой опытной точки производят необходимые замеры на всех постах.

Во время занесения показаний приборов в протокол испытаний оператор на пульте уменьшает тормозную нагрузку (показания тормоза уменьшаются), позволяя увеличение числа оборотов на 100–200 об/мин, далее подбирают оптимальное зажигание и производят необходимые замеры.

В каждом из последующих испытаний поступают аналогично, увеличивая обороты 100–200 об/мин по сравнению с предыдущим значением, заканчивают снятие характеристики при максимальном числе оборотов. Как вариант характеристику получают с помощью ЭВМ. Распечатку характеристики используют в качестве протокола испытаний, строят графики и проводят анализ результатов. При сравнении характеристики с аналогами обращают внимание на сходство или различие расчётной и экспериментальной характеристик.

#### **7.6 Содержание отчета, его форма и правила оформления.**

В отчете, оформленном на листах формата А4, приводят номер и наименование лабораторной работы, ее цель, определение, условия и методику получения характеристики, протокол испытаний, графики –  $N_e(n)$ ,  $g_e(n)$ ,  $M_e(n)$ ,  $G_T(n)$ ,  $\eta_v(n)$ .

Наибольший интерес при анализе представляют кривые  $N_e = f_1(n)$  и  $g_e = f_2(n)$ , характеризующие энергетические возможности и экономичность двигателя. Сопоставляя их с аналогами, делают вывод о соответствии полученных зависимостей типовым для данного типа двигателя. Далее определяют экстремальные значения этих параметров и частоту вращения вала, соответствующую каждому экстремуму. Полученные значения также сопоставляют с известными результатами испытаний и отмечают сходства, различия, объясняют возможные расхождения результатов, используя для объяснений экспериментальные и расчётные данные по изменениям других параметров. В заключение делают вывод о качестве испытанного двигателя и возможности его использования на автомобиле.

### **7.7 Задания и вопросы для формирования и контроля владения компетенциями.**

1. В чем состоит цель снятия характеристики?
2. В чем состоит методика снятия характеристики?
3. В чем состоит условие снятия характеристик?
4. Как и почему изменяется  $G_T$  по скоростной характеристике?
5. Как и почему изменяется  $g_e$  по скоростной характеристике?
6. В чем разница между внешней и частичной характеристиками?
7. Как и почему изменяется  $N_e$  по скоростной характеристике?
8. Как и почему изменяется  $M_e$  по скоростной характеристике?
9. Как и почему изменяется  $\eta_v$  по скоростной характеристике?
10. Как и почему изменяется  $\alpha$  по скоростной характеристике?

**Список литературы [1,2,3,4,5]**

## **8. ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ИНДИЦИРОВАНИЕМ**

### **8.1 Цель и содержание работы**

Определение и анализ индикаторных и эффективных показателей двигателя на заданном режиме; сопоставление удельных показателей с аналогами; Ознакомление с устройством и принципом работы пневмоэлектрического индикатора МАИ-2; изучение и практическое применение методики снятия индикаторной диаграммы, её обработки и анализа; составление заключения о совершенстве испытанного двигателя.

Организационная форма занятия – в основу занятия положен метод экспериментального определения показателей работы силового агрегата с помощью приборов и оборудования тормозной испытательной установки.

## 8.2 Методические рекомендации

Под индицированием понимают экспериментальное определение индикаторных показателей двигателя: среднего индикаторного давления, индикаторной мощности и др. Наиболее точно их определяют на основе обработки индикаторной диаграммы, записанной с помощью специального устройства – индикатора, у которого датчик давления установлен в стенке камеры сгорания. При отсутствии индикатора применяют метод выключения цилиндров.

Метод выключения цилиндров принципиально основывается на условии, что потери на трение в двигателе не зависят от числа работающих цилиндров, следовательно, при выключении из работы одного из цилиндров уменьшение эффективной мощности ДВС равно индикаторной мощности этого цилиндра.

Этим методом параметры определяются приближенно ввиду того, что выключение сгорания в цилиндре изменяет температурные условия и условия смазывания и трения по сравнению с нормально работающим цилиндром, а затраты мощности на газообмен в выключенном цилиндре не устраняются.

Работа, совершаемая газами в цилиндре двигателя, выражается в определенном масштабе, площадью индикаторной диаграммы, представляющей собой зависимости

$$P=f_1(v) \text{ при } 180^\circ \leq \varphi \leq 360^\circ \text{ и}$$

$$P=f_2(v) \text{ при } 360^\circ < \varphi \leq 540^\circ, \text{ где}$$

$p$  – давление газов в цилиндре;

$V$  – объем цилиндра, соответствующий углу поворота коленчатого вала.

Заменяв площадь диаграммы равновеликим прямоугольником с длиной горизонтальной стороны, равной (в определенном масштабе) объему индицируемого двигателя, можно получить среднее давление  $p_i$ , которое представляет собой некоторое постоянное давление, условно действующее на поршень в течение одного такта. Зная  $p_i$ , легко подсчитать величину  $N_i$ ,  $g_i$  (см. л.р. 1).

С помощью индикаторной диаграммы также определяется:

- сила давления газов, в том числе максимальная (по  $P_z$ );
- продолжительность фаз сгорания;
- степень повышения давления и жесткость работы двигателя.

Кроме того, при обработке диаграммы по специальной методике можно определить показатели политроп сжатия и расширения, текущие значения температуры газа, характеристику тепловыделения.

Приборы, служащие для получения индикаторных диаграмм, называются индикаторами, они делятся на две основные группы:

- а) индикаторы, позволяющие получить индикаторную диаграмму каждого отдельного рабочего цикла;
- б) индикаторы, позволяющие получить многоцикловые диаграммы, дающие характер изменения давления за несколько сотен циклов.

К группе б) принадлежит пневмоэлектрический индикатор стробоскопического типа с электроконтактными датчиками давления МАИ-2.

Индикатор МАИ-2 предназначен для индицирования поршневых ДВС с  $n \leq 3500$  мин<sup>-1</sup>, в диапазоне изменения давлений от 0,02 до 15 МН/м<sup>2</sup> (0,2–150 кг/см<sup>2</sup>). Он позволяет получать диаграммы с размерами по оси давлений до 180 мм, по оси углов поворота – 360 мм. Индикаторная диаграмма получается путем фиксирования в координатах  $P - \varphi$  отдельных точек рабочего цикла ДВС на вращающемся барабане, соединенном с валом исследуемого двигателя.

Конструктивно индикатор МАИ-2 выполнен из нескольких узлов, связанных между собой электрической и пневматической системами. Такими

узлами являются: записывавшая часть, приемник давления, индуктивный отметчик ВМТ, индуктивный отметчик момента искрообразования, пульт управления.

Записывающая часть индикатора (рисунок 1) имеет измерительный механизм и барабан 9, на котором производится запись диаграммы. Измерительный механизм представляет собой пружинно-поршневой манометр, состоящий из гильзы 10, неподвижного плунжера II, подвижного плунжера 12, пружины 13 и разрядного штифта 14. Давление газа из пневмосистемы передается в измерительный механизм через жидкость, поступающую в гильзу из расширительного бачка 4 через полый плунжер II. Жидкость воздействует на подвижной плунжер 12, который растягивает пружину 13. Разрядный штифт 14 жестко связан с подвижным плунжером, нагруженный пружиной 13, поэтому его перемещение пропорционально давлению в пневмосистеме, а т. к. ось измерительного механизма параллельна оси барабана, то по его образующей расположена ось давления. Муфта 15 обеспечивает соединение барабана индикатора с валом ДВС всегда в одном положении друг относительно друга. По окружности барабана расположена шкала углов п.к.в.

Приемник давления 2 установлен в стенке КС испытуемого двигателя 1. Пневмосистема 3 соединена с верхней полостью приемника давления и расширительным бачком 4. Воздух или азот поступает в пневмосистему из баллона 5 через кран наполнения 6, а в атмосферу вытекает при открытии крана 7. Давление газа в пневмосистеме контролируется манометром 8. Газ, находящийся в пневмосистеме, воздействует на мембрану 18 приемника давления 2. С другой стороны на неё воздействует давление в цилиндре ДВС. При небольшом избытке давления в цилиндре ( $0,02 - 0,03$ ) мН/м<sup>2</sup> мембрана будет прогибаться, касаться неподвижного контакта 17 и замыкать электрическую цепь. При равенстве или избытке давления со стороны пневмосистемы цепь будет разомкнута. Таким образом мембрана является чувствительным элементом, замыкающим или размыкающим цепь при

изменении соотношения давлений в цилиндре и пневмосистеме. Контакт 17 приемника давления 2 соединен с тиратронным преобразователем 16, который при замыкании или размыкании цепи генерирует электрические импульсы высокого напряжения, поступающие на разрядный штифт 14. Между разрядным штифтом 14 и барабаном 9 в момент подачи импульса происходит искровой разряд, который оставляет на индикаторной бумаге, закрепленной на барабане, темную точку.

Для нанесения отметок ВМТ используется индуктивный датчик, устанавливаемый на картере вблизи маховика. На маховике установлен сердечник из мягкого железа. При нахождении поршня индицируемого цилиндра в ВМТ сердечник пересекает продольную плоскость симметрии

датчика – возникающий при этом импульс поступает в тиратронный преобразователь.

Для нанесения отметок момента подачи искры служит индукционный датчик, представляющий собой несколько витков изолированной проволоки на проводе высокого напряжения свечи зажигания индицируемого цилиндра. В момент искрообразования в датчике индуцируется импульс, также поступающий на тиратронный преобразователь.

Пульт управления объединяет электрическую и пневматическую системы. Тиратронный преобразователь пульта питается от сети 220 В. Экранированными проводами он соединяется с приемником давления, отметчиком ВМТ, отметчиком момента подачи высоковольтного импульса на свечу.

В результате совместной работы всех систем индикатора МАИ-2 при медленном изменении оператором давления в пневмосистеме от  $p > p_z$  до  $p_0$  или от  $p_0$  до  $p > p_z$  на индикаторной бумаге получают индикаторную диаграмму, состоящую из отдельных точек, принадлежащих разным циклам. При этом каждому рабочему циклу соответствует только 2 точки – одна на линии сжатия (когда мембрана 18 и контакт 17 замыкает электрическую

цепь), другая – на линии расширения (когда мембрана 18 и контакт 17 размыкают электрическую цепь).

Такой принцип записи диаграммы называется стробоскопическим.

### **8.3 Аппаратура, оборудование и материалы**

Типовые испытания двигателей и обработка результатов проводятся в соответствии с требованиями ГОСТа 14806-89.

Для проведения испытаний автомобильный двигатель установлен на специально оборудованном испытательном тормозном стенде и соединён с приспособлением для торможения, в качестве которого используется универсальный электрический тормоз, оборудованный весовым устройством для замера крутящего момента и реостатом для изменения тормозной нагрузки тока в цепи якоря и в обмотке возбуждения. Испытательный стенд оборудован системами топливо и воздухоизоляция охлаждения и отвода продуктов сгорания. Кроме того, установка имеет все приборы и механизмы для обеспечения нормальной работы двигателя, производства требуемых измерений контроля за нормальным состоянием двигателя в соответствии с ГОСТ 14846-81. Непосредственно для индицирования использован индикатор МАИ-2 выполнен из нескольких узлов, связанных между собой электрической и пневматической системами. Такими узлами являются: записывавшая часть, приемник давления, индуктивный отметчик ВМТ, индуктивный отметчик момента искрообразования, пульт управления.

### **8.4 Указания по технике безопасности.**

1. Безопасную работу организуют преподаватель и инженер лаборатории, проводящие испытания.
2. При проведении испытаний каждый студент должен находиться только на своем рабочем месте и выполнять действия, предписанные инструкцией.

3. Соблюдать осторожность при нахождении вблизи выхлопного коллектора и выпускных труб во избежание ожогов.
4. Точно выполнять инструкции руководителя испытаний.
5. Все приводные и соединительные устройства, вращающиеся детали должны иметь надежное ограждение. Скорость вращения ротора не должна превышать допустимую по паспорту.
6. Не допускается работа испытательной установки, при подтеканиях топлива, масла и воды, а также при утечках отработанных газов через неплотности в соединениях.
7. Двигатель, тормозная установка и рабочее место у тормозного стенда должны содержаться в чистоте.
8. Запас топлива должен находиться только в расходном топливном баке.
9. Соблюдать особую осторожность, при пользовании электрическими приборами. Следить за исправностью пульта, заземления стендов, проводников тока.
10. Прекратить работу и принять меры к предупреждению аварий и пожара (выключить зажигание или топливоподачу в двигателе, обесточить установку) в случае обнаружения неисправности электрооборудования стенда.
11. Предупредить в случае необходимости распространение пламени (огнетушителем, песком и т.п.), покинуть помещение, вызвать пожарную команду.
12. Запрещается хранение топлива и масла в дополнительных емкостях (баках, флягах, бидонах и др.) в помещении лаборатории.
13. Запрещается в помещении лаборатории пользоваться открытым огнем (факелы, фонари и паяльные лампы.)
14. Запрещается вращение вентиляей, передвижение рычагов, включение рубильников без указания преподавателя или инженера.

15. Запрещается работа стенда при неисправной принудительной приточно-вытяжной вентиляции.

### 8.5 Методика и порядок выполнения работы

Индицирование методом выключения цилиндров выполняется при постоянстве открытия дроссельной заслонки, постоянстве числа оборотов, постоянстве и оптимальности регулировки системы топливоподачи и теплового режима двигателя, постоянстве и оптимальности угла опережения зажигания. Время, затраченное на выключение одного цилиндра и достижение двигателем заданного числа оборотов, не должно превышать 1 минуту, контрольные замеры крутящего момента (показаний тормоза) при работе на всех цилиндрах должны совпадать.

Протокол испытаний при индицировании двигателя методом выключения цилиндров

| № опыта | Условия работы    | Результаты измерений |               |                   |               | Результаты расчетов |                 |                |
|---------|-------------------|----------------------|---------------|-------------------|---------------|---------------------|-----------------|----------------|
|         |                   | $n$ ,<br>об/мин      | $M_k$ ,<br>Нм | $\Delta g$ ,<br>г | $\tau$ ,<br>с | $N_e$ ,<br>кВт      | $G_T$ ,<br>кг/ч | $N_i$ ,<br>кВт |
| 1       | На всех цилиндрах |                      |               |                   |               |                     |                 |                |
| 2       | Без 1-го цилиндра |                      |               |                   |               |                     |                 |                |
| 3       | На всех цилиндрах |                      |               |                   |               |                     |                 |                |
| 4       | Без 2-го цилиндра |                      |               |                   |               |                     |                 |                |
| 5       | На всех цилиндрах |                      |               |                   |               |                     |                 |                |
| 6       | Без 3-го цилиндра |                      |               |                   |               |                     |                 |                |
| 7       | На всех цилиндрах |                      |               |                   |               |                     |                 |                |
| 8       | Без 4-го цилиндра |                      |               |                   |               |                     |                 |                |
| 9       | На всех цилиндрах |                      |               |                   |               |                     |                 |                |
| 10      | Без 5-го цилиндра |                      |               |                   |               |                     |                 |                |
| 11      | На всех цилиндрах |                      |               |                   |               |                     |                 |                |

|    |                   |  |  |  |  |  |  |  |
|----|-------------------|--|--|--|--|--|--|--|
| 12 | Без 6-го цилиндра |  |  |  |  |  |  |  |
| 13 | На всех цилиндрах |  |  |  |  |  |  |  |
| 14 | Без 7-го цилиндра |  |  |  |  |  |  |  |
| 15 | На всех цилиндрах |  |  |  |  |  |  |  |
| 16 | Без 8-го цилиндра |  |  |  |  |  |  |  |
| 17 | На всех цилиндрах |  |  |  |  |  |  |  |

Ввод двигателя в режим осуществляется следующим образом: плавно и медленно передвигая рычаг управления дросселем до положения полного открытия дроссельной заслонки, одновременно и постепенно увеличивают тормозную нагрузку, добиваясь нужного числа оборотов. Затем перемещением рычага управления зажиганием необходимо выставить зажигание так, чтобы частота вращения была наивысшей, но, одновременно, не было детонационной. После установки оптимального зажигания довести путем изменения тормозной нагрузки число оборотов до заданного значения.

На установившемся режиме испытания при работе двигателя на всех цилиндрах произвести замеры расхода топлива, показания тормоза и др.

Выключить зажигание в первом цилиндре с помощью отвертки путем замыкания электрода свечи на массу и установить быстро с помощью тормоза заданное число оборотов. При работе двигателя с выключенным зажиганием в первом цилиндре произвести замер показания тормоза.

По окончании замера включить зажигание в первом цилиндре, восстановить с помощью тормоза заданное число оборотов и проработать не менее 1 мин на всех цилиндрах. Произвести замеры тех же параметров.

Выключить зажигание во втором цилиндре и выполнить замеры. На основании занесенных в протокол показаний измерительных приборов производят подсчет соответствующих величин.

Индикаторная мощность выключенного цилиндра подсчитывают по формуле:

$N_{i_{цил}} = N_e - N_{ez-1}$  - полученной из соотношения при отключении, например, 1-го цилиндра

$$N_{i1} = (N_{i8} - N_{m8}) - (N_{i_{6ez1}} - N_{m8}),$$

где  $N_{i_{цил}}$  – индикаторная мощность включенного цилиндра;

$N_e$  – эффективная мощность двигателя при работе на всех цилиндрах;

$N_{ez-1}$  – эффективная мощность двигателя при отключенном цилиндре;

$N_{i8}$  – индикаторная мощность при работе на 8 цилиндрах;

$N_{m8}$  – мощность механических потерь в восьми цилиндрах;

$N_{i_{6ez1}}$  – индикаторная мощность при работе на 7 цилиндрах.

Значения  $N_{i_{цил}}$  заносят в графу протокола.

Коэффициент равномерности работы цилиндров определяют по формуле:

$$\Delta = N_{imin} / N_{imax},$$

где  $N_{imin}, N_{imax}$  – наименьшее и наибольшее значения индикаторной цилиндровой мощности.

Индикаторную мощность двигателя  $N_j$  и мощность механических потерь  $N_m$  вычисляют по формулам:

$$N_i = \sum_1^z N_{i_{цил}}; \quad N_m = N_i - N_e,$$

где  $N_{i_{цил}}$  – индикаторная мощность каждого цилиндра;

$z = 8$  – число всех цилиндров.

Индицирование с использованием индикатора

МАИ-2 выполняется в следующей последовательности:

1. Перед началом индицирования проверить давление газа в баллоне по манометру.
2. Проверить циркуляцию воды через рубашку охлаждения датчика.

3. Включить тиратронный преобразователь в сеть (режим прогрева не менее 3-х минут).

4. Отключить регистрирующее устройство от коленчатого вала двигателя и закрепить индикаторную бумагу на барабан регистратора.

5. Установить требуемый скоростной режим двигателя.

6. Заполнить пневмосистему газом до давления, большего максимального давления цикла в целях блокировки мембраны датчика до снятия диаграммы.

7. Соединить регистратор индикатора с валом двигателя, включив двухзубую муфту сцепления.

8. Включить оба канала тиратронного преобразователя и, открывая соответствующий кран, медленно снизить давление в пневмосистеме до атмосферного (продолжительность снижения должна быть не менее 30 сек.).

9. Произвести запись на диаграмме отметки ВМТ, для чего установить переключатель на пульте в положение «ВМТ», включить тумблер «запись» и заполнить систему газом до давления  $p > p_z$ .

10. Произвести запись на диаграмме тарифовочных линий, для чего при заполнении системы газом через равные интервалы давления ( $10 \text{ кг/см}^2$ ), фиксируемые по манометру на пульте, включить тумблер «Тарировка» Линию атмосферного давления получить, соединив систему с атмосферой при включенном тумблере «Тарировка».

11. Произвести запись на диаграмме отметки момента искрообразования, для чего переключатель пульта установить в положение «другие отметки» и снизить давление в пневмосистеме до атмосферного.

12. Выключить переключатель «Запись», отключить барабан от вала двигателя, извлечь индикаторную бумагу, приступить к обработке диаграммы.

Одновременно со снятием индикаторной диаграммы производятся все замеры эффективных показателей двигателя.

Для определения индикаторных показателей двигателя индикаторную диаграмму, полученную в координатах  $p-\varphi$ , необходимо перестроить в координаты  $p-s$ , где  $s$  – ход поршня.

1. На индикаторной бумаге, снятой с индикатора, по среднему значению между точками проводится осредненная линия изменения давления в цилиндре.

2. Определяются масштабы диаграммы по углу  $\varphi$  и по давлению  $p$ :

а) масштаб давления  $\mu_p$

$$\mu_p = \frac{P_T}{l_T} \left[ \frac{\text{МПа}}{\text{мм}} \right],$$

где,  $P_T$  – давление, при котором была нанесена линия тарировки на диаграмме, МПа

$l_T$  – длина ординаты от линии атмосферного давления до линии тарировки, мм

б) масштаб угла п.к.в. –  $\mu_\varphi$

$$\mu_\varphi = l_\varphi / 360, [\text{мм}/^\circ\text{п.к.в.}]$$

где  $l_\varphi$  – длина диаграммы, мм (при записи лишь тактов сжатия и расширения).

3. Через каждые 10 п.к.в, восстанавливаются перпендикуляры от линии атмосферного давления  $P_o$  до пересечения с осредненной линией давления газов в цилиндре –  $P_c$  (при разметке диаграммы на градусы за первую отметку считают ВМТ, при этом слева от ВМТ – линия сжатия, справа – линия расширения).

4. Значения ординат давления в мм заносятся в таблицу 1, где

$l_\varphi$  – длина ординаты от атмосферной линии до пересечения с линией давления в цилиндре;

$p_u$  – избыточное давление газов в цилиндре, МПа;

$S_\varphi$  – ход поршня в мм в зависимости от угла поворота коленчатого вала  $\varphi$ .

Таблица 1

| $\varphi$ , °п.к.в. | $\varphi$ , °п.к.в. | $S\varphi$ , мм | Сжатие       |                | Расширение   |             |
|---------------------|---------------------|-----------------|--------------|----------------|--------------|-------------|
| Сжатие              | Расширение          |                 | $l\varphi$ , | $p_u$ ,<br>МПа | $l\varphi$ , | $p_u$ , МПа |
| 360                 | 360                 |                 |              |                |              |             |
| 350                 | 370                 |                 |              |                |              |             |
| 340                 | 380                 |                 |              |                |              |             |
| 330                 | 390                 |                 |              |                |              |             |
| 320                 | 400                 |                 |              |                |              |             |
| 310                 | 410                 |                 |              |                |              |             |
| 300                 | 420                 |                 |              |                |              |             |
| 290                 | 430                 |                 |              |                |              |             |
| 280                 | 440                 |                 |              |                |              |             |
| 270                 | 450                 |                 |              |                |              |             |
| 260                 | 460                 |                 |              |                |              |             |
| 250                 | 470                 |                 |              |                |              |             |
| 240                 | 480                 |                 |              |                |              |             |
| 230                 | 490                 |                 |              |                |              |             |
| 220                 | 500                 |                 |              |                |              |             |
| 210                 | 510                 |                 |              |                |              |             |
| 200                 | 520                 |                 |              |                |              |             |
| 190                 | 530                 |                 |              |                |              |             |
| 180                 | 540                 |                 |              |                |              |             |

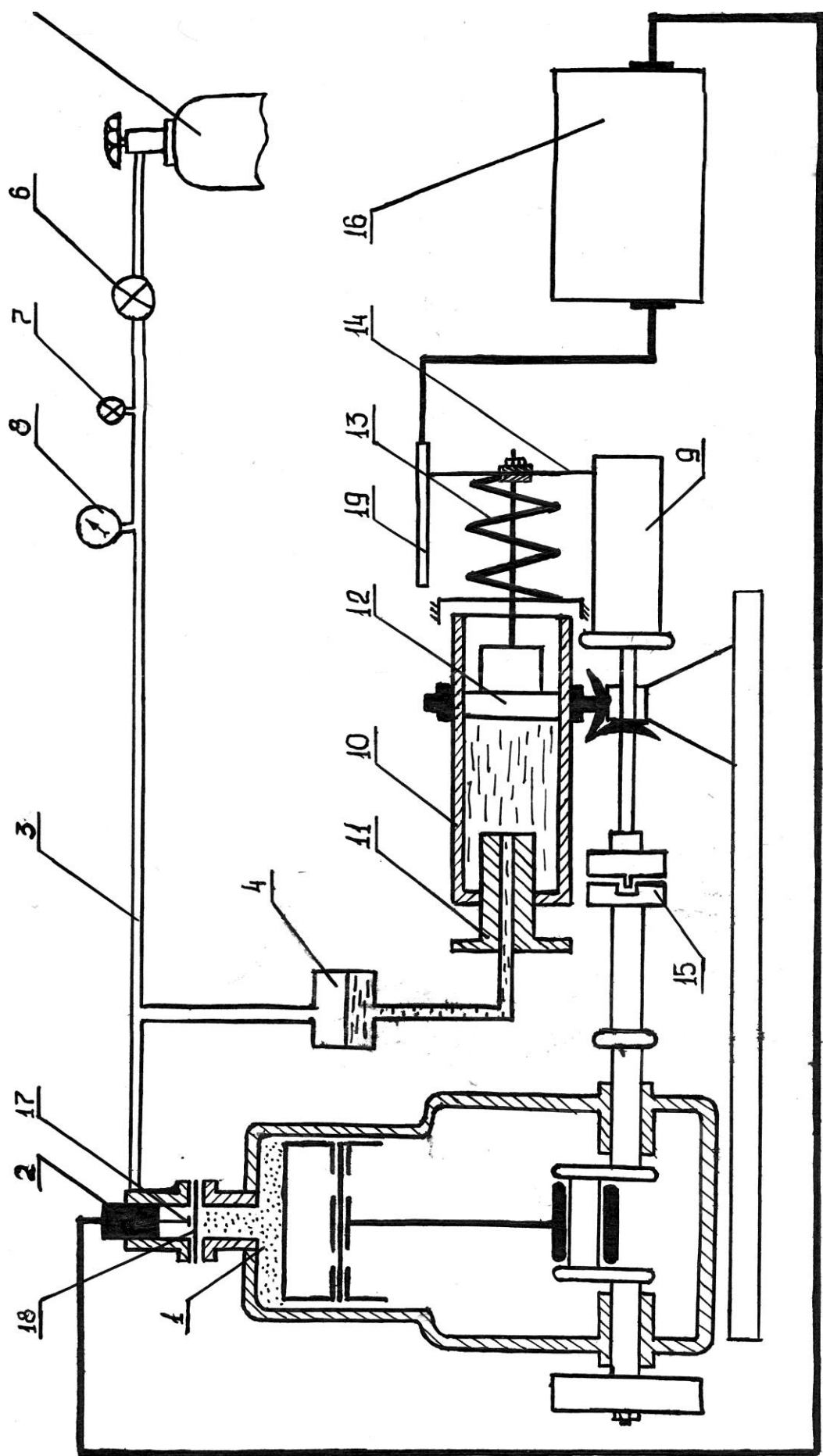


Рисунок 1 – Схема установки для индигирования ДВС

5. По данным таблицы полученная диаграмма перестраивается на миллиметровой бумаге в координаты  $p-s$ , при этом перемещения поршня по углу п.к.в. откладывается в соответствующем масштабе по оси абсцисс вправо от величины приведенного объема камеры сгорания  $S_c$ , определяемого из выражения  $S_c = \frac{s}{\varepsilon - 1} \mu_s$ ,

где  $\varepsilon$  – степень сжатия;

$\mu_s$  – масштаб перемещения поршня. Рекомендуемые масштабы:

$$\mu_p = 0,2 \left[ \frac{\text{кг}}{\text{см}^2 \cdot \text{мм}} \right], \quad \mu_s = 1 \text{ мм/мм}.$$

### 8.6 Содержание отчета, его форма и правила оформления.

В отчете, оформленном на листах формата А4 приводят номер и наименование лабораторной работы, ее цель, содержание, условия и методику выполнения, протокол испытаний, схему установки, индикаторные диаграммы в координатах  $p-\varphi$  и  $p-V$ . После обработки индикаторных диаграмм представляются результаты определения индикаторных и эффективных показателей на заданных режимах работы.

Выполняя анализ, сравнивают показатели с аналогичными показателями других двигателей и делают свой вывод о качествах испытанного двигателя.

### 8.7 Задания и вопросы для формирования и контроля владения компетенциями.

1. В чем состоит цель индицирования?
2. В чем состоит методика индицирования?
3. В чем состоит условие индицирования?
4. Что означает термин «индицирование двигателя»?

5. Каковы соотношения между величинами  $g_e, g_i$ ?
6. Каковы соотношения между величинами  $p_e, p_i$ ?
7. Каковы соотношения между величинами  $N_e, N_i$ ?
8. На каком допущении основано индицирование методом выключения цилиндров?
9. Какое соотношение и почему позволяет оценить индикаторную мощность выключенного цилиндра?
10. Какое соотношение позволяет оценить индикаторную мощность двигателя?
11. В чём состоит методика обработки индикаторных диаграмм?
12. Из каких элементов состоит индикатор МАИ-2?
13. В чём состоит принцип работы индикатора?
14. По какой диаграмме и каким образом определяется  $p_i$ ?

**Список литературы [1,2,3,4,5]**

## ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

### 1.ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССОВ ВПУСКА И СЖАТИЯ

---

#### 1.1 Цель и содержание

Выполнение практической работы имеет своей целью углубление и закрепление знаний теории процессов, характеризующих наполнение и сжатие в силовых агрегатах поршневого типа.

Содержанием практической работы является изучение и практическое применение расчетных методик определения параметров, характеризующих степень совершенства организации процессов наполнения и сжатия в силовых агрегатах поршневого типа.

Организационная форма занятия- метод анализа конкретных результатов.

Вопросы для обсуждения

1. Анализ гидравлических потерь во впускной системе в зависимости от конструктивных и эксплуатационных факторов
2. Анализ параметров процесса впуска в зависимости от конструктивных и эксплуатационных факторов
3. Анализ параметров процесса сжатия в зависимости от конструктивных и эксплуатационных факторов

#### 1.2 Методические рекомендации

При рассмотрении теоретических разомкнутых циклов процессы впуска и выпуска рассматривались как обратимые процессы, протекающие при постоянном давлении, равном давлению окружающей среды. В действительном цикле двигателей эти процессы необратимы и протекают при значительном изменении давления.

Анализ протекания процесса впуска показывает, что он фактически является сложнейшим процессом наполнения цилиндра двигателя свежим зарядом(топливовоздушной смесью или воздухом).

При этом процесс впуска практически состоит из трёх принципиально различных периодов:

- 1) В первый период, от момента начала открытия впускного клапана до момента закрытия выпускного клапана, происходит одновременное наполнение цилиндра свежим зарядом, выпуск отработавших газов и их смешение. Этот период, когда открыты одновременно впускной и выпускной клапаны, называют перекрытием клапанов, и именно в этот период происходит наиболее интенсивный *процесс газообмена*;
- 2) Период при движении поршня к н.м.т. характеризует основной период впуска свежего заряда, продолжение смешения его с отработавшими газами, выравнивание давления и температуры;
- 3) В третий период при движении поршня от н.м.т. происходит одновременно завершение процесса наполнения цилиндра (дозаряда, или обратный выброс) и начало сжатия смеси.

При работе двигателя без наддува в цилиндр поступает воздух из атмосферы. В этом случае при расчете рабочего цикла двигателя давление окружающей среды принимается равным  $p_0 = 0,1$  Мпа, а температура -  $T_0 = 293$  К.

При работе с использованием с наддува воздух поступает в цилиндр из компрессора(нагнетателя), где он предварительно сжимается. В соответствии с этим давление и температура окружающей среды при расчете рабочего цикла двигателя с наддувом принимаются равными давлению  $P_x$  и температуре  $T_x$  воздуха на выходе из компрессора.

В процессе наполнения температура свежего заряда несколько увеличивается благодаря подогреву от нагретых деталей двигателя. Величина подогрева  $\Delta T$  зависит от расположения конструкции впускного трубопровода, системы охлаждения, наличия специального устройства для подогрева, быстроходности двигателя и наддува. Повышение температуры улучшает процесс испарения топлива, но снижает плотность заряда и, таким образом отрицательно влияет на наполнение двигателя. Эти два противоположных фактора, появляющиеся в результате повышения температуры подогрева, должны быть учтены при установлении величины  $\Delta T$ .

Давление в конце впуска (МПа) – основной фактор, определяющий количество рабочего тела, поступающего в цилиндр двигателя:

$$p_a = p_0 - \Delta p_a.$$

Потери давления  $\Delta p_a$  за счет сопротивления впускной системы и затухания скорости движения заряда в цилиндре можно определить из уравнения Бернулли:  $\Delta p_a = (\beta^2 + \varepsilon_{вп})(W_{вп}^2/2)\rho_0 \cdot 10^{-6}$

где  $\beta$  – коэффициент затухания скорости движения заряда в рассматриваемом сечении цилиндра;  $\varepsilon_{вп}$  – коэффициент сопротивления впускной системы, отнесенный к наиболее узкому ее сечению;  $W_{вп}$  – средняя скорость движения заряда в наименьшем сечении впускной системы (как правило, в клапане или в продувочных окнах);  $\rho_0$  – плотность заряда на впуске.

По опытным данным в современных автомобильных двигателях на номинальном режиме  $(\beta^2 + \varepsilon_{вп}) = 2,5 - 4,0$  и  $W_{вп} = 50 - 130 \text{ м/с}$ . Для двигателей с электронным впрыском значения  $(\beta^2 + \varepsilon_{вп})$  принимаются пониженными в связи с отсутствием карбюратора.

Гидравлические потери во впускной системе уменьшаются при увеличении проходных сечений, придании обтекаемой формы клапанам, обработке внутренних поверхностей впускной системы, правильном выборе фаз газораспределения и т.д.

Плотность заряда ( $\text{кг/м}^3$ ) на впуске

$$\rho_0 = p_0 \cdot 10^6 / R_b T_0,$$

Где  $R_b$  – удельная газовая постоянная воздуха:

$$R_b = \frac{R}{\mu_b} = \frac{8315}{28,96} = 287 \text{ Дж/(кг} \cdot \text{град)},$$

Где  $R=8315 \text{ Дж/(кмоль} \cdot \text{град)}$  – универсальная газовая постоянная.

В период процесса сжатия в цилиндре двигателя повышаются температура и давление рабочего тела, что обеспечивает надежное воспламенение и эффективное сгорание топлива.

В реальных условиях сжатие происходит по сложному закону, практически не подчиняющемуся термодинамическим соотношениям, так как на изменение температуры и давления в этом процессе влияют кроме изменения теплоемкости рабочего тела в зависимости от температуры ряд других факторов: утечка газа через неплотности поршневых колец, дозарядка цилиндра до момента закрытия впускных клапанов, изменение направления и интенсивности теплообмена между рабочей смесью и стенками цилиндра, испарение топлива.

Условно принимается, что процесс сжатия в действительном цикле происходит по политропе с переменным показателем  $n_1$ , который в начальный период сжатия превышает показатель адиабаты  $k_1$  (идет подвод теплоты от более нагретых стенок цилиндра к рабочему телу), в какой-то момент времени принимает значение, равное значению  $k_1$  (температуры стенок и рабочего тела выровнялись), а далее имеет меньшее значение, чем  $k_1$  (идет отвод теплоты от рабочего тела в стенки цилиндра).

Величина  $n_1$  устанавливается по опытным данным в зависимости от частоты вращения коленчатого вала двигателя, степени сжатия, размеров цилиндра, материала поршня и цилиндра, теплообмена и других факторов.

### 1.3 Задания.

1. Запустить программу расчетов.
2. Ввести исходные данные.
3. Проверить правильность введения исходных данных (по графическому материалу, выводимому на экран дисплея).
4. Откорректировать данные (при необходимости).
5. Распечатать результаты расчетов.

6. Изменить конструктивные и эксплуатационные факторы с последующей распечаткой новых результатов расчетов.
7. После ввода исходных данных и получения результатов расчета на ЭВМ выполнить анализ влияния конструктивных и эксплуатационных факторов на параметры процессов впуска и сжатия.

#### **1.4 Вопросы и задания для формирования и контроля владения компетенциями.**

1. Какие факторы определяют выбор температуры остаточных газов?
2. Какие факторы определяют выбор температуры подогрева заряда?
3. Какие факторы определяют выбор показателя политропы сжатия?
4. Какие факторы определяют выбор коэффициента сопротивления впускной системы?
5. Выполнить анализ влияния конструктивных факторов на  $\eta_v$
6. Выполнить анализ влияния режимных факторов на  $\eta_v$

#### **Список литературы [1,2,3,4,5]**

## **2.ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА СГОРАНИЯ**

### **2.1 Цель и содержание**

Выполнение практической работы имеет своей целью углубление и закрепление знаний теории процессов, характеризующих воспламенение и сгорание в силовых агрегатах поршневого типа.

Содержанием практической работы является изучение и практическое применение расчетных методик определения параметров, характеризующих степень совершенства организации процессов воспламенения и сгорания в силовых агрегатах поршневого типа.

Организационная форма занятия – метод анализа конкретных результатов.

### Вопросы для обсуждения

1. Анализ факторов определяющих процесс сгорания в двигателях с принудительным воспламенением
2. Анализ факторов определяющих процесс сгорания в двигателях с самовоспламенением
3. Анализ условий обеспечивающих наибольшую полноту сгорания
4. Анализ условий обеспечивающих наибольшую скорость сгорания

### 2.2 Методические рекомендации

Процесс сгорания – основной процесс рабочего цикла двигателя, в течение которого теплота, выделяющаяся вследствие сгорания топлива, идет на повышение внутренней энергии рабочего тела и на совершение механической работы.

На характер протекания процесса сгорания оказывает влияние большое число различных факторов: параметры процессов впуска и сжатия, качество распыливания топлива, частота вращения коленчатого вала двигателя и т.д. Зависимость параметров процесса сгорания от целого ряда факторов, а также особенности физико-химических процессов сгорания альтернативных моторных топлив пока изучены недостаточно полно.

С целью упрощения термодинамических расчетов автомобильных двигателей принимают, что процесс сгорания в двигателях с воспламенением от искры происходит при  $V = \text{const}$ , т.е. по изохоре, а в двигателях с воспламенением от сжатия – при  $V = \text{const}$  и  $p = \text{const}$ , т.е. по циклу со смешанным подводом теплоты.

Целью расчета процесса сгорания является определение температуры и давления в конце видимого сгорания. Температура газа  $T_z$  в конце видимого сгорания определяется на основании первого закона термодинамики, согласно которому

$$dQ = DU + dL.$$

Применительно к автомобильным двигателям:

$$H_u - Q_{\text{пот}} = (U_z - U_c) + L_{cz} - \text{сгорание при } \alpha \geq 1,$$

$$(H_u - \Delta H_u) - Q_{\text{пот}} = (U_z - U_c) + L_{cz}$$

- сгорание при  $\alpha < 1$ , где

$H_u$  – низшая теплота сгорания топлива, кДж;  $Q_{\text{пот}}$

$Q_{\text{пот}}$ -потери теплоты вследствие теплоотдачи, догорания топлива на линии расширения и диссоциации, кДж;

$U_z$  - внутренняя энергия газов в конце видимого сгорания, кДж;

$U_c$  - внутренняя энергия рабочей смеси в конце сжатия, кДж;

$L_{cz}$  - теплота, идущая на работу расширения газов от точки с до точки z ( для двигателей с воспламенением от искры  $L_{cz}=0$ ) , кДж.

Для двигателей, работающих по циклу с подводом теплоты при  $V=\text{const}$ , уравнение сгорания имеет вид:

$$\xi_z H_{\text{раб.см}} + (mc'_v)_{t_0}^{t_c} = \mu (mc''_v)_{t_0}^{t_z} t_z, \text{ где}$$

$H_{\text{раб.см}}$  - теплота сгорания рабочей смеси,

$(mc'_v)_{t_0}^{t_c}$ —средняя мольная теплоемкость рабочей смеси в конце процесса сжатия,

$(mc''_v)_{t_0}^{t_z}$ —средняя мольная теплоемкость продуктов сгорания.

Для двигателей, работающих по циклу со смешанным подводом теплоты при  $V=\text{const}$  и  $p=\text{const}$ , уравнение сгорания имеет вид:

$$\xi_z H_{\text{раб.см.}} + [(mc'_v)_{t_0}^{t_c} + 8,315\lambda] t_c + 2270(\lambda - \mu) = \mu (mc''_p)_{t_0}^{t_z} t_z,$$

где  $\lambda = p_z/p_c$  - степень повышения давления.

Величина степени повышения давления для дизелей устанавливается по опытным данным в основном в зависимости от количества топлива, подаваемого в цилиндр, формы камеры сгорания и способа смесеобразования. Кроме того, на величину  $\lambda$  оказывает влияние период задержки воспламенения топлива, с увеличением которого степень повышения давления растет:

для дизелей с неразделенными камерами сгорания и объёмным смесеобразованием  $\lambda = 1,6 - 2,5$ ;

для вихрекамерных и предкамерных дизелей, а также для дизелей с неразделенными камерами и пленочным смесеобразованием  $\lambda = 1,2 - 1,8$ ;

для дизелей с наддувом величина  $\lambda$  определяется допустимыми значениями температуры и давления в конце видимого процесса сгорания.

В уравнения сгорания входят две неизвестные величины: температура в конце видимого сгорания  $t_z$  и теплоемкость продуктов сгорания при постоянном объеме  $(mc_v)_{t_0}^{t_z}$  или постоянном давлении  $(mc_p)_{t_0}^{t_z}$  при этой же температуре  $t_z$ .

При использовании определения  $(mc_v)_{t_0}^{t_z}$  или  $(mc_p)_{t_0}^{t_z}$  приближенных формул (см. табл.1) уравнения сгорания после подстановки в них числовых значений всех известных параметров и последующих преобразований принимают вид уравнения второго порядка

$$At_z^2 + Bt_z - C = 0,$$

Где A, B, C – числовые значения известных величин.

Откуда

$$t_z = (-B + \sqrt{B^2 + 4AC}) / (2A), \text{ } ^\circ\text{C и } T_z = t_z + 273\text{K}.$$

Определение давления  $p_z$  в конце сгорания зависит от характера осуществляемого цикла. Для двигателей, работающих с подводом теплоты при  $V=const$ , давление (МПа)

$$p_z = p_c \mu T_z / T_c,$$

а степень повышения давления  $\lambda = p_z / p_c$ .

Для бензиновых двигателей

$\lambda = 3,2 - 4,2$ , для газовых двигателей  $\lambda = 3 - 5$ .

Для двигателей, работающих по циклу со смешанным подводом теплоты при  $V=const$  и  $p=const$ :

$$p_z = \lambda p_c,$$

а степень предварительного расширения

$$\rho = \mu / (\mu / \lambda) (T_z / T_c)$$

Для дизелей  $\rho = 1,2 - 1,7$

Значения температуры и давления конца сгорания для современных автомобильных и тракторных двигателей при работе с полной нагрузкой изменяются в следующих пределах:

Для бензиновых двигателей.....

$$T_z = 2400 - 3100 \text{ К}$$

$$p_z = 3,5 - 7,5 \text{ МПа}$$

$$p_{zД} = 3,0 - 6,5 \text{ МПа}$$

Для дизелей.....

$$T_z = 1800 - 2300 \text{ К}$$

$$p_z = p_{zД} = 5,0 - 12,0 \text{ МПа}$$

Для газовых двигателей.....

$$T_z = 2200 - 2500 \text{ К}$$

$$p_z = 3,0 - 5,0 \text{ МПа}$$

$$p_{zД} = 2,5 - 4,5 \text{ МПа}$$

### 2.3 Задания

1. Запустить программу расчетов.
2. Ввести исходные данные.
3. Проверить правильность введения исходных данных ( по графическому материалу, выводимому на экран дисплея).
4. Откорректировать данные ( при необходимости).
5. Распечатать результаты расчетов.
6. Изменить конструктивные и эксплуатационные факторы с последующей распечаткой новых результатов расчетов.
7. После ввода исходных данных и получения результатов расчета на ЭВМ выполнить анализ влияния конструктивных и эксплуатационных факторов на параметры процессов впуска и сжатия.

### 2.4 Вопросы и задания для формирования и контроля владения компетенциями.

1. Какие факторы определяют более низкие значения температуры сгорания у дизеля?
2. Какие факторы определяют величину степени повышения давления?
3. Какие факторы определяют величину коэффициента теплоиспользования?
4. Какие факторы определяют величину максимального давления цикла?

5. Выполнить анализ влияния конструктивных факторов на показатели процесса сгорания
6. Выполнить анализ влияния режимных факторов на показатели процесса сгорания

**Список литературы [1,2,3,4,5]**

### **3.ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССОВ РАСШИРЕНИЯ И ВЫПУСКА**

#### **3.1 Цель и содержание**

Выполнение практической работы имеет своей целью углубление и закрепление знаний теории процессов, характеризующих расширение и выпуск в силовых агрегатах поршневого типа.

Содержанием практической работы является изучение и практическое применение расчетных методик определения параметров, характеризующих степень совершенства организации процессов расширения и выпуска в силовых агрегатах поршневого типа.

Организационная форма занятия – метод анализа конкретных результатов.

Вопросы для обсуждения

1. Анализ факторов определяющих показатели процессов расширения и выпуска в двигателях с принудительным воспламенением
2. Анализ факторов определяющих показатели процессов расширения и выпуска в двигателях с самовоспламенением
3. Анализ конструктивных факторов определяющих показатели процессов расширения и выпуска

#### **3.2 Методические рекомендации**

В результате процесса расширения тепловая энергия топлива преобразуется в механическую работу. В реальных двигателях расширение протекает по

сложному закону, зависящему от теплообмена между газами и окружающими стенками, величины подвода теплоты в результате догорания топлива и восстановления продуктов диссоциации, утечки газа через неплотности, уменьшения теплоемкости продуктов сгорания вследствие понижения температуры при расширении, уменьшения количества газов в связи с началом выпуска (предварение открытия выпускного клапана).

Так же как и при рассмотрении процесса сжатия, условно считают, что процесс расширения в действительном цикле протекает по политропе с переменным показателем, который в начальный период изменяется от 0 до 1 (идет настолько интенсивное догорание топлива, что температура газов повышается, несмотря на расширение), затем увеличивается и достигает значения показателя адиабаты (выделение теплоты вследствие догорания топлива и восстановления продуктов диссоциации уменьшается и становится равным отводу теплоты за счет теплообмена и утечки газов через неплотности) и, наконец, превышает показатель адиабаты (выделение теплоты меньше отвода теплоты). Для упрощения расчетов кривая процесса расширения обычно принимается за политропу с постоянным показателем  $n_2$ . Величина среднего показателя политропы расширения  $n_2$  устанавливается по опытным данным в зависимости от ряда факторов. Значение  $n_2$  возрастает с увеличением коэффициента использования теплоты, отношения хода поршня  $S_k$  диаметру  $D$  цилиндра и интенсивности охлаждения. С ростом нагрузки и увеличение линейных размеров цилиндра (при  $S/D = \text{const}$ ) средний показатель политропы расширения  $n_2$  уменьшается. При увеличении быстроходности двигателя величина  $n_2$ , как правило, снижается, но не для всех типов двигателей и не на всех скоростных режимах.

Учитывая, что по опытным данным величина среднего показателя политропы расширения  $n_2$  незначительно отличается от показателя адиабаты  $\kappa_2$  и, как правило, в меньшую сторону, при предварительных расчетах новых двигателей величину  $n_2$  можно оценить по величине  $\kappa_2$  для соответствующих значений  $\varepsilon$  (или  $\delta$ ),  $\alpha$  и  $T_2$ .

Средние значения величины  $n_2$ , полученные из анализа индикаторных диаграмм, для различных современных силовых агрегатов изменяются в пределах (для номинальной нагрузки):

Для бензиновых двигателей.....1,23-1,30

Для дизелей.....1,18-1,28

Для газовых двигателей.....1,25-1,35

Значения давления (МПа) и температуры (К) в конце процесса расширения определяются по формулам политропического процесса.

Для двигателей, работающих по циклам:

С подводом теплоты при постоянном объеме

$$p_b = p_z / \varepsilon^{n_2},$$

$$T_b = T_z / \varepsilon^{n_2-1};$$

со смешанным подводом теплоты

$$p_b = p_z / \delta^{n_2},$$

$$T_b = T_z / \delta^{n_2-1},$$

где  $\delta = \varepsilon / \rho$  - степень последующего расширения.

Примерные значения давления  $p_b$  и температуры  $T_b$  для современных автомобилей и тракторных двигателей без наддува (на номинальном режиме) лежат в пределах:

Для бензиновых двигателей..... $p_b=0,35-0,60$  МПа

$T_b=1200-1700$ К

Для дизелей.....  $p_b=0,25-0,50$  МПа

$T_b=1000-1200$ К

За период выпуска из цилиндра двигателя удаляются отработавшие газы.

Открытие выпускного клапана до прихода поршня в н.м.т., снижая полезную работу расширения, способствует качественной очистке цилиндра от продуктов сгорания и уменьшает работу, необходимую для выталкивания отработавших газов. В современных двигателях открытие выпускного клапана происходит за 40-80 до н.м.т. и с этого момента начинается истечение отработавших газов с критической скоростью 600-700 м/с. За этот период, заканчивающийся вблизи н.м.т в двигателях без наддува и несколько позже при наддуве, удаляется 60-70% отработавших газов. При дальнейшем движении поршня в в.м.т истечение газов происходит со скоростью 200-250 м/с и к концу выпуска не превышает 60-100 м/с. Средняя скорость истечения газов за период выпуска на номинальном режиме находится в пределах 60-150 м/с.

Закрытие выпускного клапана происходит через 10-50 после в.м.т., что повышает качество очистки цилиндра за счет эжекционного свойства потока газа, выходящего из цилиндра с большой скоростью.

### **3.3 Задания.**

1. Запустить программу расчетов.
2. Ввести исходные данные.
3. Проверить правильность введения исходных данных ( по графическому материалу, выводимому на экран дисплея).
4. Откорректировать данные ( при необходимости).
5. Распечатать результаты расчетов.
6. Изменить конструктивные и эксплуатационные факторы с последующей распечаткой новых результатов расчетов.
7. После ввода исходных данных и получения результатов расчета на ЭВМ выполнить анализ влияния конструктивных и эксплуатационных факторов на параметры процессов расширения и выпуска.

### **3.4 Вопросы и задания для формирования и контроля владения компетенциями.**

1. Какие факторы определяют выбор показателя политропы расширения?
2. Каковы значения скоростей истечения продуктов сгорания в разные фазы процессов выпуска?
3. Какие факторы определяют значения  $T_b, p_b$ ?
4. Какие факторы определяют значения  $T_r, p_r$ ?
5. Выполнить анализ влияния режимных факторов на показатели процессов расширения и выпуска в двигателях с принудительным воспламенением
6. Выполнить анализ влияния режимных факторов на показатели процессов расширения и выпуска в двигателях с самовоспламенением

**Список литературы [1,2,3,4,5]**

## **4.ОЦЕНКА ИНДИКАТОРНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОЧЕГО ЦИКЛА.**

### **4.1 Цель и содержание**

Выполнение практической работы имеет своей целью углубление и закрепление знаний теории процессов, характер протекания которых определяет индикаторные показатели силовых агрегатов поршневого типа.

Содержанием практической работы является изучение и практическое применение расчетных методик определения параметров, характеризующих степень совершенства организации внутрицилиндровых процессов в силовых агрегатах поршневого типа.

Организационная форма занятия – метод анализа конкретных результатов.

Вопросы для обсуждения

1. Индикаторные показатели в двигателях с принудительным воспламенением
2. Индикаторные показатели в двигателях с самовоспламенением
3. Взаимосвязь индикаторных показателей.

#### 4.2 Методические рекомендации

Для бензинового двигателя, работающего по циклу с подводом теплоты при  $V=const$ , теоретическое среднее индикаторное давление

$$p_i' = \frac{p_c}{\varepsilon - 1} \left[ \frac{\lambda}{n_2 - 1} \left( 1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left( 1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right) \right].$$

Для дизеля, работающего по циклу со смешанным подводом теплоты

$$p_i' = \frac{p_c}{\varepsilon - 1} \left[ \frac{\lambda \rho}{n_2 - 1} \left( 1 - \frac{1}{\delta^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left( 1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right) + \lambda(\rho - 1) \right].$$

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

Индикаторный КПД ( $\eta_i$ ) характеризует степень использования в действительном цикле теплоты топлива для получения полезной работы и представляет собой отношение теплоты, эквивалентной индикаторной работе цикла, ко всему количеству теплоты, введенной в цилиндр с топливом.

Для 1 кг топлива

$$\eta_i = L_i / H_u,$$

где  $L$  – теплота, эквивалентная индикаторной работе, МДж/кг;

$H_u$  – низшая теплота сгорания топлива, МДж/кг.

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

Для автомобильных двигателей, работающих на жидком топливе:

$$\eta_i = p_i l_0 \alpha / (H_u \rho_k \eta_v),$$

где  $p_i$  в МПа;  $l_0$  - в кг/кг топл.;  $H_u$  - в МДж/кг топл.;  $\rho_k$  - в кг/м<sup>3</sup>.

### 4.3 Задания.

1. Запустить программу расчетов.
2. Ввести исходные данные.
3. Проверить правильность введения исходных данных ( по графическому материалу, выводимому на экран дисплея).
4. Откорректировать данные ( при необходимости).
5. Распечатать результаты расчетов.
6. Изменить конструктивные и эксплуатационные факторы с последующей распечаткой новых результатов расчетов.
7. После ввода исходных данных и получения результатов расчета на ЭВМ выполнить анализ влияния конструктивных и эксплуатационных факторов на индикаторные показатели рабочего цикла.

### 4.4 Вопросы и задания для формирования и контроля владения компетенциями.

1. В чем состоит основная особенность индикаторных показателей рабочего цикла?
2. Что характеризует  $\eta_i$  ?
3. От каких факторов зависит  $\eta_i$  ?
4. Каковы значения  $\eta_i$  для различных типов силовых агрегатов?
5. Выполнить анализ влияния конструктивных факторов на индикаторные показатели в двигателях с принудительным воспламенением

6. Выполнить анализ влияния конструктивных факторов на индикаторные показатели в двигателях с самовоспламенением

### **Список литературы [1,2,3,4,5]**

## **5.ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОЧЕГО ЦИКЛА.**

### **5.1 Цель и содержание**

Выполнение практической работы имеет своей целью углубление и закрепление знаний теории процессов, характер протекания которых определяет эффективные показатели силовых агрегатов поршневого типа.

Содержанием практической работы является изучение и практическое применение расчетных методик определения параметров, характеризующих степень совершенства организации рабочего процесса в целом.

Организационная форма занятия – решение проблемных ситуаций.

Вопросы для обсуждения

1. Взаимосвязь индикаторных и эффективных показателей
2. Анализ проблем препятствующих улучшению эффективных показателей двигателей с принудительным воспламенением
3. Анализ проблем препятствующих улучшению эффективных показателей двигателей с самовоспламенением

### **5.2 Методические рекомендации**

Потери на преодоление различных сопротивлений оценивают величиной работы, соответствующей мощности механических потерь, отнесенной к единице рабочего объема цилиндра.

При проведении предварительных расчетов двигателей механические потери, характеризуемые средним давлением  $p_m$ , приближенно можно определить по линейным зависимостям от средней скорости поршня.

Для бензиновых двигателей с числом цилиндров до шести и отношением  $S/D > 1$

$$p_M = 0,049 + 0,0152 U_{П.СР};$$

для бензиновых восьмицилиндровых двигателей с отношением  $S/D < 1$

$$p_M = 0,039 + 0,0132 U_{П.СР};$$

для бензиновых двигателей с числом цилиндров до шести и отношением  $S/D \leq 1$

$$p_M = 0,034 + 0,0113 U_{П.СР};$$

для высокофорсированных двигателей с электронным управлением впрыском топлива.  $p_M = 0,024 + 0,0053 U_{П.СР};$

для четырехтактных дизелей с неразделенными камерами

$$p_M = 0,089 + 0,0118 U_{П.СР}.$$

Среднее эффективное давление  $p_e$  представляет собой отношение эффективной работы на валу двигателя к единице рабочего объема цилиндра. В расчетах двигателей  $p_e$  определяется по среднему индикаторному давлению

$$p_e = p_i - p_m$$

Значения среднего эффективного давления  $p_e$  (МПа) при номинальной нагрузке изменяются в следующих пределах:

Для четырехтактных карбюраторных двигателей.....0,6-1,1

двигателей с электронным впрыском.....до 1,3

Для четырехтактных дизелей без наддува.....0,65-0,85

Для четырехтактных дизелей с наддувом.....до 2,0

С ростом среднего эффективного давления улучшаются условия использования рабочего объема цилиндра, что дает возможность создавать более легкие и компактные двигатели.

Отношение среднего эффективного давления к индикаторному называется механическим КПД двигателя:

$$\eta_M = p_e / p_i \text{ или } \eta_M = 1 - p_M / p_i$$

С увеличением потерь в двигателе  $\eta_M$  уменьшается. При снижении нагрузки в карбюраторном двигателе значительно возрастает  $p_M$  из-за увеличения потерь на газообмен. При холостом ходе  $p_i = p_M$  и  $\eta_M = 0$ .

Механический КПД различных двигателей, работающих на номинальном режиме, изменяется в следующих пределах:

Для бензиновых двигателей.....0,75-0,92

Для четырехтактных дизелей без наддува.....0,7-0,82

Полезная работа, получаемая на валу двигателя в единицу времени, называется эффективной мощностью  $N_e$ :

$$N_e = N_i \eta_M = p_e V_h i n / (30 \tau),$$

где  $p_e$  - Мпа,  $V_h$  - л,  $n$  - мин<sup>-1</sup>.

Связь между эффективной мощностью и основными параметрами двигателя:

$$N_e = \frac{V_h i n H_u}{30 \tau \alpha l_0} \rho_k \eta_v \eta_i \eta_M,$$

где  $V_h$  - л,  $n$  - мин<sup>-1</sup>,  $H_u$  - МДж/кг,  $\rho_k$  - кг/м<sup>3</sup>.

Из анализа следует, что эффективная мощность двигателя может быть повышена в общем случае за счет:

- увеличения рабочего объема цилиндра,
- увеличения числа цилиндров,
- увеличения частоты вращения коленчатого вала двигателя, перехода с четырехтактного на двухтактный цикл,
- повышения низшей теплоты сгорания топлива,
- повышения плотности заряда,
- повышения коэффициента наполнения (например, путем наддува, а также за счет улучшения организации газообмена, снижения сопротивлений на впуске и выпуске, применения инерционного наддува для увеличения дозарядки и т.д.),
- повышения индикаторного КПД (за счет совершенствования процесса сгорания и сокращения потерь теплоты топлива в процессах сжатия и расширения),
- повышения механического КПД двигателя (например, за счет использования высококачественных масел, уменьшения пар трения).

Отношение количества теплоты, эквивалентной полезной работе на валу двигателя, к общему количеству теплоты, внесенной в двигатель с топливом, называется эффективным КПД:

$$\eta_e = L_e / H_u,$$

где  $L_e$  - теплота, эквивалентная эффективной работе, МДж/кг топл.,  $H_u$  - низшая теплота сгорания топлива, МДж/кг топл.

Связь между эффективным и механическим КПД двигателя определяется выражением:

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

Для двигателей, работающих на жидком топливе:

$$\eta_e = \frac{p_e \alpha L_0}{\rho_k \rho_v H_u}.$$

Эффективный КПД двигателя характеризует степень использования теплоты топлива в двигателе с учетом всех потерь – тепловых и механических.

Значения эффективного КПД при номинальном режиме:

Для бензиновых двигателей.....0,25-0,38

Для дизелей без наддува.....0,35-0,42

Для дизелей с наддувом.....0,23-0,30

Более высокие значения эффективного КПД у дизелей по сравнению с  $\eta_e$  бензиновых двигателей являются в основном следствием повышенных значений у них степени сжатия и коэффициентов избытка воздуха, (а следовательно, и более полного сгорания топлива). Двигатели с впрыском легкого топлива из-за более точного дозирования имеют меньшую неполноту сгорания чем карбюраторные.

Эффективный удельный расход  $[г/(кВт*ч)]$  жидкого топлива

$$g_e = 3600/(H_u \eta_e) \text{ или } g_e = 3600 \rho_k \eta_v / (p_e l_0 \alpha).$$

Для современных автомобильных и тракторных двигателей эффективный удельный расход топлива при номинальной нагрузке имеет следующие значения:

Для двигателей с электронным впрыском топлива..... $g_e=200-290$  г/(кВт\*ч)

Для карбюраторных двигателей..... $g_e=230-310$  г/(кВт\*ч)

Для дизелей с неразделенными камерами..... $g_e=200-235$  г/(кВт\*ч)

Для вихрекамерных и предкамерных дизелей..... $g_e=220-260$  г/(кВт\*ч)

### 5.3 Задания.

1. Запустить программу расчетов.
2. Ввести исходные данные.

3. Проверить правильность введения исходных данных ( по графическому материалу, выводимому на экран дисплея).
4. Откорректировать данные ( при необходимости).
5. Распечатать результаты расчетов.
6. Изменить конструктивные и эксплуатационные факторы с последующей распечаткой новых результатов расчетов.
7. После ввода исходных данных и получения результатов расчета на ЭВМ выполнить анализ влияния конструктивных и эксплуатационных факторов на эффективные показатели рабочего цикла.

#### **5.4 Вопросы и задания для формирования и контроля владения компетенциями.**

1. В чем состоит основная особенность эффективных показателей рабочего цикла?
2. Что характеризует  $\eta_e$  ?
3. От каких факторов зависит  $\eta_e$  ?
4. Каковы значения  $\eta_e$  для различных типов силовых агрегатов?
5. Каким образом связаны между собой индикаторные и эффективные показатели?
6. Выполнить сравнительный анализ эффективных показателей двигателей с различными способами воспламенения
7. Выполнить сравнительный анализ эффективных показателей двигателей с различными способами организации топливоподачи

**Список литературы [1,2,3,4,5]**

## МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ К ВЫПОЛНЕНИЮ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

### **1. Цель и задача расчетно-графической работы**

Выполнение расчетно-графической работы имеет своей целью углубление и закрепление знаний теории рабочих процессов силовых агрегатов с их последующим использованием при выполнении курсового проекта в рамках дисциплины «Основы расчёта энергетических установок». Задачей расчетно-графической работы является изучение и практическое применение методики выполнения поверочных расчётов, предшествующих расчётам проектированным, выполняемым в курсовом проекте.

### **2. Содержание и объём расчетно-графической работы**

Расчетно-графическая работа выполняется на тему: «Исследование рабочих процессов транспортных силовых агрегатов». Индивидуальное задание студенты получают по единой форме (приложение А). В задание включены:

- тип и назначение силового агрегата;
- номинальная мощность и соответствующая ей частота вращения коленчатого вала;
- вид и марка используемого топлива;
- модель силового агрегата.

Разделы задания:

- 1 Введение
- 2 Технико-экономическое обоснование задания
- 3 Расчетное исследование рабочего цикла и показателей работы
- 4 Построение индикаторной диаграммы, расчет характеристик
- 5 Анализ результатов
- 6 Литература

Объем пояснительной записки к расчетно-графической работе 14–18 страниц рукописного текста.

### 3. Методика расчета рабочего цикла и показателей работы

#### 3.1 Выбор дополнительных характеристик и параметров

Выбор дополнительных характеристик и параметров является необходимым условием, предшествующем началу расчётных исследований.

*Характеристики конструкции* двигателя, влияющие на характер рабочего цикла (число цилиндров, форма камеры сгорания, способ смесеобразования, фазы газораспределения, материалы поршня и крышки цилиндра) принимают по прототипу, ориентируясь на опыт отечественного и зарубежного автомобильного двигателестроения и с учетом его современного состояния и направлений развития.

*Характеристики топлива* – элементарный состав, молекулярную массу и низшую теплоту сгорания принимают по таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики топлива

| Параметры топлива                            | Бензин  | Дизельное |
|----------------------------------------------|---------|-----------|
| Доля углерода в топливе, $C$                 | 0,855   | 0,870     |
| Доля водорода в топливе, $H$                 | 0,145   | 0,126     |
| Доля кислорода в топливе, $O_T$              | 0       | 0,004     |
| Средняя молекулярная масса, $\mu_T$ кг/кмоль | 110–120 | 180–200   |
| Низшая теплота сгорания, $H_u$ , кДж/кг      | 44000   | 42500     |

*Коэффициент избытка воздуха  $\alpha$*  выбирают обоснованно в пределах 0,96–1,20 для двигателей с принудительным зажиганием и 1,14–1,5 для двигателей с самовоспламенением. Выбор величины  $\alpha$  обосновывается с учетом его влияния на мощность, экономичность, токсичность двигателя.

Меньшим значениям  $\alpha$  соответствует большая удельная мощность, но удельный расход топлива и токсичность выхлопных газов при этом выше из-за неполноты сгорания (обусловленной недостатком воздуха либо неоднородностью топливовоздушной смеси). В двигателях с самовоспламенением меньшие значения  $\alpha$  принимают для пленочного и объемно-пленочного смесеобразования, средние – для предкамерного и вихрекамерного, а верхние значения – при объемном смесеобразовании. В двигателях с принудительным воспламенением меньшие значения  $\alpha$  принимают в расчете на применение устройств, обеспечивающих приготовление богатых смесей на мощностных режимах.

Коэффициент короткоходности (параметр КШМ) принимают:

$\kappa = S/D = 0,8...1,2$ . Для повышения механического и эффективного КПД за счет снижения средней скорости поршня, современные модели выполняют короткоходными ( $\kappa < 1$ ).

### 3.2 Атмосферные условия, показатели процессов выпуска и впуска

Атмосферные условия: давление  $p_0 = 0,1$  МПа; температура  $T_0 = 288$  К;

плотность (кг/м<sup>3</sup>) воздуха (на впуске)  $\rho_0 = \frac{p_0 \cdot 10^6}{B \cdot T_0}$ ,

где  $B = 8314/\mu_B$  Дж/(кг·град) – газовая постоянная для воздуха;

$\mu_B = 28,97$  – молекулярная масса воздуха.

Принимают значения температуры  $T_r$  и давления  $p_r$  остаточных газов, учитывая пределы их изменений и особенности рассчитываемого ДВС:

$T_r = 700...1200$  К,  $p_r = 0,011...0,015$  МПа.

Подогрев свежего заряда от горячих стенок впускного тракта и цилиндра  $\Delta T = 20 - 40^\circ$  для двигателей с самовоспламенением. Для двигателей с

принудительным воспламенением  $T = 0 - 20^\circ$  с учетом охлаждения заряда от испарения бензина. Увеличению подогрева способствуют специальные устройства для подогрева заряда, применяемые на двигателях с принудительным зажиганием, снижение расчетного числа оборотов, воздушное охлаждение и одностороннее расположение на двигателе впускных и выпускных трубопроводов. Увеличение подогрева снижает удельную мощность двигателя.

Понижение давления в цилиндре на впуске, МПа:

$$\Delta p_a = (\beta^2 + \xi_{bn}) \cdot \frac{\rho_0}{2} \cdot \omega_{bn}^2 \cdot 10^{-6}.$$

Здесь:  $(\beta^2 + \xi_{bn}) = 2,5 - 4$  учитывает сопротивление впускного тракта и влияния затухания потока заряда в цилиндре. Меньшие значения соответствуют коротким, без резких поворотов впускным трубопроводам с чисто обработанной внутренней поверхностью и относительно большим проходным сечением впускных клапанов. Уменьшение коэффициента способствует увеличению мощности. Занижение или завышение этого коэффициента – одна из возможных причин расхождения расчетных и фактических параметров силового агрегата;

$W_{en} = 70 - 130 \text{ м/с}$  – средняя скорость движения заряда в проходном сечении клапана. Меньшие значения скорости соответствуют малооборотным и короткоходным двигателям, у которых клапаны могут иметь сравнительно большие проходные сечения. Заданный уровень скорости также в значительной степени определяет соответствие результатов расчёта технической характеристике.

Давление в конце впуска, МПа:

$$p_a = p_0 - \Delta p_a.$$

Коэффициент остаточных газов

$$\gamma_r = \frac{p_r \cdot (T_0 + \Delta T)}{T_r \cdot (\varepsilon \cdot p_a - p_r)}.$$

Коэффициент наполнения

$$\eta_v = \frac{(\varepsilon \cdot p_a - p_r) \cdot T_0}{p_0 \cdot (\varepsilon - 1) \cdot (T_0 + \Delta T)}.$$

Температура в конце впуска, К:

$$T_a = \frac{T_0 + \Delta T + \gamma_r \cdot T_r}{1 + \gamma_r}.$$

### 3.3 Показатели процесса сжатия

Показатель политропы сжатия  $n_1$  принимают в пределах:

1,30 – 1,37 – для карбюраторных двигателей;

1,32 – 1,39 – для дизелей.

Большие значения  $n_1$  относятся к высокооборотным двигателям большого литража одного цилиндра, имеющим пониженную степень сжатия и воздушное охлаждение. Изменения  $n_1$  в указываемых пределах большого влияния на эффективные показатели двигателя не оказывают.

Давление в конце сжатия, МПа:

$$p_c = p_a \cdot \varepsilon^{n_1}.$$

Реальные значения  $p_c$  находятся в пределах 0,9–1,5 МПа для карбюраторных и 3,5–5,5 МПа для дизельных двигателей.

Температура в конце сжатия, К:

$$T_c = T_a \cdot \varepsilon^{n_1 - 1}.$$

Для сравнения:

$T_c = 550 - 750 \text{ К}$  – двигатели с принудительным воспламенением;

$T_c = 700 - 900 \text{ К}$  – двигатели с самовоспламенением.

### 3.4 Процесс сгорания

Термохимический расчет ведется для сгорания 1 кг топлива. Теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг жидкого топлива:

$$l_0 = \frac{1}{0,23} \cdot \left( \frac{8}{3} C + 8H - O_T \right) \text{ кг возд/кг топл};$$

$$L_0 = \frac{1}{0,21} \cdot \left( \frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O_T}{32} \right) \text{ кмоль/кг топл.}$$

Здесь  $C$ ,  $H$  и  $O_T$  берут в соответствии с принятым элементарным составом топлива по таблице 1.

Количество горючей смеси с 1 кг топлива

$$M_1 = \alpha L_0 + 1/\mu_T \text{ кмоль/кг.}$$

То же для дизелей

$$M_1 \approx \alpha L_0 \text{ кмоль/кг.}$$

Доля углерода топлива, сгоревшего в  $CO$  при  $\alpha < 1$ ,

$$\varphi = 2(1 - \alpha)(1 + 3H/C).$$

При  $\alpha \geq 1$   $\varphi = 0$ .

Количество отдельных компонентов продуктов сгорания при выбранном  $\alpha$ , кмоль/кг топлива:

Количество  $CO$   $M_{CO} = \frac{C}{12} \cdot \varphi.$

Количество  $CO_2$   $M_{CO_2} = \frac{C}{12}(1 - \varphi).$

Количество  $H_2O$   $M_{H_2O} = \frac{H}{2}.$

Количество  $N_2$   $M_{N_2} = 0,79\alpha \cdot L_0.$

Количество  $O_2$   $M_{O_2} = 0,21(\alpha - 1)L_0.$

$M_{O_2} = 0$  при  $\alpha < 1$

Общее количество продуктов сгорания

$$M_2 = M_{CO} + M_{CO_2} + M_{H_2O} + M_{N_2} + M_{O_2}.$$

Относительное количество отдельных компонентов продуктов сгорания, кмоль/кг:

$$r_{CO} = M_{CO}/M_2; \quad r_{CO_2} = M_{CO_2}/M_2; \quad r_{H_2O} = M_{H_2O}/M_2;$$

$$r_{N_2} = M_{N_2}/M_2; \quad r_{O_2} = M_{O_2}/M_2; \quad \sum r_i = 1.$$

Средние молярные теплоемкости рабочего тела, (кДж/(кмоль·К)): в конце сжатия  $\mu C_v = 20,129 + 0,002411T_C$ ;

в конце сгорания для смеси при  $0,7 < \alpha < 1$

$$\mu C_v'' = (18,422 + 2,5958\alpha) + (1,549 + 1,376\alpha) \cdot 10^{-3} T_z.$$

Для смеси с  $1 < \alpha < 2$

$$\mu C_v = (20,097 + 0,21/\alpha) + (1,549 + 1,376\alpha) \cdot 10^{-3} T_z.$$

Заметим, подставляя значения  $\alpha$ , получают не число, а уравнение типа  $\mu C_v = a + bT_z$  с искомым  $T_z$ .

Его далее применяют в уравнении сгорания.

Теоретический коэффициент молекулярного изменения

$$\mu_0 = M_2 / M_1.$$

Действительный коэффициент молекулярного изменения

$$\mu = \frac{\mu_0 + \gamma_r}{1 + \gamma_r}.$$

Уравнение сгорания для определения температуры конца сгорания в двигателе с самовоспламенением

$$\frac{\xi_z \cdot H_u}{M_1(1 + \gamma_r)} + (\mu C_v + 8,314\lambda) \cdot T_C = \mu T_z \cdot \mu C_p''.$$

Для двигателей с принудительным воспламенением расчет температуры сгорания производится по уравнению:

$$\frac{\xi_z \cdot (H_u - \Delta H_u)}{M_1(1 + \gamma_r)} + \mu C_v \cdot T_C = \mu \cdot T_z \cdot \mu C_v''.$$

В этих уравнениях:

$$\mu C_p'' = \mu C_v'' + 8,314 - \text{теплоемкость при } p = \text{const};$$

$\Delta H_u = 1,2 \cdot 10^5 (1 - \alpha) L_0$  – недовыделившаяся теплота – вследствие неполного сгорания при  $\alpha < 1$ . При сгорании бедных смесей этой потери нет; коэффициент использования теплоты в процессе сгорания задают в пределах:

$$\xi_z = 0,85 - 0,95 - \text{для двигателей с принудительным воспламенением};$$

$\xi_z = 0,70 - 0,90$  – для двигателей с самовоспламенением.

Меньшие значения  $\xi_z$  соответствуют высокооборотным двигателям.

Степень повышения давления для дизелей принимают:  $\lambda = 1,4 - 2,2$ .

Большие значения  $\lambda$  для открытых неразделенных камер сгорания.

Для двигателей с принудительным воспламенением  $\lambda$  рассчитывается. Выполнение подстановок в уравнение сгорания после преобразований, приводит к квадратному уравнению типа:

$$AT_z^2 + BT_z + C = 0.$$

Положительное значение корня данного уравнения является искомой температурой конца процесса сгорания.

В норме  $T_z = 2300 - 2700 \text{ К}$  для двигателей с принудительным воспламенением,  $T_z = 1800 - 2200 \text{ К}$  для двигателей с самовоспламенением.

Степень повышения давления в процессе сгорания для двигателей с принудительным воспламенением:

$$\lambda = \mu \frac{T_z}{T_C}.$$

Максимальное расчетное давление сгорания  $p_z = \lambda p_C$ .

### 3.5 Процесс расширения

Для двигателей с принудительным воспламенением степень предварительного расширения равна 1, а степень последующего расширения равна степени сжатия.

Для двигателей с самовоспламенением степень предварительного расширения

$$\rho = \frac{\mu}{\lambda} \cdot \frac{T_z}{T_C},$$

степень последующего расширения

$$\delta = \frac{\varepsilon}{\rho}.$$

Показатель политропы расширения выбирают:

$n_2 = 1,23 - 1,30$  – для двигателей с принудительным воспламенением;

$n_2 = 1,18 - 1,28$  – для двигателей с самовоспламенением.

С повышением скоростного режима и уменьшением коэффициента короткоходности величина  $n_2$ , как правило, уменьшается.

Давление (МПа) конца процесса расширения

$$p_b = p_z \frac{1}{\delta^{n_2}}.$$

$p_b = 0,4 - 0,6$  МПа – для двигателей с принудительным воспламенением

и  $p_b = 0,3 - 0,5$  МПа – для двигателей с самовоспламенением.

Температура конца процесса расширения

$$T_b = T_z \frac{1}{\delta^{n_2-1}}.$$

$T_b = 1300 - 1700$  К – для двигателей с принудительным воспламенением

и  $T_b = 1000 - 1200$  К – для двигателей с самовоспламенением.

Для двигателей с принудительным воспламенением  $\rho = 1$ ,  $\delta = \varepsilon$ .

### 3.6 Индикаторные показатели рабочего цикла

Среднее индикаторное давление расчетное, МПа:

$$p_{ip} = p_a \frac{\varepsilon^{n_1}}{\varepsilon - 1} \left[ \lambda(\rho - 1) + \frac{\lambda \cdot \rho}{n_2 - 1} \cdot \left( 1 - \frac{1}{\delta^{n_2-1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \cdot \left( 1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1-1}} \right) \right].$$

При расчетах двигателей с принудительным воспламенением принимают  $\rho = 1$ ,  $\delta = \varepsilon$

Среднее индикаторное давление действительное

$$p_i = \varphi_i \cdot p_{ip}.$$

Здесь  $\varphi_i = 0,92 - 0,97$  – коэффициент полноты индикаторной диаграммы, учитывающий скругления расчетной диаграммы. Меньшие значения  $\varphi_i$  принимать для быстроходных двигателей с принудительным воспламенением и двигателей с самовоспламенением с разделенной камерой сгорания.

$p_i = 0,8 - 1,2$  МПа – для двигателей с принудительным воспламенением,

$p_i = 0,75 - 1,05$  МПа – для двигателей с самовоспламенением.

Индикаторный КПД

$$\eta_i = \frac{l_0}{H_u} \cdot \frac{\alpha \cdot p_i}{\eta_v \cdot p_0}.$$

Здесь:  $H_u$  – в МДж/кг,  $p_i$  – в МПа.

Удельный индикаторный расход топлива, г/(кВт·ч):

$$g_i = \frac{3600}{H_u \cdot \eta_i}.$$

Среднее давление механических потерь определяется в МПа по одному из уравнений:

$p_m = 0,049 + 0,0152V_{П.СР.}$  – для двигателей с принудительным воспламенением при  $i < 6$ ,  $\kappa > 1$ ;

$p_m = 0,039 + 0,0132V_{П.СР.}$  – для двигателей с принудительным воспламенением при  $i = 8$ ,  $\kappa < 1$ ;

$p_m = 0,035 + 0,0113V_{П.СР.}$  – для двигателей с принудительным воспламенением при  $i < 6$ ,  $\kappa < 1$ ;

$p_m = 0,089 + 0,0113V_{П.СР.}$  – для двигателей с самовоспламенением.

Здесь:

$$V_{П.СР.} = \frac{S \cdot n}{30} \text{ – средняя скорость поршня, м/с;}$$

$S$  – ход поршня в м (принят предварительно по базовой модели).

### 3.7 Эффективные показатели рабочего цикла

Среднее эффективное давление:

$$p_e = p_i - p_m.$$

$p_e = 0,6 - 0,95$  МПа для двигателей с принудительным воспламенением и  $0,55 - 0,85$  МПа для двигателей с самовоспламенением без надува.

Рабочий объем  $V_h$  и размеры цилиндра ( $D$ ,  $S$ ) находят с учетом заданных (по прототипу) числа цилиндров  $i$ , коэффициента тактности и ранее выбранного коэффициента короткоходности и определяют из выражений:

$$V_h = 30 \cdot Ne \cdot \tau / (p_e \cdot n \cdot i), \text{ л};$$

$$D = 100 \cdot (4 \cdot V_h / (\pi \cdot \kappa))^{0,333}, \text{ мм};$$

$$S = \kappa \cdot D, \text{ мм}.$$

Далее следуют уточнения, перерасчет: по приведенным выше формулам вычисляют фактическую среднюю скорость поршня  $V_{П.СР.}$  по найденному ходу поршня  $S$ , по ней – среднее давление механических потерь  $p_m$  а затем  $p_e$ ,  $V_h$ ,  $D$ . Полученные размеры цилиндра округляют до целых чисел, полученные уточненные параметры и эффективные показатели используют в последующих расчетах и в конструкции КШМ.

Механический КПД:

$$\eta_m = \frac{p_e}{p_i}.$$

Действительные значения  $\eta_m = 0,7 \div 0,9$ .

Эффективный КПД:

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_m.$$

Для современных моделей:

$\eta_e = 0,25 - 0,35$  – двигатели с принудительным воспламенением;

$\eta_e = 0,31 - 0,40$  – двигатели с самовоспламенением.

Удельный эффективный расход топлива, г/(кВт·ч):

$$g_e = \frac{g_i}{\eta_m}.$$

Для двигателей с принудительным воспламенением –  
 $g_e = 210 - 310 \text{ г/(кВт·ч)}$ , для двигателей с самовоспламенением –  
 $g_e = 205 - 250 \text{ г/(кВт·ч)}$ .

Эффективная мощность, кВт:

$$N_e = \frac{p_e \cdot n \cdot i \cdot V_h}{30 \cdot \tau}.$$

Эффективный крутящий момент (Н·м):

$$M_e = \frac{9550 \cdot N_e}{n}$$

$N_e$  – кВт,  $n$  – мин<sup>-1</sup>.

Литровая мощность, кВт/л:

$$N_l = \frac{p_e \cdot n}{30 \cdot \tau}.$$

Часовой расход топлива, кг/ч:

$$G_T = 10^{-3} \cdot g_e \cdot N_e.$$

Минимальный удельный расход топлива по внешней характеристике находят ориентировочно  $g_{e \min} \approx 0,95 g_e$ .

#### **4. Построение индикаторной диаграммы, расчет характеристик, анализ результатов**

По результатам расчетов строят индикаторную диаграмму рабочего цикла. Она позволяет выявить газовые нагрузки на детали двигателя в любой момент рабочего цикла. Методика построения и примеры диаграммы приведены в [4].

Расчёт на ЭВМ характеристик внешней и нагрузочной выполняют по методике, рассмотренной в практических работах 1-5. Табличные формы

характеристик используют для выявления и оценки значений показателей на номинальном и других режимах работы.

Полученные результаты сопоставляют с данными по базовой модели, выявляя отличия показателей работы и объясняя причины отличий. Для этого составляют и используют таблицу 2, отмечают изменения и указывают их причины. Главная задача анализа – показать, где полученные изменения есть результат реализации авторского замысла, а где - результат несовершенства методики или ошибок в расчетах. Для анализа весьма полезны скоростная внешняя и нагрузочная характеристики.

В заключение следует дать общую оценку исследованного силового агрегата по технико-экономическим показателям и перспективности направлений его совершенствования.

Таблица 2 – Сравнение показателей

| №<br>п/п | Наименование и размерности                                    | Обозначение   | Значение по<br>расчету | Значение по<br>базовой<br>модели |
|----------|---------------------------------------------------------------|---------------|------------------------|----------------------------------|
| 1        | Диаметр цилиндра, мм                                          | $D$           |                        |                                  |
| 2        | Ход поршня, мм                                                | $S$           |                        |                                  |
| 3        | Литраж, л                                                     | $V_S$         |                        |                                  |
| 4        | Коэффициент<br>короткоходности                                | $\kappa$      |                        |                                  |
| 5        | Степень сжатия                                                | $\varepsilon$ |                        |                                  |
| 6        | Номинальная мощность, кВт                                     | $N_e$         |                        |                                  |
| 7        | Число оборотов при<br>номинальной мощности, мин <sup>-1</sup> | $n$           |                        |                                  |
| 8        | Средняя скорость поршня, м/с                                  | $V_{П.СР.}$   |                        |                                  |
| 9        | Номинальный крутящий<br>момент, Н·м                           | $M_e$         |                        |                                  |

|    |                                                            |              |  |  |
|----|------------------------------------------------------------|--------------|--|--|
| 10 | Среднее эффективное давление при номинальной мощности, МПа | $p_e$        |  |  |
| 11 | Мощность литровая, кВт/л                                   | $N_l$        |  |  |
| 12 | Минимальный удельный расход топлива, г/(кВт·ч)             | $g_{e \min}$ |  |  |
| 13 | Сорт топлива                                               | -            |  |  |
| 14 | Масса двигателя:<br>полная, кг<br>удельная, кг/кВт         | $M$<br>$m$   |  |  |

## 5. Общие требования к оформлению расчетно-графической работы.

Пояснительная записка к расчетно-графической работе должна содержать все разделы в соответствии с заданием. Текстовая часть должна соответствовать ГОСТ 2.105. Общие требования к текстовым документам. Расчетно-графическая работа должна быть выполнена с применением печатающих и графических устройств вывода ЭВМ или рукописным способом с высотой букв и цифр не менее 2,5 мм. Цифры и буквы должны писаться четко тушью или пастой черного цвета. Нумерация страниц пояснительной записки сквозная, начиная с третьей страницы (первая страница титульный лист, вторая задание на РГР). Таблицы, рисунки, формулы также имеют сквозную нумерацию.

## 6. Рекомендации по организации выполнения расчетно-графической работы, примерный календарный план выполнения

Расчетно-графическая работа выполняется параллельно с изучением теории рабочих процессов, лабораторными и практическими занятиями, что обеспечивает комплексный подход к освоению основ теории и практики

эксплуатации автомобильных силовых агрегатов. У студентов заочной формы обучения эта задача решается выполнением контрольной работы по названной теме в течение семестра, практической деятельностью в работе по специальности и выполнением лабораторных и практических работ в период экзаменационной сессии.

Предварительный выбор необходимых дополнительных данных для расчетных исследований производится самостоятельно с использованием методических указаний, литературы, лекционного материала. Начинать выполнение РГР рекомендуется после принятия окончательного варианта дополнительных данных в результате собеседования с преподавателем.

Задание на РГР студент получает на второй неделе теоретических занятий. Рекомендуемый календарный план выполнения РГР составляется преподавателем и предлагается студентам при выдаче индивидуального задания. Ритмичная работа в соответствии с календарным планом при условии регулярных консультаций у преподавателя обеспечивает своевременное и качественное выполнение и защиту РГР.

## **7. Порядок защиты и ответственность студента за выполнение расчетно-графической работы**

Выполненную расчетно-графическую работу студент сдает на проверку за 7–14 дней до начала зачетной сессии. Работа выполненная в соответствии с календарным планом и при условии регулярных консультаций после проверки, как правило, сразу допускается к защите. В других случаях при необходимости работа может быть возвращена студенту с конкретными замечаниями для доработки. Студенты, не выполнившие или выполнившие, но не защитившие РГР, к зачету не допускаются.

**Основная литература.**

1. Автомобильные двигатели : учебник для студ. высш. учеб. заведений (Под ред. М.Г.Шатрова.)

М.Г.Шатров, К.А.Морозов, И.В. Алексеев и др.

М.: Издательский центр "Академия", 2010 г., 464 стр.

2. Двигатели внутреннего сгорания. В 3 кн. Кн. 1. Теория рабочих процессов: Учебник для вузов (Под ред. В.Н.Луканина и М.Г.Шатрова. 4-е изд., испр.)

В.Н.Луканин, К.А.Морозов, А.С.Хачиян и др.

М.: Высш.шк., 2010 г., 479 стр.

**Дополнительная литература.**

3.Автомобильные двигатели : учебник для вузов / [В.М. Архангельский и др.]; под ред. М.С. Ховаха. – Изд. 2-е, пер. и доп.- М.: машиностроение, 1977.-591с.: ил.- Гриф: Доп. М.О.- Библиогр.: с.576-577. – Предм. Указ.: с . 578-587.

4.Расчет автомобильных и тракторных двигателей : учеб. Пособие для вузов/ А.И. Колчин, В.П. Демидов. – М.: Высшая ,2002- 344 с.: ил.-Библиогр.: с.336

5. Соснин Д.А., Яковлев В.Ф. Новейшие автомобильные электронные системы. – М.: СОЛОН-Пресс, 2005.

6. Системы впрыска легковых автомобилей: эксплуатация, диагностика, техническое обслуживание и ремонт / В.И. Ерохов. – М. : Астрель: АСТ: Транзиткнига, 2006.

7. Автомобильный справочник BOSCH. Перевод с англ. / Вед. Ред. Маслов В.В. – М.: “За рулем”, 2004.

8. Системы управления бензиновыми двигателями. Справочник BOSCH. – М.: “За рулем”, 2005.

9. Системы управления дизельными двигателями. Справочник BOSCH. – М.: “За рулем”, 2005.
10. Автомобили: Теория и конструкция автомобиля и двигателя: Учебник для студентов учреждений средн. проф. образования Вахламов В.К., Шатров М.Г., Юрчевский А.А.М.: Издательский центр "Академия", 2007 г., 816 стр.
11. Краткий автомобильный справочник./ Кисуленко Б.В. и др. –М.: НПСТ «Трансконсалтинг», 2004.- 1048 с

### **Интернет ресурсы.**

11. [www.uchebniki-online.com](http://www.uchebniki-online.com) – Учебники по теории процессов поршневых двигателей.
12. <http://systemsauto.ru/engine/engine.html> - «Системы современного автомобиля».
13. <http://tezcar.ru/u-dvig.html> - «Информационный сайт об автомобилях».

### **Программное обеспечение.**

13. Компьютерная программа « Исследование рабочих циклов поршневых ДВС»

**ПРИМЕРНЫЕ ТЕМЫ РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЙ РАБОТЫ**

1. Исследование рабочих процессов силового агрегата автомобиля  
AUDI A4
2. Исследование рабочих процессов силового агрегата автомобиля  
BMW 346
3. Исследование рабочих процессов силового агрегата автомобиля  
FORD FOCUS
4. Исследование рабочих процессов силового агрегата автомобиля  
HONDA CIVIC
5. Исследование рабочих процессов силового агрегата автомобиля  
HYUINDAI ACCENT
6. Исследование рабочих процессов силового агрегата автомобиля KIA  
SPECTRA
7. Исследование рабочих процессов силового агрегата автомобиля  
BAZ 2329
8. Исследование рабочих процессов силового агрегата автомобиля ГАЗ  
3221
9. Исследование рабочих процессов силового агрегата автомобиля  
BAZ 2115
10. Исследование рабочих процессов силового агрегата автомобиля  
BAZ 2110
11. Исследование рабочих процессов силового агрегата автомобиля  
МОСКВИЧ 2141
12. Исследование рабочих процессов силового агрегата автомобиля  
RENAULT MEGANE
13. Исследование рабочих процессов силового агрегата автомобиля  
TOYOTA COROLLA

## Приложение Б

Студент \_\_\_\_\_ Дата \_\_\_\_\_

ПРОТОКОЛ  
ИСПЫТАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ

Марка двигателя \_\_\_\_\_

Литраж \_\_\_\_\_ л; Степень сжатия \_\_\_\_\_

Марка применяемого топлива \_\_\_\_\_

Плотность топлива (для дизтоплива) \_\_\_\_\_

 $\text{кг/м}^3$ 

Атмосферные условия: температура \_\_\_\_\_

 $^{\circ}\text{C}$ 

барометрическое давление \_\_\_\_\_

мм.рт.ст

Снимаемая характеристика \_\_\_\_\_

| №  | Показатели размерность                                                                                                          | Опыт № |   |   |   |   |   |   |   |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|---|---|---|---|---|---|---|
|    |                                                                                                                                 | 1      | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 1  | Нагрузка, % от полной                                                                                                           |        |   |   |   |   |   |   |   |
| 2  | Число оборотов, 1/мин                                                                                                           |        |   |   |   |   |   |   |   |
| 03 | Показатели тормоза, Нм                                                                                                          |        |   |   |   |   |   |   |   |
| 4  | Мощность эффективная, кВт                                                                                                       |        |   |   |   |   |   |   |   |
| 5  | Среднее эффективное давление, МПа                                                                                               |        |   |   |   |   |   |   |   |
| 6  | Расход топлива: за опыт<br>Время опыта, с<br>Часовой расход, кг/ч<br>Удельный эффективный, г/кВтч<br>Удельный цикловой, мг/ц.л. |        |   |   |   |   |   |   |   |
| 7  | Расход воздуха:<br>Теоретический, кг/ч<br>За опыт, г<br>Время опыта, с<br>Часовой расход, кг/ч                                  |        |   |   |   |   |   |   |   |
| 8  | Коэффициенты:<br>избытка воздуха<br>наполнения<br>Эффективный к.п.д.                                                            |        |   |   |   |   |   |   |   |
| 9  | Контрольные параметры:<br>Температура, $^{\circ}\text{C}$<br>Давление масла, кгс/см <sup>2</sup>                                |        |   |   |   |   |   |   |   |
| 10 | Угол опережения зажигания<br>(впрыска)                                                                                          |        |   |   |   |   |   |   |   |

## Приложение В

РАСЧЕТ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВС  
ВЫПОЛНИЛ СТУДЕНТ

## ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Шифр двигателя- 1 D7= .9  
 ВЫСОТА НАД МОРЕМ- 0 м, T0= 24 грд С  
 ШИФР ДОБАВ.ТОПЛИВА- 16 ,ЕГО ДОЛЯ- 0  
 ЧИСЛО ЦИЛИНДРОВ- 4 СТЕПЕНЬ СЖАТИЯ- 10.8  
 НАДДУВ- 0 СТЕПЕНЬ ПОВЫШЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ- 3.922  
 S/D= .0875 / .0831 УДЕЛЬНАЯ ПЛОЩАДЬ ВПУСКНЫХ ОРГАНОВ- 3  
 УГОЛ ЗАКРЫТИЯ ВП.КЛАПАНОВ- 55  
 ПОДОГРЕВ НА ВПУСКЕ В ГРАДУСАХ- 10 ALFA= 1.1  
 ЧАСТОТА ВРАЩЕНИЯ НОМИНАЛЬНАЯ ОБ/МИН- 6000  
 КОЭФФИЦИЕНТ РАСХОДА ДИФФУЗОРА- .9  
 ТАКТНОСТЬ- 4  
 ВНЕШНЯЯ СКОРОСТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДВИГАТЕЛЯ

| O1  | O2  | A    | Q   | NE   | MK    | GE     | GT   | TTV  | TTI  | TTM  | TTE  |
|-----|-----|------|-----|------|-------|--------|------|------|------|------|------|
|     |     |      | грд | кВт  | Н*м   | г/кВтч | кг/ч |      |      |      |      |
| 0.4 | 1.0 | 1.19 | 24  | 6.6  | 26.4  | 661    | 4.4  | 0.46 | 0.28 | 0.44 | 0.12 |
| 0.6 | 1.0 | 1.15 | 26  | 29.0 | 76.9  | 328    | 9.5  | 0.65 | 0.37 | 0.68 | 0.25 |
| 0.8 | 1.0 | 1.13 | 28  | 53.1 | 105.7 | 293    | 15.5 | 0.78 | 0.38 | 0.74 | 0.28 |
| 1.0 | 1.0 | 1.12 | 31  | 72.7 | 115.8 | 286    | 20.8 | 0.83 | 0.39 | 0.74 | 0.29 |
| 1.2 | 1.0 | 1.13 | 33  | 76.1 | 101.0 | 305    | 23.2 | 0.77 | 0.38 | 0.70 | 0.27 |
| 1.4 | 1.0 | 1.16 | 36  | 38.9 | 44.2  | 537    | 20.9 | 0.61 | 0.31 | 0.50 | 0.15 |

| PA   | PC   | PZ   | PB   | PR   | PI   | PE   | PM   | TA  | TC  | TZ   | TB   | TR  | CSZ  |
|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|------|-----|------|
| МПа  | МПа  | МПа  | МПа  | МПа  | МПа  | МПа  | МПа  | К   | К   | К    | К    | К   | К    |
| .048 | 1.22 | 2.09 | 0.14 | 0.10 | 0.38 | 0.17 | 0.21 | 328 | 773 | 1906 | 978  | 896 | .522 |
| .067 | 1.71 | 3.40 | 0.24 | 0.10 | 0.71 | 0.48 | 0.23 | 329 | 774 | 2247 | 1211 | 922 | .698 |
| .080 | 2.05 | 4.15 | 0.30 | 0.11 | 0.90 | 0.66 | 0.24 | 328 | 772 | 2322 | 1266 | 894 | .731 |
| .086 | 2.18 | 4.34 | 0.32 | 0.11 | 0.98 | 0.73 | 0.25 | 327 | 771 | 2348 | 1285 | 886 | .742 |
| .080 | 2.04 | 3.89 | 0.30 | 0.11 | 0.90 | 0.64 | 0.27 | 328 | 772 | 2320 | 1265 | 899 | .726 |
| .063 | 1.60 | 2.55 | 0.19 | 0.11 | 0.56 | 0.28 | 0.28 | 326 | 769 | 2009 | 1050 | 864 | .562 |

СКОРОСТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИ НАГРУЗКЕ 80% ОТ ПОЛНОЙ

| O1  | O2  | A    | Q   | NE   | MK   | GE     | GT   | TTV  | TTI  | TTM  | TTE  |
|-----|-----|------|-----|------|------|--------|------|------|------|------|------|
|     |     |      | грд | кВт  | Н*м  | г/кВтч | кг/ч |      |      |      |      |
| 0.4 | 0.8 | 1.20 | 26  | 3.5  | 13.9 | 1038   | 3.6  | 0.38 | 0.27 | 0.29 | 0.08 |
| 0.6 | 0.8 | 1.29 | 30  | 12.4 | 32.9 | 579    | 7.2  | 0.55 | 0.30 | 0.48 | 0.14 |
| 0.8 | 0.8 | 1.33 | 32  | 22.9 | 45.6 | 488    | 11.2 | 0.66 | 0.31 | 0.55 | 0.17 |
| 1.0 | 0.8 | 1.34 | 35  | 30.5 | 48.6 | 484    | 14.8 | 0.70 | 0.31 | 0.55 | 0.17 |
| 1.2 | 0.8 | 1.32 | 37  | 29.7 | 39.4 | 566    | 16.8 | 0.66 | 0.30 | 0.48 | 0.14 |
| 1.4 | 0.8 | 1.26 | 39  | 15.4 | 17.5 | 1037   | 16.0 | 0.51 | 0.28 | 0.28 | 0.08 |

| PA   | PC   | PZ   | PB   | PR   | PI   | PE   | PM   | TA  | TC  | TZ   | TB  | TR  | CSZ  |
|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|-----|-----|------|
| МПа  | МПа  | МПа  | МПа  | МПа  | МПа  | МПа  | МПа  | К   | К   | К    | К   | К   | К    |
| .040 | 1.02 | 1.57 | 0.11 | 0.10 | 0.30 | 0.09 | 0.21 | 329 | 774 | 1857 | 945 | 930 | .492 |
| .056 | 1.43 | 2.09 | 0.16 | 0.10 | 0.43 | 0.21 | 0.23 | 325 | 766 | 1868 | 955 | 836 | .529 |
| .067 | 1.71 | 2.41 | 0.19 | 0.11 | 0.53 | 0.29 | 0.24 | 324 | 762 | 1875 | 960 | 791 | .545 |
| .072 | 1.82 | 2.46 | 0.20 | 0.11 | 0.56 | 0.31 | 0.25 | 323 | 761 | 1869 | 957 | 775 | .544 |

|      |      |      |      |      |      |      |      |     |     |      |     |     |      |
|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|-----|-----|------|
| .067 | 1.71 | 2.23 | 0.19 | 0.11 | 0.51 | 0.25 | 0.27 | 323 | 761 | 1850 | 944 | 786 | .527 |
| .053 | 1.34 | 1.70 | 0.14 | 0.11 | 0.39 | 0.11 | 0.28 | 325 | 766 | 1825 | 926 | 845 | .490 |

СКОРОСТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИ НАГРУЗКЕ 50% ОТ ПОЛНОЙ

| O1  | O2  | A    | Q   | NE  | MK   | GE     | GT   | TTV  | TTI  | TTM  | TTE  |  |  |
|-----|-----|------|-----|-----|------|--------|------|------|------|------|------|--|--|
|     |     |      | грд | кВт | Н*м  | г/кВтч | кг/ч |      |      |      |      |  |  |
| 0.4 | 0.5 | 1.06 | 29  | 1.3 | 5.2  | 2092   | 2.8  | 0.26 | 0.29 | 0.13 | 0.04 |  |  |
| 0.6 | 0.5 | 1.18 | 32  | 3.3 | 8.8  | 1612   | 5.3  | 0.37 | 0.26 | 0.20 | 0.05 |  |  |
| 0.8 | 0.5 | 1.24 | 34  | 7.6 | 15.1 | 1080   | 8.2  | 0.45 | 0.27 | 0.28 | 0.08 |  |  |
| 1.0 | 0.5 | 1.25 | 37  | 9.8 | 15.6 | 1099   | 10.8 | 0.48 | 0.27 | 0.28 | 0.07 |  |  |
| 1.2 | 0.5 | 1.23 | 39  | 6.9 | 9.1  | 1789   | 12.3 | 0.45 | 0.26 | 0.18 | 0.05 |  |  |
| 1.4 | 0.5 | 1.15 | 41  | 4.3 | 4.9  | 2777   | 11.9 | 0.34 | 0.30 | 0.10 | 0.03 |  |  |

| PA   | PC   | PZ   | PB   | PR   | PI   | PE   | PM   | TA  | TC  | TZ   | TB   | TR   | CSZ  |
|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|------|------|------|
| МПа  | МПа  | МПа  | МПа  | МПа  | МПа  | МПа  | МПа  | К   | К   | К    | К    | К    | К    |
| .027 | 0.70 | 1.10 | 0.08 | 0.10 | 0.25 | 0.03 | 0.21 | 335 | 790 | 2072 | 1085 | 1159 | .545 |
| .039 | 0.98 | 1.29 | 0.10 | 0.10 | 0.28 | 0.06 | 0.23 | 328 | 772 | 1822 | 923  | 928  | .463 |
| .046 | 1.18 | 1.45 | 0.12 | 0.11 | 0.33 | 0.10 | 0.24 | 325 | 767 | 1805 | 913  | 868  | .470 |
| .049 | 1.25 | 1.47 | 0.13 | 0.11 | 0.35 | 0.10 | 0.25 | 325 | 765 | 1790 | 904  | 847  | .465 |
| .046 | 1.17 | 1.33 | 0.12 | 0.11 | 0.32 | 0.06 | 0.27 | 325 | 766 | 1775 | 894  | 861  | .449 |
| .036 | 0.92 | 1.17 | 0.11 | 0.11 | 0.31 | 0.03 | 0.28 | 332 | 781 | 2004 | 1041 | 1039 | .536 |

НАГРУЗОЧНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА, ЧАСТОТА вращения НОМИНАЛЬНАЯ

| O1  | O2  | A    | Q   | NE   | MK   | GE     | GT   | TTV  | TTI  | TTM  | TTE  |  |  |
|-----|-----|------|-----|------|------|--------|------|------|------|------|------|--|--|
|     |     |      | грд | кВт  | Н*м  | г/кВтч | кг/ч |      |      |      |      |  |  |
| 1.0 | 0.3 | 1.12 | 38  | 2.5  | 4.0  | 3091   | 7.8  | 0.31 | 0.29 | 0.09 | 0.03 |  |  |
| 1.0 | 0.4 | 1.20 | 37  | 3.4  | 5.4  | 2778   | 9.4  | 0.40 | 0.25 | 0.12 | 0.03 |  |  |
| 1.0 | 0.5 | 1.25 | 37  | 9.8  | 15.6 | 1099   | 10.8 | 0.48 | 0.27 | 0.28 | 0.07 |  |  |
| 1.0 | 0.6 | 1.29 | 36  | 16.5 | 26.3 | 735    | 12.2 | 0.55 | 0.28 | 0.40 | 0.11 |  |  |
| 1.0 | 0.7 | 1.32 | 36  | 23.5 | 37.3 | 575    | 13.5 | 0.63 | 0.30 | 0.48 | 0.14 |  |  |
| 1.0 | 0.8 | 1.34 | 35  | 30.5 | 48.6 | 484    | 14.8 | 0.70 | 0.31 | 0.55 | 0.17 |  |  |
| 1.0 | 0.9 | 1.35 | 34  | 37.7 | 60.0 | 426    | 16.0 | 0.77 | 0.32 | 0.60 | 0.19 |  |  |
| 1.0 | 1.0 | 1.37 | 33  | 44.9 | 71.4 | 385    | 17.3 | 0.84 | 0.33 | 0.64 | 0.21 |  |  |

| PA   | PC   | PZ   | PB   | PR   | PI   | PE   | PM   | TA  | TC  | TZ   | TB   | TR   | CSZ  |
|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|------|------|------|------|
| МПа  | МПа  | МПа  | МПа  | МПа  | МПа  | МПа  | МПа  | К   | К   | К    | К    | К    | К    |
| .033 | 0.83 | 1.04 | 0.10 | 0.11 | 0.28 | 0.03 | 0.25 | 332 | 781 | 1998 | 1038 | 1067 | .521 |
| .041 | 1.05 | 1.19 | 0.11 | 0.11 | 0.29 | 0.03 | 0.25 | 326 | 767 | 1772 | 891  | 891  | .437 |
| .049 | 1.25 | 1.47 | 0.13 | 0.11 | 0.35 | 0.10 | 0.25 | 325 | 765 | 1790 | 904  | 847  | .465 |
| .057 | 1.45 | 1.78 | 0.15 | 0.11 | 0.42 | 0.17 | 0.25 | 324 | 763 | 1815 | 921  | 816  | .492 |
| .064 | 1.64 | 2.11 | 0.18 | 0.11 | 0.49 | 0.23 | 0.25 | 323 | 762 | 1842 | 939  | 793  | .519 |
| .072 | 1.82 | 2.46 | 0.20 | 0.11 | 0.56 | 0.31 | 0.25 | 323 | 761 | 1869 | 957  | 775  | .544 |
| .079 | 2.00 | 2.84 | 0.22 | 0.11 | 0.63 | 0.38 | 0.25 | 323 | 760 | 1895 | 974  | 759  | .569 |
| .086 | 2.18 | 3.24 | 0.25 | 0.11 | 0.70 | 0.45 | 0.25 | 322 | 759 | 1918 | 990  | 746  | .591 |

НАГРУЗОЧНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА, ЧАСТОТА вращения 75% ОТ НОМИН.

| O1  | O2  | A    | Q   | NE   | MK   | GE     | GT   | TTV  | TTI  | TTM  | TTE  |  |  |
|-----|-----|------|-----|------|------|--------|------|------|------|------|------|--|--|
|     |     |      | грд | кВт  | Н*м  | г/кВтч | кг/ч |      |      |      |      |  |  |
| 0.8 | 0.3 | 1.09 | 35  | 1.6  | 3.4  | 3420   | 5.5  | 0.28 | 0.29 | 0.08 | 0.02 |  |  |
| 0.8 | 0.4 | 1.17 | 34  | 2.2  | 4.8  | 2902   | 6.5  | 0.36 | 0.25 | 0.11 | 0.03 |  |  |
| 0.8 | 0.5 | 1.23 | 34  | 6.6  | 14.0 | 1134   | 7.5  | 0.43 | 0.27 | 0.27 | 0.07 |  |  |
| 0.8 | 0.6 | 1.27 | 33  | 11.1 | 23.6 | 758    | 8.4  | 0.50 | 0.28 | 0.39 | 0.11 |  |  |
| 0.8 | 0.7 | 1.30 | 33  | 15.7 | 33.3 | 593    | 9.3  | 0.57 | 0.29 | 0.47 | 0.14 |  |  |
| 0.8 | 0.8 | 1.32 | 32  | 20.4 | 43.3 | 500    | 10.2 | 0.64 | 0.31 | 0.54 | 0.16 |  |  |
| 0.8 | 0.9 | 1.34 | 31  | 25.1 | 53.2 | 441    | 11.1 | 0.70 | 0.32 | 0.59 | 0.19 |  |  |

## Приложение Г

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

«УТВЕРЖДАЮ»

Зав. кафедрой ТЭА \_\_\_\_\_

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ г

## ЗАДАНИЕ

на расчетно-графическую работу по дисциплине

«СИЛОВЫЕ АГРЕГАТЫ»

студенту \_\_\_\_ курса \_\_\_\_ группы \_\_\_\_\_ Фамилия, И О \_\_\_\_\_

1. Тема РГР: Исследование рабочих процессов транспортных силовых агрегатов

2. Исходные данные индивидуального задания:

тип и назначение двигателя – Б-4 или Д-4, для л. а. или г. а.

мощность номинальная, кВт  $N_e =$  \_\_\_\_\_частота вращения вала при номинальной мощности, об/мин  $n =$  \_\_\_\_\_

модель силового агрегата \_\_\_\_\_

3. Содержание расчетно-пояснительной записки РГР

3.1 Задание. Оглавление. Введение.

3.2 Техничко-экономическое обоснование задания

3.3 Расчетное исследование рабочего цикла и показателей работы

3.4 Построение индикаторной диаграммы, расчет характеристик

3.5 Анализ результатов

3.6 Литература

Задание выдал \_\_\_\_\_

Задание принял \_\_\_\_\_

## Приложение Д

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

---

(наименование кафедры)

---

(фамилия, имя, отчество студента)

Институт \_\_\_\_\_ курс \_\_\_\_\_ группа \_\_\_\_\_

**ОТЧЕТ ПО ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ**

По дисциплине \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

На тему \_\_\_\_\_

(наименование темы)

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Руководитель \_\_\_\_\_  
(должность) (подпись) (и.,о., фамилия)

\_\_\_\_\_  
(дата)

## Приложение Е

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

---

(наименование кафедры)

---

(фамилия, имя, отчество студента)

Институт \_\_\_\_\_ курс \_\_\_\_\_ группа \_\_\_\_\_

**ОТЧЕТ ПО ПРАКТИЧЕСКИМ РАБОТАМ**

По дисциплине \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

На тему \_\_\_\_\_

(наименование темы)

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Руководитель \_\_\_\_\_  
(должность) (подпись) (и.,о., фамилия)

\_\_\_\_\_  
(дата)

## Приложение Ж

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

---

(наименование кафедры)

---

(фамилия, имя, отчество студента)

Институт \_\_\_\_\_ курс \_\_\_\_\_ группа \_\_\_\_\_

**РАСЧЁТНО-ГРАФИЧЕСКАЯ РАБОТА**

По дисциплине \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

На тему \_\_\_\_\_

(наименование темы)

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Руководитель \_\_\_\_\_  
(должность) (подпись) (и.,о., фамилия)

\_\_\_\_\_  
(дата)