

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра “Двигатели внутреннего сгорания”

ТЕОРИЯ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Лабораторные работы (практикум)
для студентов специальности 1-37 01 01 –
“Двигатели внутреннего сгорания”

Рекомендовано редакционно-издательским советом
Белорусского национального технического университета

Минск 2005

УДК 621.431

Лабораторный практикум подготовлен в соответствии с программой курса "Теория рабочих процессов двигателей внутреннего сгорания" и состоит из 9 лабораторных работ. Каждая работа, кроме общих сведений по рассматриваемому вопросу, включает в себя описание учебного оборудования, методики выполнения и оформления работы, а также контрольные вопросы и рекомендуемую литературу для самоподготовки.

Составители:

Г.М. Кухаренок, А.Н. Петрученко, И.К. Русецкий

Рецензент Л.А. Молибошко, Н.С. Янкевич

Введение

Настоящий лабораторный практикум предназначен для студентов специальности 1-37.01.01 - "Двигатели внутреннего сгорания", но может быть также использован студентами специальностей 1 – 37 01 06 "Техническая эксплуатация автомобилей" и 1 – 37 01 07 "Автосервис", 1-37 01 02 - "Автомобили и тракторы", при выполнении ими лабораторных работ по разделу "Теория двигателей внутреннего сгорания" соответствующих дисциплин.

Основная цель лабораторных работ - приобретение навыков в обращении с оборудованием и приборами, исследование режимов работы автотракторных двигателей и анализ полученных результатов, а также знакомство с требованиями соответствующих ГОСТов на проведение испытаний: ГОСТ 14846-81. "Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний" и ГОСТ 18509-88. "Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний".

Одной из наиболее трудных задач лабораторных работ является анализ результатов испытаний, заключающийся в умении объяснить полученные опытные зависимости и особенности конструкции изучаемых агрегатов и механизмов.

По содержанию методические указания являются пособием по подготовке, выполнению и анализу результатов контрольной и лабораторных работ.

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Правила техники безопасности

Во избежание несчастных случаев при проведении испытаний двигателей самое серьезное внимание должно быть уделено вопросам техники безопасности.

Перед началом работы механик (лаборант) проверяет состояние стенда, а преподаватель проверяет знания студентов правил техники безопасности в условиях проводимой работы (испытательного стенда).

При проведении испытаний необходимо руководствоваться следующими правилами техники безопасности:

1. Категорически запрещается находиться в плоскостях качания шатунов и вращения маховика и соединительных муфт или коллекторов электрических машин даже при наличии ограждений.

2. Не прикасаться к вращающимся и горячим деталям двигателя.

3. При возникновении ненормальных стуков и шумов в двигателе, тормозе или в соединительной муфте двигатель по указанию руководителя переводится на низкую частоту вращения коленчатого вала двигателя уменьшение подачи топлива с одновременно плавным снятием нагрузки. После этого двигатель надо остановить для выяснения причин и устранения возникшей неисправности.

4. В аварийных случаях и при возникновении пожара двигатель должен быть остановлен немедленно даже под нагрузкой.

Остановка дизеля обычно производится выключением подачи топлива. Однако в случае возникновения неисправностей в системе выключения топлива, либо при работе на смазочном масле при выключенной подаче топлива наиболее действительным средством остановки является прекращение подачи в двигатель воздуха.

Остановка карбюраторного двигателя обычно достигается выключением системы зажигания. Однако вследствие перегрева изоляторов запальных свечей возможна работа двигателя на режимах калильного зажигания и при выключенном электрическом зажигании. В этом случае необходимо полностью закрыть дроссельную заслонку и, если возможно, резко нагрузить двигатель до полной его остановки.

5. Все регулировки на двигателе, предусмотренные программой испытаний, допускается выполнять только в присутствии преподавателя.

6. При проведении испытаний студенты должны находиться на своих рабочих местах и могут отходить лишь на короткое время для занесения в протокол результатов измерений.

7. Для обеспечения сохранности двигателя не следует допускать его перегрева и падения давления масла ниже допустимого. В этих случаях необходимо двигатель разгрузить и перевести на режим холостого хода при малой частоте вращения коленчатого вала.

8. Категорически запрещается:

набрасывать на ходу приводные ремни вентилятора, генераторов и т.д.;

курить, работать с паяльными лампами, пользоваться факелами в помещении лаборатории двигателей внутреннего сгорания;

проводить испытания на установке, не имеющей надежного заземления;

работать на установке, не имеющей защитных кожухов у вращаю-

щихся деталей двигателя и горячих выпускных труб;

проводить испытания при обнаружении неплотностей в соединительных местах топливной системы и системы выпуска отработавших газов.

9. Необходимо строго соблюдать правила обращения с ядовитыми веществами: запрещается мыть руки в бензине, засасывать бензин и дизельное топливо ртом в перепускной шланг, прикасаться руками, смоченными в бензине к глазам, носу и рту.

10. Необходимо своевременно включать систему вентиляции лаборатории.

Правила выполнения работ

Перед началом лабораторных работ студенты проходят обязательный инструктаж по технике безопасности. Инструктаж проводится преподавателем на первом занятии в каждой лаборатории и регистрируется в специальном журнале. Студенты, не прошедшие инструктаж по технике безопасности, к работам в лаборатории не допускаются.

Каждая лабораторная работа рассчитана на два академических часа и включает;

- а) проверку самостоятельной подготовки студентов к работе;
- б) изложение преподавателем целей и содержания работы;
- в) выполнение работы;
- г) обработку результатов работы с оформлением протокола испытаний и построением схем и графиков;
- д) сдача оформленной работы.

К каждой лабораторной работе студенты должны предварительно самостоятельно изучить по настоящим методическим указаниям основные положения, описание и методику выполнения работы, приборы и оборудование, необходимые для ее проведения, а также подготовить протоколы (таблицы) для регистрации результатов работы.

До начала проведения очередной работы преподавателем проводится индивидуальный опрос студентов в объеме материала, изложенного в методических указаниях. Студенты, не прошедшие проверку, могут быть не допущены к выполнению работы и обязаны пройти проверку знаний.

Для выполнения работ студенты делятся на отдельные подгруппы и

распределяются по рабочим местам.

В процессе выполнения работ студенты проводят необходимые измерения с записью результатов в протоколе (таблицах), изучают ход проведения работы и закрепляют теоретические знания.

Результаты выполненной работы представляются преподавателю для проверки.

Каждый студент оформляет отчет по лабораторной работе.

Содержание отчета по лабораторной работе

На первой странице отчета указывается:

1. Наименование учебного заведения и кафедры.
2. Название лабораторной работы, фамилия и инициалы исполнителя,

На следующих страницах указывается;

1. Цель работы и краткая методика ее выполнения.
2. Расчетные формулы.
3. Протокол испытаний. По лабораторным работам № 2...4, 7...9 протокол оформляется по форме № 1, по работе № 6 по форме № 2 (см. прил. 1 и 2).
4. Необходимые схемы и графики.

Диаграммы строят на миллиметровой бумаге формата А4 (размером 210 х 297 мм.) с выполнением поля, рамки, штампа и заголовка диаграммы. Требования к выполнению диаграмм изложены в Р50-77-88 “Правила выполнения диаграмм”. На осях координат надо наносить равномерные масштабные шкалы и обозначать размерность для каждого параметра. Рекомендуемые масштабы приведены в приложении 3. Если на графике нанесено несколько кривых, каждая из них должна быть обозначена условным индексом. Экспериментальные точки на графиках, полученные в результате непосредственного измерения, необходимо выделять. По полученным данным в результате опытов строятся кривые с соблюдением правил графического осреднения экспериментальных данных. При подсчете производных величин в соответствующие формулы подставляются значения величин, взятых по координатам точек, лежащих на скорректированных кривых.

Образец выполнения рамки характеристики дан в прил. 3. Примеры оформления графиков и схем приведены в настоящих методических

указаниях.

5. Анализ результатов, выводы и заключение по работе.

6. Перечень использованных источников.

Более подробно требования по содержанию и оформлению отчета по лабораторной работе изложены в Стандарте предприятия СТП 10-02.01-87.

МЕТОДИКА СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ ДВИГАТЕЛЕЙ И ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ

Условия и порядок проведения испытаний

Стендовые испытания двигателей делятся на контрольные, приёмочные и испытания по определению характеристик двигателя, которые служат для оценки показателей его работы.

Характеристикой двигателя называется графически выраженная зависимость одного или нескольких показателей работы от другого показателя при некоторых неизменных условиях. Название и вид характеристики определяется независимым переменным или аргументом.

Объем и порядок испытаний двигателей определяется ГОСТ 14846-81. "Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний" и ГОСТ 18509-88. "Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний". В соответствии с указанными стандартами должны выполняться следующие общие условия проведения стендовых испытаний:

1. Перед началом испытаний двигатель жидкостного охлаждения должен быть прогрет до температуры охлаждающей жидкости и масла, указанной предприятием-изготовителем. При отсутствии таких указаний температура жидкости на выходе из двигателя должна поддерживаться от $+80^{\circ}$ до $+90^{\circ}\text{C}$, а температура масла в картере от $+85^{\circ}$ до $+95^{\circ}\text{C}$.

2. Показатели двигателя должны определяться при установившемся режиме работы, при котором крутящий момент, частота вращения, температура воды и масла стабилизировались.

3. На каждой характеристике количество точек замера должно быть не менее шести и достаточно для выявления формы и характера кривой изменения параметров в исследуемом диапазоне.

В процессе испытаний необходимо строить контрольный график, ко-

торый позволяет контролировать точность проведения экспериментов.

Обработка результатов испытаний

После снятия характеристик проводятся расчеты по определению показателей двигателей, которые заносятся в протокол. Расчеты ведутся по следующим формулам:

1. Эффективный крутящий момент двигателя, $H \cdot м$:

$$M_e = P \cdot l,$$

где P – показания весового механизма тормоза, Н;

l – плечо тормоза, м, (для большинства существующих конструкций $l = 0,7162$ м).

Эффективная мощность двигателя, кВт:

$$N_e = M_e \cdot n / 9550,$$

где n – частота вращения коленчатого вала, мин^{-1} .

Часовой расход топлива при массовом способе измерения, кг/ч:

$$G_t = 3,6 \cdot G_0 / t,$$

где G_0 – расход топлива за опыт, г;

t – время замера, с.

4. Удельный эффективный расход топлива, $\text{г}/(\text{кВт} \times \text{ч})$:

$$g_e = 1000 G_t / N_e.$$

Все подсчеты при обработке результатов испытаний должны проводиться с точностью до трех значащих цифр.

Приведение параметров двигателей к стандартным атмосферным условиям

Величины расхода топлива, мощности и крутящего момента двигате-

лей зависят от атмосферных условий, при которых проводились испытания. Так, при увеличении температуры и уменьшении давления окружающей среды уменьшается плотность, а следовательно, и масса заряда, поступающего в цилиндр. Это приводит к снижению мощности двигателя. Кроме того, атмосферные условия (давление, температура и влажность) влияют на протекание рабочего цикла двигателя. Поэтому для сравнения результатов испытаний двигателей, полученных в разных атмосферных условиях, их показатели на определенных режимах приводят к стандартным атмосферным условиям.

За стандартные атмосферные условия принимают: барометрическое давление 100 кПа, температуру воздуха + 25°C, относительную влажность воздуха – 50 %.

При выполнении лабораторных работ к стандартным условиям приводятся значения мощности (крутящего момента) двигателей на следующих режимах работы:

для двигателей с искровым зажиганием – при полном открытии дросселя;

для дизелей – при работе на номинальном скоростном режиме при полной подаче топлива.

Это приведение осуществляют путем умножения мощности (крутящего момента) на поправочный коэффициент K_N .

Величина коэффициента приведения для двигателей с искровым зажиганием определяется соотношением

$$K_N = (100/B_0)(T/298)^{0,5}.$$

Для дизелей без наддува

$$K_N = (100/B_0)^{0,65}(T/298)^{0,5},$$

где B_0 – атмосферное давление, кПа;

T – абсолютная температура воздуха на впуске, К.

Поправочный коэффициент используют в пределах 0,96 – 1,06. Если по расчетам величина K_N больше 1,06 или меньше 0,96, то он также может быть использован, но значения этого коэффициента, давления и температуры всасываемого воздуха должны быть указаны в протоколе

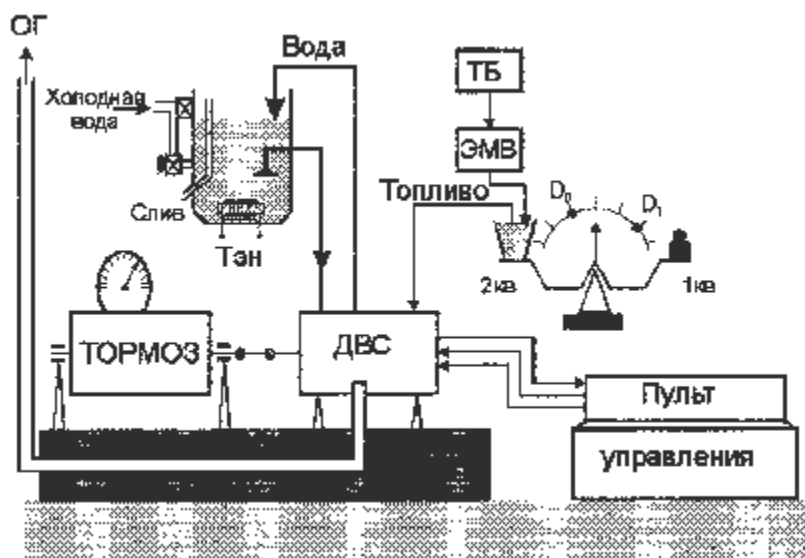
испытаний.

Лабораторная работа №1

ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИБОРЫ ДЛЯ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ ДВИГАТЕЛЕЙ

Цель работы: ознакомление с устройством и работой стендов, оборудования и приборов, применяемых при испытаниях двигателей.

В стационарных условиях двигатели внутреннего сгорания испытывают в отведенных для этой цели и соответствующим образом оборудованных помещениях (боксах) на специальных установках – стендах (рис 1.1).



ТБ – топливный бак; ЭМВ – электромагнитный клапан; 1 кв, 2 кв – концевые выключатели; D_1 и D_0 – датчики начала и конца измерения (времени); ОГ – отработанные газы; ТЭН – трубочатый электронагреватель.

Рисунок 1.1 – Схема стенда для испытания двигателя внутреннего сгорания.

Стенд для испытаний должен иметь следующие основные агрегаты:

- а) устройство для установки и закрепления двигателя;
- б) тормозную установку;
- в) устройство для соединения двигателя с тормозом;
- г) устройство, обеспечивающее охлаждение двигателя;
- д) устройство для отвода отработанных и картерных газов за пределы бокса;
- е) устройство для питания двигателя топливом;
- ж) органы управления двигателем;
- з) пульт управления двигателем и приборы для проведения измерений.

Основные особенности стендового оборудования для испытания двигателей

Устройство для установки и крепления двигателя

Двигатель устанавливается на массивном бетонном фундаменте, изолированном от стен здания и пола. Крепление осуществляется с помощью специального универсального устройства, состоящего из плит на фундаменте и четырех стоек с регулируемыми по высоте лапами. Пазы в плитах и стойках позволяют закреплять последние в любом месте плиты, благодаря чему легко обеспечивается возможность установки на стенде двигателей с различными расстояниями между их точками крепления.

Тормозные устройства

Эффективная мощность (мощность, снимаемая с маховика), развиваемая двигателем, поглощается тормозной установкой. При испытании автотракторных двигателей наибольшее распространение получили стенды с гидравлическими и электрическими тормозными установками.

По особенностям конструкции гидравлические тормоза разделяют на дисковые, штифтовые и лопастные.

На рис. 1.2 представлена схема дискового тормоза. Описываемый тормоз состоит из закрытого литого чугуна корпуса 1, внутри которого помещен ротор 2 (вал с диском). Вал ротора соединяется с валом

двигателя и приводится им во вращение. Корпус подвешен на подшипниках 3 в неподвижных стойках 4 и имеет возможность качаться. В свою очередь, вал ротора вращается на шариковых подшипниках 5, расположенных в корпусе.

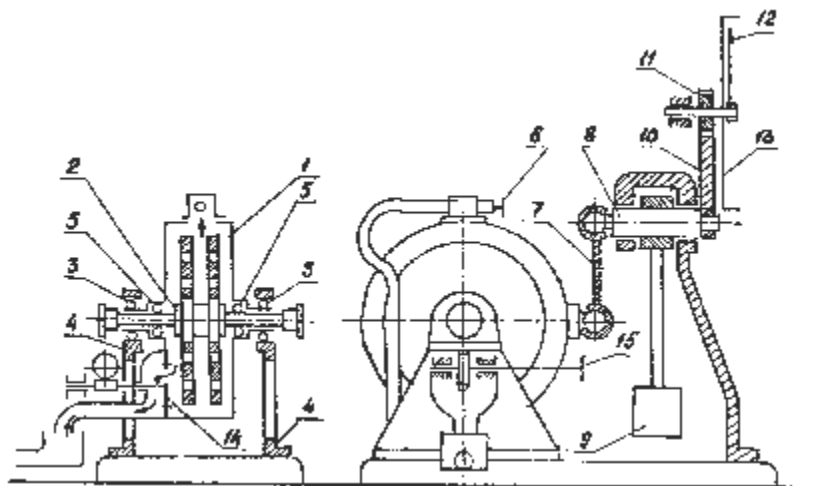


Рисунок 1.2 – Схема дискового гидротормоза.

В корпус через специальные каналы и кран 6 подается вода. Развиваемая двигателем мощность поглощается силами сопротивления, возникающими при вращении ротора в воде и противодействующими этому вращению. Этот процесс происходит с выделением теплоты, которая отводится проходящей через тормоз водой. Для повышения эффективности торможения диски ротора выполнены со сквозными отверстиями, а внутри поверхность корпуса – волнисто-шероховатой. Вследствие этого силы сопротивления создают реакции, действующие на корпус и стремящиеся повернуть его в сторону, совпадающую с направлением вращения ротора. Развиваемый реактивный момент передается через корпус 1 на тягу 7, эксцентриковый валик 8. Уравновешивание момента производится поворотом маятника 9 на угол, пропорциональный величине реактивного момента.

С эксцентриковым валиком 8 соединен зубчатый сектор 10, который через шестеренку 11 передает качания корпуса стрелке 12. Измерение величины реактивного момента производится по градуированной шкале 13.

На установившемся режиме реактивный момент статора тормоза равен крутящему моменту испытуемого двигателя.

Установки, у которых крутящий момент на валу двигателя определяется по реактивному моменту, называются балансирными.

Тормозной момент зависит от реальной ширины кольцевого слоя воды, который образуется при вращении дисков ротора. С изменением радиальной ширины кольца воды изменяется и поверхность соприкосновения с водой дисков ротора и корпуса.

Ширина кольцевого слоя воды может регулироваться двумя путями:

а) изменением положения сливного отверстия в заслонке 14. При вращении заслонки маховичком 15 окно ее перемещается от наиболее удаленной от оси тормоза точки к наиболее близкой. При этом необходимо поддерживать постоянную подачу воды в корпус;

б) изменением количества подаваемой воды при зафиксированном положении сливного отверстия в заслонке 14.

Гидравлические тормоза просты по устройству, дешевы в изготовлении, удобны в эксплуатации, обладают высокой энергоемкостью и бесшумны в работе.

Однако следует отметить и недостатки, а именно: невозможность использовать энергию, вырабатываемую двигателем; для проворачивания коленчатого вала при запуске двигателя необходимо иметь посторонний источник энергии. На тормозной установке, оборудованной гидротормозом, невозможно производить холодную обкатку двигателя. Большая инерционность гидротормозов является серьезным препятствием для введения автоматического регулирования нагрузки.

Электрические тормоза представляют собой электрические машины, способные работать как в режиме генератора, так и в режиме мотора. Эффективная мощность испытуемого двигателя в данном случае трансформируется в электрическую. Для торможения двигателей используют машины переменного или постоянного тока. Корпус (статор) машины имеет балансирную подвеску. Наряду с балансирной машиной в их комплект входят весовое устройство, станция управления, комплект нагрузочных реостатов и пульт управления.

Тормоза постоянного тока отличаются плавностью и широкими пределами регулирования скоростных и нагрузочных режимов. Поэтому они получили широкое применение при испытаниях двигателей.

На рисунке 1.3 показана схема электрической балансирующей машины. Статор 1 электрической машины опирается на подшипники 2 в стойках 3. Ротор 4 имеет свои две опоры в виде подшипников 5, установленных в статоре. Ротор соединяется с коленчатым валом испытуемого двигателя. Статор и ротор, имея общую ось вращения, могут совершать угловые перемещения независимо друг от друга.

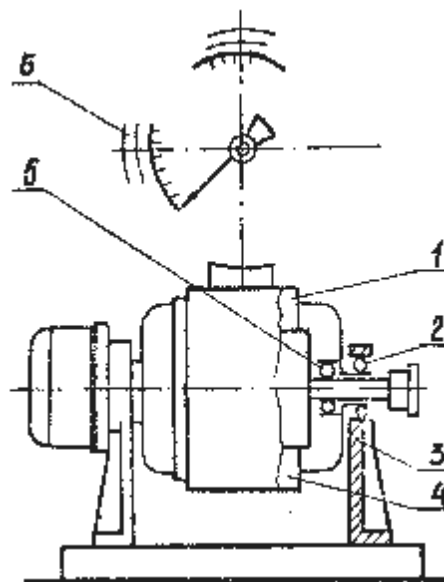


Рисунок 1.3 – Схема электротормоза.

Весовой механизм имеет устройство, аналогичное рассмотренному при описании гидротормоза. Работа электрических тормозов основана на силах взаимодействия магнитных полей ротора и статора при их взаимном перемещении. Величина этих сил регулируется с помощью переменных сопротивлений, включенных в цепь якоря и обмотку возбуждения статора. Подбирая величину сопротивления, регулируют частоту вращения ротора (режим мотора) или нагрузку (режим генератора).

Тормозное устройство должно обеспечивать точность измерения крутящего момента $\pm 0,5\%$.

Охлаждение двигателя

Для охлаждения двигателя используется водопроводная вода, которой заполняется специальный бак постоянного напора. Из бака вода посту-

пает в теплообменник, расположенный в непосредственной близости от двигателя и заменяющий радиатор системы охлаждения (рис. 1.1). Выходящая из двигателя вода поступает в верхнюю часть теплообменника, перемещается в его нижнюю часть, откуда забирается водяным насосом и нагнетается в водяную рубашку двигателя. Нужный перепад температур на выходе из двигателя и на входе в его систему охлаждения обеспечивается путем добавления воды из бака постоянного напора и одновременного слива в канализацию соответствующего количества наиболее нагретой воды (через верхний патрубок теплообменника).

Измерение частоты вращения коленчатого вала

Частоту вращения измеряют приборами двух типов: суммарными счетчиками, фиксирующими количество оборотов за определенный промежуток времени, и тахометрами, которые дают текущее значение частоты вращения.

В современных испытательных стендах дистанционное измерение частоты вращения осуществляется с помощью фотометрических импульсных тахометров ЦАТ-2 М и электронных тахометров 7 ТЭ. Основными элементами тахометров являются преобразователь и измеритель. Первый служит для преобразования частоты вращения коленчатого вала в электрические импульсы, второй – для измерения частоты этих импульсов.

Схема тахометра 7 ТЭ приведена на рис. 1.4. На валу двигателя устанавливается зубчатая деталь, вращающаяся с частотой вращения вала. Деталь выполнена из ферромагнитного материала. Преобразователь обеспечивает бесконтактное преобразование частоты вращения зубчатой детали в последовательность импульсов. Эти импульсы подаются на вход измерителя, который регистрирует на цифровом указателе частоту вращения вала двигателя (n , мин⁻¹).

В тахометре ЦАТ-2М применяется фотоэлектрический датчик-преобразователь.

При испытаниях точность измерения частоты вращения должна составлять $\pm 0,5$ %.

Величина часового расхода рассчитывается по результатам непосредственных измерений времени, за которое двигатель расходует оп-

ределенную дозу топлива. Величину этой дозы выбирают такой, чтобы время замера было не менее 30 – 60 с.

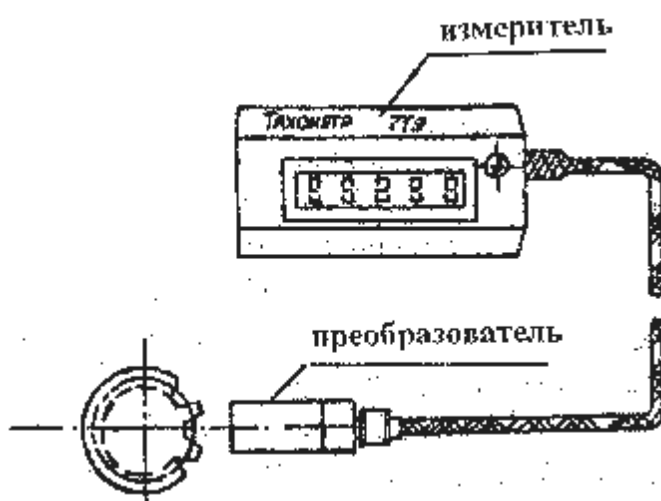


Рисунок 1.4 – Схема тахометра 7 ТЭ

Измерение расхода топлива

Наиболее удобным способом измерения расхода топлива, применяемым для бензиновых двигателей и дизелей, является массовый способ (см. рис. 1.1). При применении этого способа достаточно просто осуществляется автоматизация процесса измерения.

Применяемые приборы и устройства должны обеспечивать точность измерения расхода топлива $\pm 0,5 \%$.

Приборы для измерения температуры

При испытании двигателей приходится измерять температуру воздуха, отработанных газов, охлаждающей жидкости и масла. Обычно измерение температур воздуха, жидкости и масла осуществляется с помощью термометров сопротивления. Действие этих термометров основано на свойствах некоторых проводников электричества изменять свое сопротивление при нагреве. В качестве чувствительного элемента при изготовлении термометров сопротивления используют платиновую или медную проволоку. Платиновые термометры применяют для измерения температур в пределах -200 до $+500^{\circ}\text{C}$; медные – от 50 до $+150^{\circ}\text{C}$.

Для измерения температуры отработанных газов применяют термоэлектрические термометры (пирометры).

Они основаны на использовании термоэлектрического эффекта, возникающего при нагреве места спая двух проводников из неоднородных металлов или сплавов (такую пару разнородных проводников называют термопарой). На рисунке 1.5 представлена схема термоэлектрического термометра.

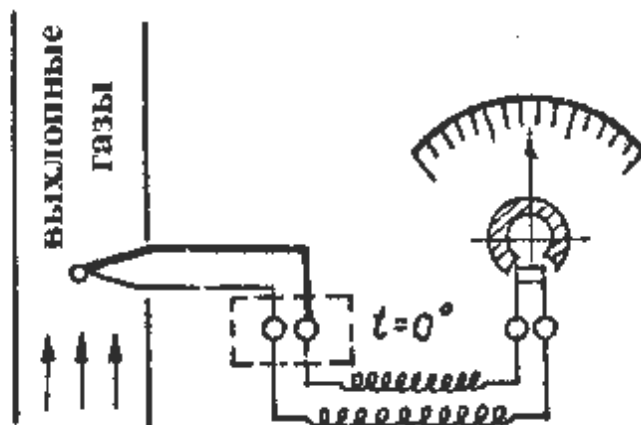


Рисунок 1.5 – Схема термоэлектрического термометра.

При нагревании горячего спая (точка соединения двух проводников, находящихся при температуре измеряемой среды) в проводниках возникает электродвижущая сила, величина которой зависит от разности температур горячего спая и свободных концов термопары. В качестве проводников для измерения температуры отработавших газов используют хромель-алюмель (предел измерения до 1000°C) и хромель-копель (до 500°C).

При испытаниях должна быть обеспечена точность измерения температуры воздуха $\pm 5^{\circ}\text{C}$; температуры охлаждающей жидкости и масла $\pm 1^{\circ}\text{C}$; температуры отработавших газов $\pm 20^{\circ}\text{C}$.

Контрольные вопросы

1. Какие установки и приборы применяются для испытания двигателей?

2. Расскажите об устройстве и принципе действия гидравлического и электрического тормозов.

3. Какими преимуществами и недостатками обладают гидравлические тормоза по сравнению с электрическими тормозами?

4. Какие способы измерения расхода топлива применяются при испытаниях двигателей?

5. Какие термометры применяются для измерения температур воздуха, охлаждающей жидкости и отработанных газов?

6. Какую точность измерения должны обеспечивать приборы и устройства, применяемые при испытаниях двигателей?

Лабораторная работа № 2

СКОРОСТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

Цель работы: изучение методики и получение практических навыков по снятию скоростных характеристик бензинового двигателя и их анализ.

Скоростные характеристики служат для оценки экономических и энергетических показателей работы двигателя при различных частотах вращения. Эти показатели определяют тяговые, динамические и другие эксплуатационные качества автомобилей.

Скоростной характеристикой бензинового двигателя называется зависимость мощности N_e , крутящего момента M_k , часового G_t и удельного g_e расхода топлива, а также других показателей работы двигателя от частоты вращения коленчатого вала при постоянном положении органа управления подачей топлива.

Различают скоростную характеристику при полной подаче топлива, которая называется внешней характеристикой, и скоростные частичные характеристики, определяемые при промежуточных, но постоянных положениях органа управления подачей топлива.

Скоростные характеристики снимают в диапазоне от минимально устойчивой частоты вращения коленчатого вала (n_{\min}) до частоты вращения на 10 % превышающей номинальную ($1,1 n_{\text{ном}}$).

При определении скоростной характеристики должны быть выявлены точки, соответствующие минимальной рабочей частоте вращения (n_{\min}), номинальной частоте вращения ($n_{\text{НОМ}}$), частоте вращения при максимальном крутящем моменте ($n_{M_{\kappa \max}}$) и минимальном удельном расходе ($n_{g_e \min}$).

Рассмотрим характер протекания кривых скоростной характеристики, приведенной на рисунке 2.1.

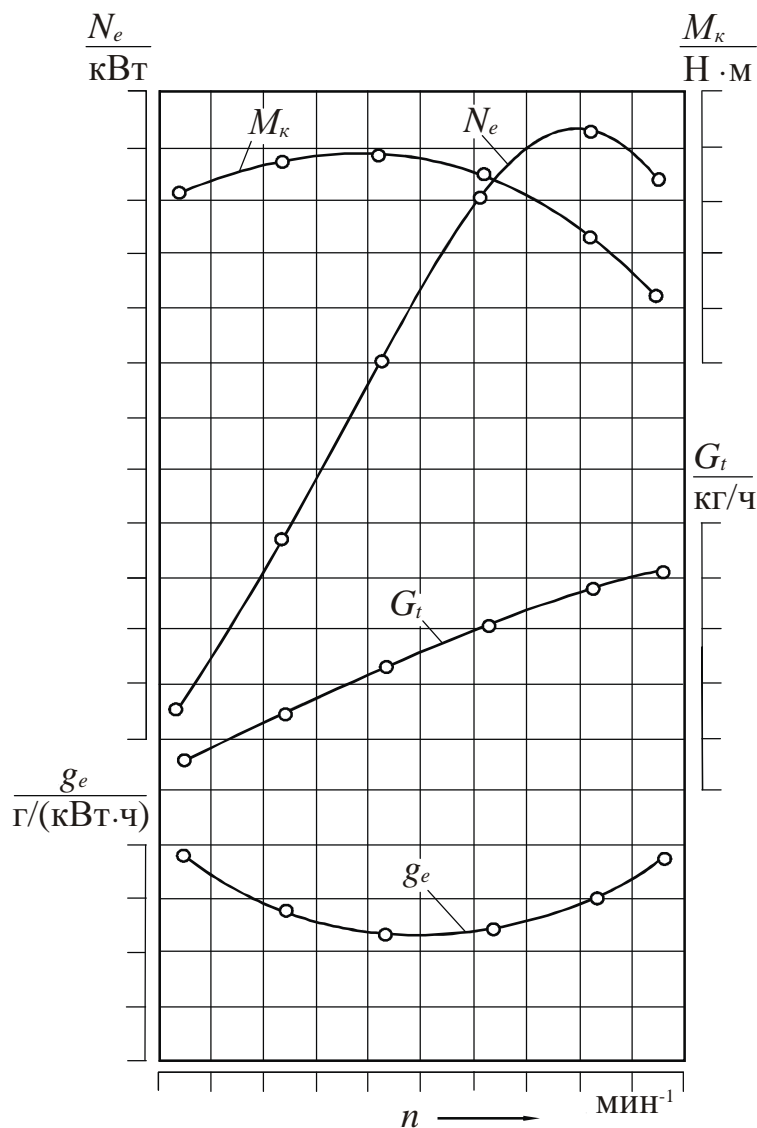


Рисунок 2.1 – Скоростная характеристика бензинового двигателя.

С увеличением частоты вращения выше n_{\min} крутящий момент двигателя возрастает и достигает максимальных значений при частоте $n_{M_{\kappa \max}}$.

Причиной этого увеличения M_k является улучшение процесса смесеобразования и снижение относительных потерь теплоты от газов в стенки в течение рабочего цикла. При дальнейшем увеличении частоты вращения M_k уменьшается, что связано главным образом со значительным увеличением механических потерь (снижением механического КПД η_M).

Эффективная мощность, пропорциональная произведению $M_k \cdot n$, достигает своего максимума при более высокой частоте вращения ($n_{\text{НОМ}}$), чем крутящий момент. Для автомобильных двигателей значение $n_{M_k \text{ max}} = (0,5 \dots 0,6)n_{\text{НОМ}}$.

При неизменном положении органа управления подачей топлива с ростом частоты вращения растет часовой расход топлива (G_t). Некоторое замедление роста G_t при большой частоте вращения связано с уменьшением коэффициента наполнения.

Обычно минимальная величина удельного расхода топлива g_e по скоростной внешней характеристике наблюдается в зоне средних частот вращения. Увеличение g_e с уменьшением частоты вращения объясняется, в основном, возрастанием тепловых потерь и ухудшением процесса смесеобразования. С увеличением частоты вращения g_e возрастает из-за увеличения механических потерь и соответствующего снижения h_M .

Важным оценочным параметром двигателя является запас крутящего момента

$$M = \frac{M_{k.\text{max}} - M_{k.\text{НОМ}}}{M_{k.\text{НОМ}}} \cdot 100\%, \quad (2.1)$$

где: $M_{k.\text{max}}$ – максимальное значение крутящего момента двигателя по скоростной характеристике;

$M_{k.\text{НОМ}}$ – значение крутящего момента, соответствующее номинальной мощности двигателя по скоростной характеристике.

Запас крутящего момента характеризует способность машин преодолевать кратковременные препятствия без перехода на понижающую передачу.

Порядок снятия скоростной характеристики

1. Перед проведением испытаний двигатель прогревают при малой нагрузке, затем устанавливают орган управления подачей топлива в фиксированное (постоянное) положение, при котором решено снимать характеристику.

2. Первый опыт проводят при минимально устойчивой частоте вращения коленчатого вала. Это достигается увеличением нагрузки тормозом.

3. Второй опыт начинают с постепенного уменьшения нагрузки тормозом до тех пор, пока частота вращения не увеличится примерно на $100-200 \text{ мин}^{-1}$.

4. Третий и последующие опыты выполняют аналогичным образом, уменьшая нагрузку тормозом и увеличивая тем самым частоту вращения коленчатого вала каждый раз на одинаковую величину.

5. Для построения скоростной характеристики двигателя число скоростных режимов, при которых проводятся измерения, должно быть не менее 6-8, т.е. достаточным, чтобы выявить форму и характер кривых во всем диапазоне исследуемых режимов.

Контрольные вопросы

1. Что называется скоростной характеристикой двигателя?
2. Чем отличается скоростная внешняя характеристика от частичной?
3. Объясните характер изменения по скоростной характеристике следующих показателей рабочего процесса: N_e , g_e , G_b , M_k .
4. Что такое запас крутящего момента?
5. Каков порядок снятия скоростной характеристики на стенде?

Лабораторная работа № 3

СКОРОСТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АВТОМОБИЛЬНОГО ДИЗЕЛЯ

Цель работы: изучение методики и получение практических навыков по снятию скоростных характеристик дизельного двигателя и их анализ.

Скоростной характеристикой дизеля называется зависимость мощности, крутящего момента, часового и удельного расходов топлива, а также других показателей работы двигателя от частоты вращения коленчатого вала при неизменном положении органов управления регулятором.

Определяют следующие виды скоростных характеристик:

- скоростные внешние характеристики определяют при крайнем предельном положении органа управления регулятором, установленном инструкцией предприятия-изготовителя, соответствующем полной подаче топлива. Она снимается в диапазоне от n_{\min} до n_{\max} ;
- скоростные характеристики с регуляторной ветвью определяют при положении органа управления регулятором, соответствующем полной подаче топлива. Она снимается в диапазоне от n_{\min} до до частоты вращения соответствующей полной разгрузке двигателя;
- скоростные частичные характеристики определяют при неизменном положении органа управления регулятором, соответствующем неполной подаче топлива. Эти характеристики определяют от минимально устойчивой частоты вращения холостого хода до частоты вращения равной 50% от $n_{\text{ном}}$.

При определении скоростных характеристик должны быть, выявлены точки, соответствующие минимальной частоте вращения коленчатого вала (n_{\min}), номинальной частоте вращения ($n_{\text{ном}}$), частоте вращения при максимальном крутящем моменте ($n_{M_{k.\max}}$), частоте вращения при минимальном удельном расходе топлива ($n_{g_{e.\min}}$), частоте вращения при максимальной мощности ($n_{N_{e.\max}}$).

Скоростная характеристика автомобильного дизеля с регуляторной ветвью приведена на рис. 3.1.

Запас крутящего момента автомобильного дизеля определяется по формуле 2.1.

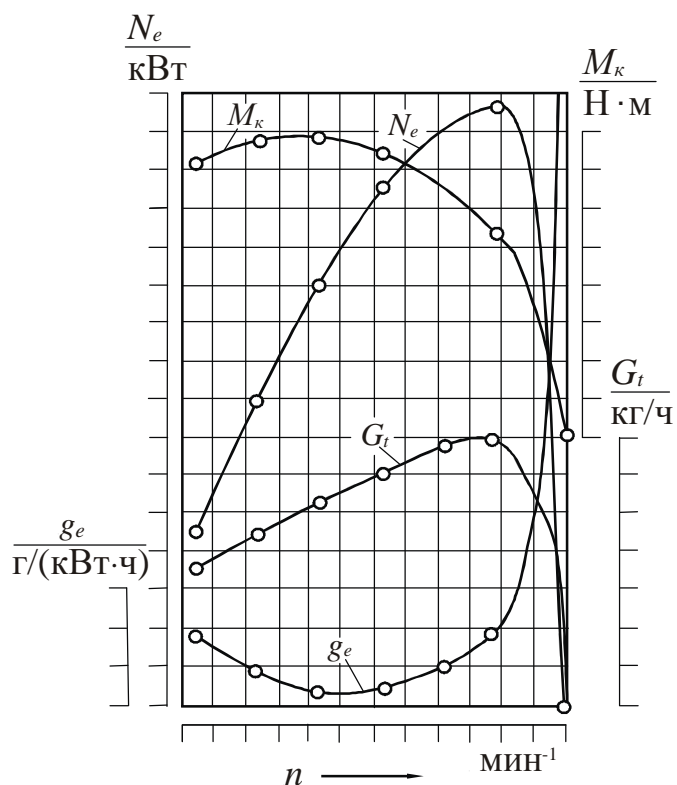


Рисунок 3.1 – Скоростная внешняя характеристика дизеля.

Порядок снятия скоростной внешней характеристики

1. Перед проведением испытаний двигатель прогревают при малой нагрузке, затем устанавливают рейку топливного насоса в положение, соответствующее максимальной подаче топлива.
2. Первый опыт проводят при максимальной частоте вращения холостого хода, т.е. без нагрузки.
3. Второй опыт проводится при нагрузке на тормозе равной 50 Нм, что приводит к уменьшению частоты вращения коленчатого вала двигателя.
4. Третий и последующие опыты выполняют аналогичным образом, увеличивая нагрузку тормозом и уменьшая тем самым частоту коленвала вплоть до n_{\min} .
5. Для построения скоростной внешней характеристики дизеля необходимо произвести измерения не менее чем на 8 режимах, чтобы выявить форму и характер кривых во всем диапазоне исследуемых режимов.

Контрольные вопросы

1. Какие определяют виды скоростных характеристик автомобильного дизеля?
2. Что называется скоростной внешней характеристикой дизельного двигателя?
3. Объясните характер изменения по скоростной характеристике следующих показателей рабочего процесса: N_e , g_e , G_t , M_k .
4. Что такое запас крутящего момента?
5. Каков порядок снятия скоростной характеристики на стенде?

Лабораторная работа №4

НАГРУЗОЧНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИЗЕЛЯ

Цель работы: изучение методики и получение практических навыков по снятию и анализу нагрузочной характеристики.

Показатели работы дизеля при изменении нагрузки и постоянной частоте вращения коленчатого вала определяют по нагрузочным характеристикам.

Нагрузочной характеристикой дизеля называют зависимость часового и удельного расходов топлива и других параметров рабочего процесса двигателя от нагрузки, т.е. от его мощности N_e или среднего эффективного давления p_e при постоянной частоте вращения коленчатого вала двигателя.

По нагрузочным характеристикам, снятым при разных частотах вращения, могут быть определены наивыгоднейшие режимы работы двигателя в эксплуатации, обеспечивающие получение минимального расхода топлива для каждой нагрузки.

Типовая нагрузочная характеристика представлена на рисунке 4.1. С увеличением нагрузки часовой расход топлива растет. Это связано с тем, что изменение нагрузки при постоянной частоте вращения достигается изменением количества топлива, подаваемого за цикл (перемещением рейки топливного насоса).

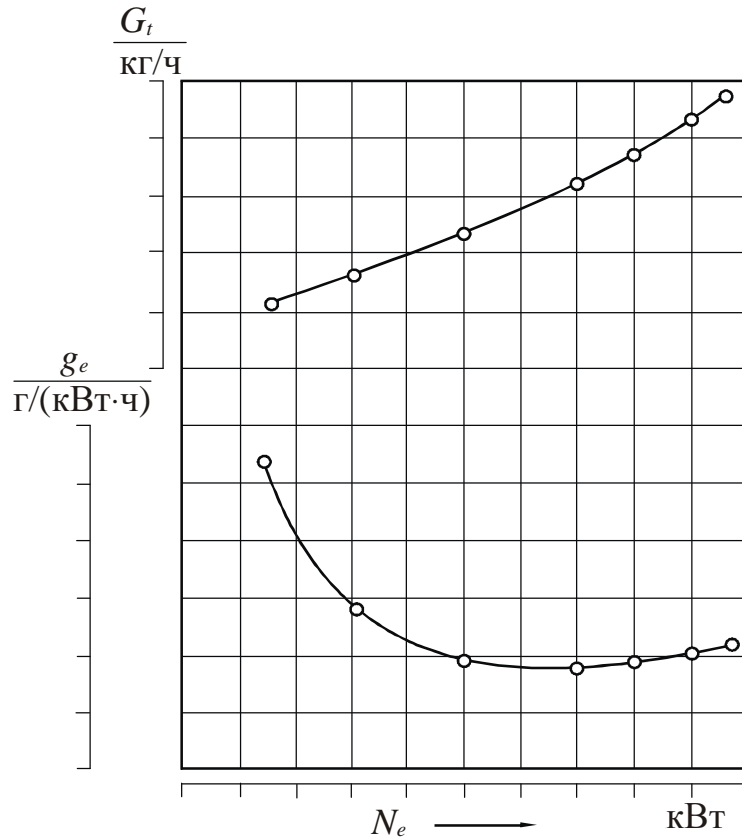


Рисунок 4.1. Нагрузочная характеристика дизеля.

Характер изменения кривой удельного расхода топлива по нагрузочной характеристике объясняется тем, что этот расход определяется величиной, обратной произведению индикаторного КПД на механический ($\eta_i \cdot \eta_m$).

С ростом нагрузки механический КПД двигателя

$$\eta_m = 1 - \frac{N_m}{N_i} \quad (4.1)$$

увеличивается, так как при постоянной частоте вращения коленчатого вала абсолютная величина мощности, затрачиваемой на механические потери N_m , изменяется незначительно, а ее относительная величина по мере увеличения индикаторной мощности N_i снижается.

Изменение индикаторного КПД в дизелях связано с изменением коэффициента избытка воздуха α . При увеличении нагрузки увеличивают подачу топлива, а наполнение цилиндра воздухом остается практически

постоянным. В результате коэффициент избытка воздуха уменьшается от 6 единиц на режимах, близких к холостому ходу, до 1,4...1,8 на полной нагрузке. С уменьшением α снижается индикаторный КПД вследствие химической неполноты сгорания.

Очевидно, что при нагрузке, соответствующей максимальной величине произведения $\eta_i \cdot \eta_m$, удельный расход топлива будет иметь минимальные значения. При отклонении от этого режима как в сторону меньших, так и в сторону больших нагрузок, удельный расход топлива увеличивается.

Увеличение g_e при переходе к режимам малых нагрузок определяется прогрессирующим уменьшением η_m при сравнительно небольшом возрастании η_i .

Увеличение удельного расхода в области больших нагрузок является следствием интенсивного снижения индикаторного КПД в то время, как рост механического КПД замедляется.

Порядок выполнения работы

1. Нагрузочная характеристика снимается при постоянной частоте вращения коленчатого вала ($n = \text{const}$) в диапазоне крайних положений рычага управления подачей топлива.

2. Первый опыт проводят при заданной частоте вращения на холостом ходу.

3. Во втором и последующих опытах увеличивают нагрузку на двигатель на 50...100 Н (по указанию преподавателя). Для поддержания заданной частоты вращения увеличивают подачу топлива.

4. Последний опыт проводят при крайнем положении органа управления подачей топлива, соответствующем максимальной подаче. Изменением нагрузки на тормозе поддерживают заданную частоту вращения. Число опытов должно быть 6 ... 8.

Контрольные вопросы

1. Что называется нагрузочной характеристикой дизеля?
2. Каковы ориентировочные пределы изменения α у дизелей по нагрузке?
3. Какова методика снятия нагрузочной характеристики дизеля на стенде?
4. При каком условии отмечается минимальный удельный расход топлива?
5. Сравните величины минимального удельного расхода топлива дизеля и карбюраторного двигателя?
6. Почему при работе по нагрузочной характеристике часовой расход топлива увеличивается?

Лабораторная работа № 5

РЕГУЛИРОВОЧНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПО УГЛУ ОПЕРЕЖЕНИЯ ЗАЖИГАНИЯ

Цель работы: изучение методики и получение практических навыков по снятию регулировочной характеристики по углу опережения зажигания и анализу результатов испытаний.

Закон изменения во времени давления в процессе сгорания определяет развиваемую двигателем мощность и экономичность. Для получения наибольшей мощности и наилучшей топливной экономичности необходимо стремиться к такой организации процесса сгорания, при которой основная фаза сгорания будет протекать вблизи верхней мертвой точки (ВМТ).

Скорость распространения пламени при нормальном сгорании бензо-воздушных смесей составляет 40...60 м/с. При этом продолжительность основной фазы процесса сгорания получается равной 40...50 град ПКВ ($n = 5000 \text{ мин}^{-1}$). Осуществить протекание основной

фазы сгорания вблизи ВМТ возможно только при условии соответствующей установки момента зажигания.

Угол поворота коленчатого вала от момента искрового разряда в свече зажигания до ВМТ называется углом опережения зажигания. Этот угол обозначается Θ .

С изменением режима работы двигателя (нагрузка, частота вращения) меняются условия сгорания и соответственно наивыгоднейший угол опережения зажигания.

С ростом скоростного режима работы двигателя и при уменьшении нагрузки наивыгоднейший угол опережения увеличивается.

Величина наивыгоднейшего угла для различных режимов работы двигателя определяется путем снятия регулировочных характеристик по углу опережения зажигания. Эти характеристики определяют зависимость мощности, экономичности и других показателей двигателя от угла опережения зажигания. Они снимаются при неизменном положении органа управления подачей топлива и постоянной частоте вращения коленчатого вала.

На рисунке 5.1 приведена типичная характеристика по углу опережения зажигания. Кривая мощности имеет максимум при оптимальном угле опережения зажигания ($\Theta_{\text{опт}}$). При позднем зажигании сгорание значительной части смеси переносится на линию расширения. В результате увеличиваются потери в систему охлаждения и с отработанными газами, что ведет к уменьшению мощности и перегреву двигателя.

При раннем зажигании значительная доля теплоты выделяется до прихода поршня в ВМТ, что ведет к увеличению работы, затрачиваемой на сжатие газов. Кроме того, с увеличением опережения зажигания растут максимальное давление и температура газов в цилиндре. Их увеличение ведет к повышению потерь теплоты в систему охлаждения и из-за диссоциации продуктов сгорания. Все это вместе с увеличением работы сжатия приводит к уменьшению мощности двигателя. Увеличение температуры при раннем зажигании может приводить к детонационному сгоранию.

Условия снятия характеристики – постоянные частота вращения и положение органа управления подачей топлива – обуславливают неизменное значение часового расхода топлива.

Поскольку часовой расход топлива остается постоянным, зависимость удельного расхода топлива от угла опережения зажигания носит

характер, обратный зависимости $N_e = f(\Theta)$. Таким образом, угол опережения зажигания, обеспечивающий получение максимальной мощности двигателя, обеспечивает и минимальный удельный расход. Этот угол называется наивыгоднейшим или оптимальным углом опережения зажигания.

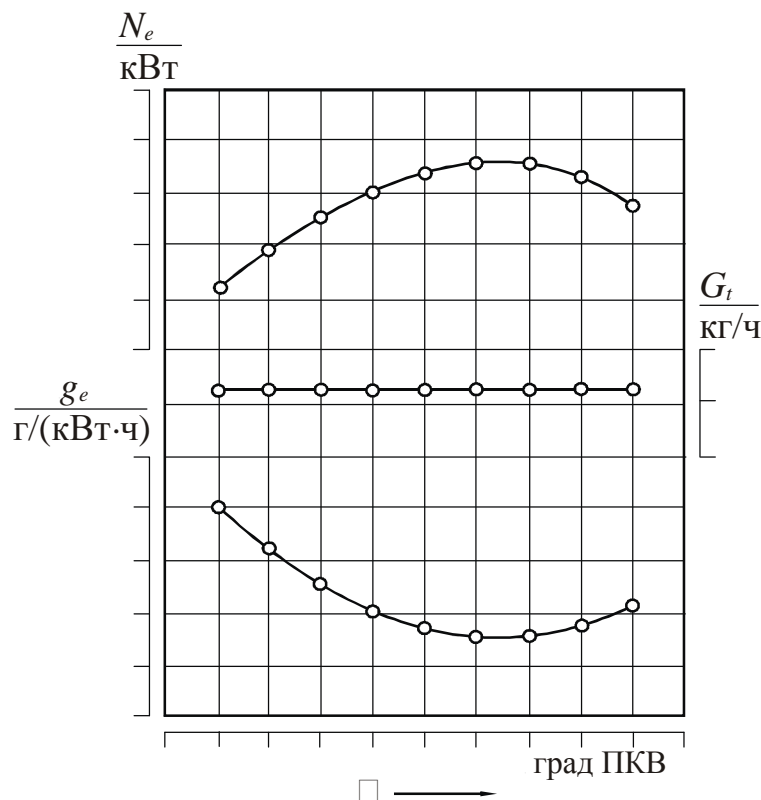


Рисунок 5.1 – Регулировочная характеристика по углу опережения зажигания

Для определения значения угла опережения зажигания в стационарных условиях испытуемый двигатель оборудован устройством, схема которого приведена на рисунке 5.2.

В эбонитовом диске, укрепленном на переднем носке коленчатого вала, установлена безынерционная неоновая лампа 1. В непосредственной близости от плоскости движения лампы на торце блока цилиндров установлен металлический градуированный диск 3. Диск изолирован от массы двигателя и включен в цепь напряжения первого цилиндра. При размыкании контактов прерывателя 2 в результате электрической индукции через лампу проходит ток, вызывая ее свечение. При быстром вращении коленчатого вала вспышки лампы часто следуют друг за другом, сливаясь в непрерывный светящийся поток. Этот световой поток

указывает на диске 3 угловое положение относительно ВМТ коленчатого вала в момент начала зажигания смеси в первом цилиндре. В процессе снятия характеристики изменение угла опережения зажигания производится поворотом корпуса прерывателя-распределителя.

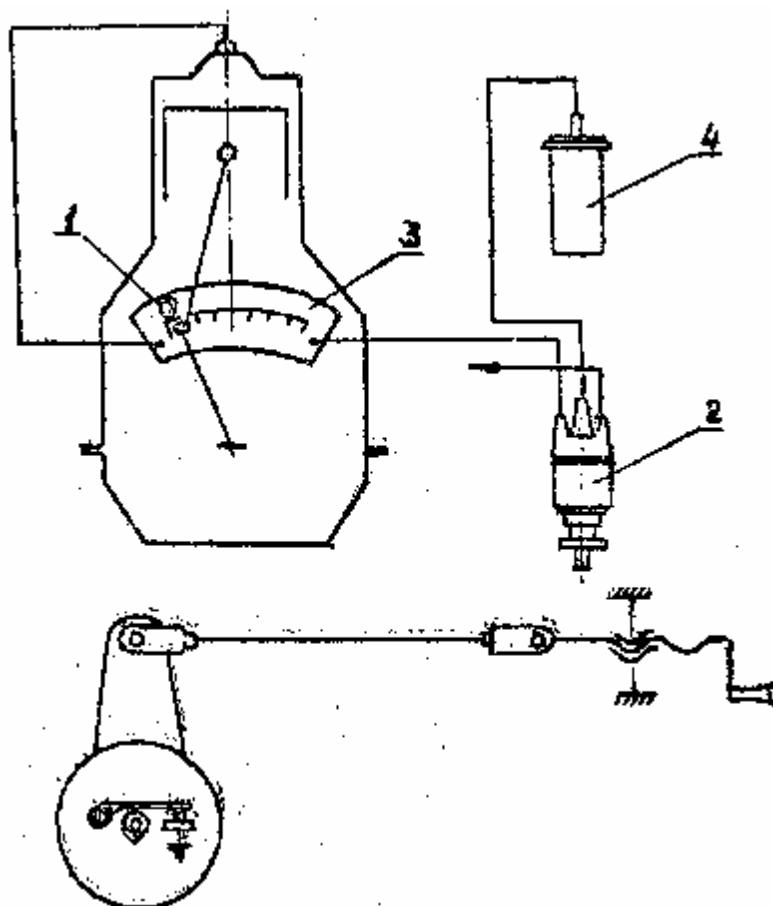


Рисунок 5.2 – Схема устройства для регулирования угла опережения зажигания.

Порядок выполнения работы

1. Нанести на миллиметровую бумагу координаты дежурной кривой: по вертикальной оси отложить показания весового механизма, по горизонтальной – угол опережения зажигания.
2. После запуска двигателя вращением корпуса прерывателя-распределителя установить угол опережения зажигания $\Theta = 0$ градусов и, загружая двигатель, установить заданную частоту вращения.

3. Увеличить угол опережения зажигания на 5 градусов и установить тормозом заданную частоту вращения.

4. При соответствующем увеличении угла опережения зажигания провести последующие опыты до тех пор, пока мощность двигателя не начнет уменьшаться. После получения $N_{k \max}$ желательно определить не менее двух точек. Возникновение различимых на слух детонационных стуков двигателя следует отмечать в “Протоколе испытаний” и на графике дежурной кривой.

5. Вычислить значения N_e , M_k , G_t , g_e . Привести полученные значения N_e и M_k к стандартным атмосферным условиям.

6. Построить графики характеристики.

Контрольные вопросы

1. Какой угол опережения зажигания называется оптимальным?
2. Почему мощность двигателя уменьшается при отклонении угла опережения зажигания от оптимальной величины?
3. Объясните характер протекания зависимости $G_t = f(\Theta)$.
4. Почему кривая изменения удельного расхода топлива носит характер обратной кривой изменения мощности?
5. Назовите внешние признаки работы двигателя, связанные со слишком ранним и поздним зажиганием.
6. Как влияет на величину угла опережения зажигания скоростной режим и нагрузка двигателя?

Лабораторная работа № 6

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО БАЛАНСА ДВИГАТЕЛЯ

Цель работы: изучение методики и приобретение практических навыков по определению теплового баланса двигателя и его анализа.

В двигателях внутреннего сгорания на совершение эффективной работы расходуется 20-43 % теплоты, выделяющейся от сгорания топли-

ва. Остальная часть теплоты расходуется на различные виды тепловых потерь.

Распределение теплоты, выделившейся от сгорания топлива, на отдельные составляющие характеризуется внешним тепловым балансом.

Внешний тепловой баланс и его составляющие позволяют судить о теплонапряженности деталей двигателя, рассчитать систему охлаждения, выяснить возможности использования теплоты отработанных газов, а также разработать рациональные средства, повышающие топливную экономичность двигателя и установки в целом.

Обычно тепловой баланс определяется экспериментально в зависимости от различных параметров, характеризующих условия эксплуатации (нагрузка, частота вращения, состав смеси и т.п.).

Величину каждого члена теплового баланса подсчитывают в кДж за один час работы двигателя или в процентах по отношению ко всему количеству подведенной теплоты.

Уравнение внешнего теплового баланса в абсолютных величинах имеет вид:

$$Q = Q_e + Q_{\text{охл}} + Q_{\text{г}} + Q_{\text{нс}} + Q_{\text{ост}}, \text{ кДж/ч}, \quad (6.1)$$

где Q – теплота, выделившаяся при сгорании в цилиндре топлива;

Q_e – теплота, превращенная в полезную работу;

$Q_{\text{охл}}$ – теплота, отведенная в систему охлаждения;

$Q_{\text{г}}$ – теплота, унесенная с отработанными газами;

$Q_{\text{нс}}$ – теплота, соответствующая неполноте сгорания;

$Q_{\text{ост}}$ – неучтенные потери (остаточный член).

Методика экспериментального определения теплового баланса заключается в определении составляющих уравнения (1).

Теплота, выделившаяся при сгорании топлива:

$$Q = H_U \cdot G_T, \text{ кДж/ч}, \quad (6.2)$$

где H_U – низшая теплота сгорания топлива, (величину H_U можно принять: для бензина равной 45000 кДж/кг, для дизтоплива – 42700 кДж/кг);

G_T – часовой расход топлива, кг/ч.

Количество теплоты, превращенной в эффективную работу двигателя за час:

$$Q_e = 3600 N_e, \text{ кДж/ч}, \quad (6.3)$$

где N_e – замеренная эффективная мощность, кВт.

Количество теплоты, отведенной в охлаждающую среду:

$$Q_{\text{охл}} = G_{\text{охл}}(T_{\text{вых}} - T_{\text{вх}}) C, \text{ кДж/ч}, \quad (6.4)$$

где $G_{\text{охл}}$ – расход охладителя через систему охлаждения двигателя, кДж/ч;

C – теплоемкость охладителя, кДж/(кг·К) (для воды $C = 4,18$);

$T_{\text{вх}}, T_{\text{вых}}$ – температура охлаждающей жидкости на входе в систему охлаждения и на выходе из нее, К.

Расход охладителя подсчитывается по первичному значению времени t расходования замеряемого количества охладителя $\Delta G_{\text{охл}}$ (кг):

$$G_{\text{охл}} = \Delta G_{\text{охл}} \frac{3600}{t}, \text{ кг/ч}. \quad (6.5)$$

Количество теплоты, унесенной с отработанными газами:

$$Q_g = (G_t + G_b) C_p(T_g - T_0), \text{ кДж/ч}, \quad (6.6)$$

где G_t, G_b – часовой расход топлива и воздуха, кг/ч;

C_p – изобарная теплоемкость отработанных газов, кДж/(кг · К) (для бензиновых двигателей – 1,17, для дизелей – 1,09);

T_g, T_0 – температуры отработанных газов и окружающей среды, °С.

Если стенд не оборудован устройством для замера расхода воздуха, то величину G_b можно ориентировочно определить по формуле

$$G_b = (V_h / 1000)(n/2)\eta_v \cdot 60 \cdot \rho, \text{ кг/ч}, \quad (6.7)$$

где V_h – рабочий объем двигателя, л;

n – частота вращения, об/мин;

ρ – плотность воздуха, кг/м³ (ориентировочно можно принять 1,17).

Величину η_v находим по технической характеристике двигателя.

Потери теплоты вследствие химической неполноты сгорания топлива при $\alpha \geq 1$ обычно отдельно не подсчитывают и включают в остаточный член. Если испытания проводятся при $\alpha < 1$, то расчет ведут по уравнению:

$$Q_{\text{НС}} = [119600(1-\alpha)L_0] G_t, \text{ кДж/ч}, \quad (6.8)$$

где L_0 – теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива, кмоль/кг.

Остаточный член баланса включает неучтенные тепловые потери

$$Q_{\text{ост}} = Q - (Q_e + Q_{\text{охл}} + Q_{\Gamma} + Q_{\text{НС}}), \text{ кДж/ч}. \quad (6.9)$$

Наиболее распространено представление теплового баланса в процентах:

$$q = q_e + q_{\text{охл}} + q_{\Gamma} + q_{\text{НС}} + q_{\text{ост}} = 100 \%, \quad (6.10)$$

где $q_e = (Q_e/Q)100 \%$; $q_{\text{охл}} = (Q_{\text{охл}}/Q)100 \%$ и т.д.

Значения отдельных составляющих внешнего теплового баланса на номинальном режиме работы двигателей приведены в табл. 6.1.

Т а б л и ц а 6.1 – Составляющие теплового баланса (в %)

Двигатели	q_e	$q_{\text{охл}}$	q_{Γ}	$q_{\text{НС}}$	$q_{\text{ост}}$
Бензиновые	21-29	12-27	30-55	0-45	3-8
Дизели:					
без наддува	29-42	20-35	25-40	0-5	2-7
с наддувом	35-45	10-25	25-45	0-5	2-7

Порядок выполнения работы

При выполнении лабораторной работы тепловой баланс определяется по скоростной или нагрузочной характеристике. Работа выполняется в порядке, определяемом типом характеристики. Дополнительно измеряется расход охладителя.

При определении теплового баланса особое внимание надо обращать

на то, чтобы замеры производились при установившемся тепловом состоянии двигателя, о чем может свидетельствовать постоянство температуры охладителя.

Результаты замеров и расчетов по формулам (1...10) заносятся в “Протокол испытаний” двигателя (прил. 1 форма № 2).

По результатам работы строятся графики зависимости составляющих теплового баланса от частоты вращения коленчатого вала или от нагрузки (рис. 6.1).

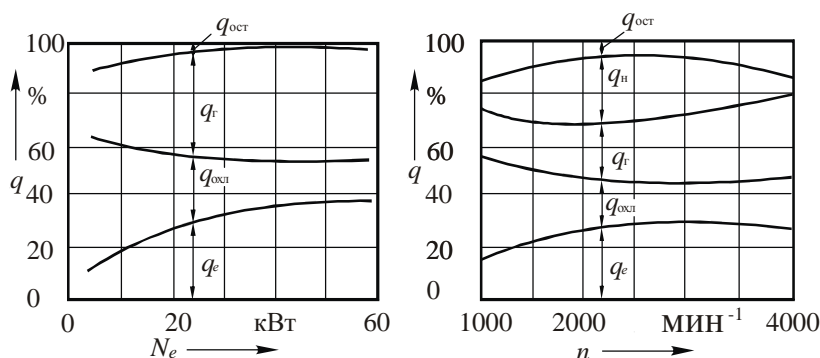


Рисунок 6.1 – Измерение составляющих теплового баланса.

Контрольные вопросы

1. Что называют внешним тепловым балансом?
2. Какие потери теплоты включают основные составляющие теплового баланса?
3. Как определяются составляющие теплового баланса?
4. Чему равны значения составляющих теплового баланса в %?

Лабораторная работа № 7

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ДИЗЕЛЯ ПО РЕГУЛЯТОРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКЕ

Цель работы: оценка показателей работы дизеля по регуляторной характеристике

Для тракторных и комбайновых дизелей, снабженных всережим-

ным регулятором, снимают регуляторные характеристики, которые служат для определения правильности работы регулятора, а также для выявления динамических и экономических показателей работы двигателя по различной нагрузке.

Регуляторная характеристика представляет собой зависимость часового G_t и удельного g_e расходов топлива, частоты вращения n и крутящего момента M_K двигателя от мощности (рис. 7.1).

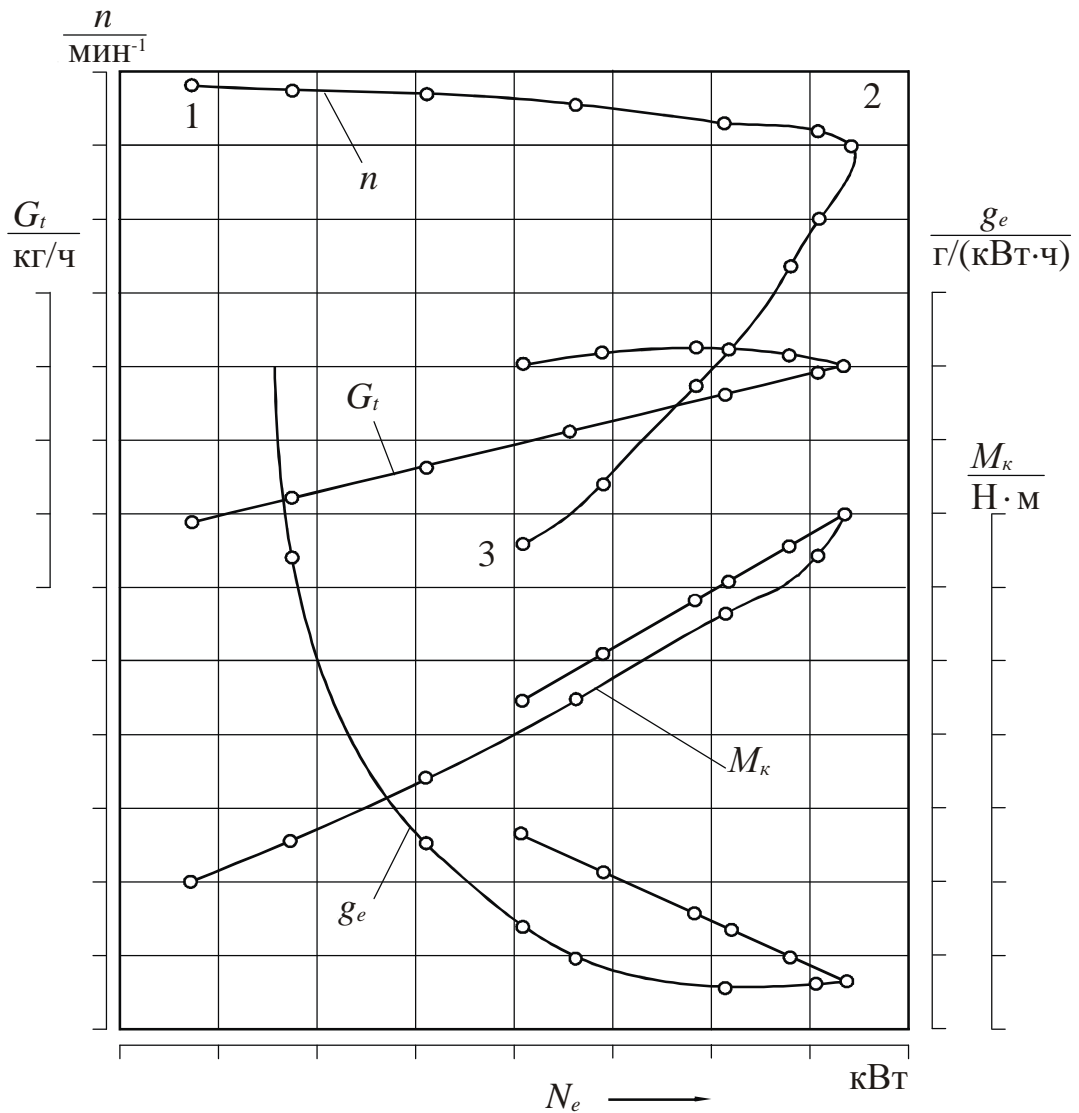


Рис. 7.1. Регуляторная характеристика дизеля

Различают регуляторную характеристику, которая снимается при положении органов управления частоты вращения, соответствующей полной подаче топлива, и частичные регуляторные характеристики, ко-

которые снимаются при положении органов управления регулятором частоты вращения, соответствующих частичной подаче топлива.

Участок 1-2 регуляторной (частичной регуляторной) характеристики между точками, соответствующими режимам максимальной частоты вращения холостого хода и максимальной мощности, называется регуляторной ветвью регуляторной характеристики.

Участок 2-3 регуляторной (частичной регуляторной) характеристики между точками, соответствующими режимам максимальной мощности и максимального крутящего момента, называется корректорной ветвью регуляторной характеристики.

В процессе эксплуатации тракторный дизель наиболее часто работает на режимах, определяемых регуляторной ветвью характеристики. На этих режимах с помощью регулятора поддерживается заданная водителем частота вращения коленчатого вала. При увеличении нагрузки на двигатель регулятор увеличивает подачу топлива путем перемещения рейки насоса. Характер изменения удельного расхода топлива на участках 1-2 можно проанализировать, воспользовавшись зависимостью

$$g_e = C \cdot \frac{1}{h_i \cdot h_m}, \quad (7.1)$$

где h_i - индикаторный КПД двигателя;

h_m - механический КПД двигателя;

C - постоянный коэффициент.

С повышением нагрузки при почти неизменной частоте вращения вала двигателя механический КПД растет, а h_i , значительно уменьшается. В результате увеличивается произведение $h_i \cdot h_m$ и g_e уменьшается.

При увеличении нагрузки свыше номинальной дизель работает по корректорной ветви характеристики. Частота вращения вала дизеля и насоса уменьшается, рейка насоса под действием пружины корректора перемещается в сторону дополнительного увеличения цикловой подачи топлива. Все это обеспечивает увеличение крутящего момента двигателя и преодоление перегрузок,

Характер изменения мощности по корректорной ветви обусловлен взаимным влиянием на ее величину M_k и n . Часовой расход на рассмат-

риваемом участке характеристики, несмотря на увеличение цикловой подачи, уменьшается, так, как с уменьшением частоты вращения сокращается количество рабочих циклов в единицу времени. Характер протекания кривой удельного расхода определяется изменением часового расхода и мощности.

Порядок выполнения работы

1. Регуляторную (частичную регуляторную) характеристику снимают при постоянном положении рычага управления подачи топлива путем последовательного увеличения нагрузки от нулевой (холостой ход) до полной, соответствующей максимальному крутящему моменту и дальнейшего снижения нагрузки до достижения частоты вращения, составляющей не более 85 процентов от частоты вращения, полученной при максимальном крутящем моменте ($n_{M_{k \max}}$)

2. Первый опыт проводят при нулевой нагрузке.

3. Во втором и последующих опытах нагрузку постепенно увеличивают на 50...100 Н (по указанию преподавателя).

4. Последний опыт проводят при частоте вращения, составляющей $0.85 \cdot n_{M_{k \max}}$.

Анализ регуляторной характеристики позволяет выявить правильность настройки регулятора и основные показатели работы дизеля.

Сопоставление максимальной частоты вращения холостого хода ($n_{M_{k \max}}$) и частоты вращения, соответствующей началу действия регулятора (n_p), дает возможность определить степень неравномерности регулятора

$$d = 2 \cdot \frac{n_{xx_{\max}} - n_p}{n_{xx_{\max}} + n_p} \cdot 100\% . \quad (7.2)$$

Величина n_p принимается равной частоте вращения, при которой дизель развивает 90 процентов мощности при работе по регуляторной ветви регуляторной характеристики.

Для номинальной частоты вращения коленчатого вала устанавливают значения эффективной мощности, часового и удельного расходов топлива и соответствие их величинам, указанным в технических усло-

виях завода-изготовителя.

По графику крутящего момента определяют корректорный коэффициент запаса крутящего момента

$$\mu = \frac{M_{K_{\max}} - M_{K_{N_0}}}{M_{K_{N_0}}} \cdot 100\%, \quad (7.3)$$

где $M_{K_{\max}}$ – приведенный максимальный крутящий момент;

$M_{K_{N_0}}$ – приведенный крутящий момент на режиме максимальной мощности.

Контрольные вопросы

1. Что представляет собой регуляторная характеристика дизеля?
2. Какова методика снятия регуляторной характеристики на стенде?
3. Что такое корректорный коэффициент запаса крутящего момента?
4. От каких факторов зависит характер изменения $M_K = f(N_e)$, $g_e = f(N_e)$, $n = f(N_e)$ и $G_t = f(N_e)$?
5. Как определяется степень неравномерности регулятора?

Лабораторная работа №8

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ ПО НАГРУЗОЧНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКЕ

Цель работы: Изучение методики, получение практических навыков по снятию нагрузочной характеристики бензинового двигателя и ее анализ.

Нагрузочную характеристику автомобильного карбюраторного двигателя снимают для выявления его экономичности на различных режимах. Характеристика представляет собой кривые изменения часового G_t и удельного g_e расходов топлива в зависимости от нагрузки при постоянном скоростном режиме работы двигателя.

В качестве независимого переменного принимается один из пара-

метров, характеризующих нагрузочный режим двигателя N_e или p_e . При сравнительной оценке двигателей удобно использовать нагрузочные характеристики, построенные по p_e .

Для анализа характера изменения часового G_t и удельного g_e расходов топлива по нагрузочной характеристике (рис. 8.1) воспользуемся аналитическими зависимостями, известными из теории двигателей.

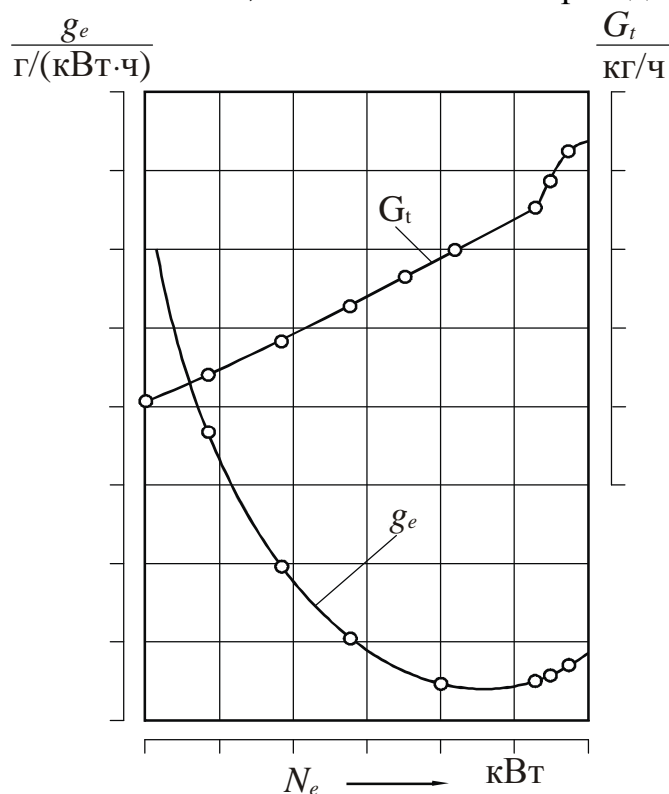


Рис. 8.1. Нагрузочная характеристика бензинового двигателя.

$$N_e = A_1 \cdot h_i \cdot \frac{1}{a} \cdot h_v \cdot h_m \cdot n \quad (8.1)$$

$$g_e = \frac{3600}{H_u \cdot h_e} = \frac{3600}{H_u \cdot h_i \cdot h_m} \quad \text{или} \quad g_e = C_1 \cdot \frac{1}{h_i \cdot h_m} \quad (8.2)$$

$$G_T = g_e \cdot N_e = C_2 \cdot h_v \cdot \frac{1}{a} \cdot n \quad (8.3)$$

В формулах A_1 , C_1 , C_2 - постоянные коэффициенты для данного дви-

гателя.

Изменение часового расхода топлива G_t по нагрузочной характеристике бензинового двигателя ($n=\text{const}$) определяется, как следует из формулы (8.3), значением коэффициента наполнения h_v и коэффициента избытка воздуха a . Это достигается изменением величины подачи топлива. По мере открытия органа управления подачей топлива гидравлическое сопротивление на впуске уменьшается, коэффициент наполнения увеличивается и пропорционально ему увеличивается массовый расход свежей смеси, a , следовательно, и часовой расход топлива.

При достижении нагрузки порядка (80-85%) $N_{e_{ном}}$ происходит обогащение смеси (a снижается). Поэтому переход к полным нагрузкам сопровождается резким увеличением G_t . Из уравнения (8.2) следует, что характер изменения g_e определяется закономерностями изменения индикаторного h_i и механического h_m КПД двигателя.

Зависимость механического КПД от нагрузки легко установить из выражения

$$h_m = \frac{P_e}{P_i} = \frac{P_i - P_m}{P_i} = 1 - \frac{P_m}{P_i} \quad (8.4)$$

На холостом ходу работа газов целиком идет на преодоление механических потерь. При этом $p_i = p_m$, $p_e = 0$ и, следовательно, h_m . Удельный эффективный расход топлива де при этом стремится к бесконечности.

С увеличением нагрузки соотношение величин p_i и p_m изменяется. Так как с ростом нагрузки p_i растет, а p_m при $n = \text{const}$ остается практически постоянным, механический КПД растет и достигает наибольших значений при полностью открытом дросселе.

Наименьший удельный эффективный расход топлива по нагрузочной характеристике достигается при максимальных значениях $h_i \cdot h_m$ на режимах близких к полной нагрузке. При переходе к полным нагрузкам, несмотря на увеличение h_m , эффективный удельный расход топлива увеличивается вследствие снижения h_i , вызванного обогащением смеси.

Порядок выполнения работы

1. Нагрузочную характеристику снимают при постоянной частоте вращения коленчатого вала $n = \text{const}$ (по указанию преподавателя).
2. Первый опыт выполняют при полной подаче топлива.
3. Во втором опыте орган управления подачей топлива устанавливают в положение уменьшения подачи топлива, и, чтобы восстановить заданную частоту вращения, уменьшают нагрузку тормозом.
4. Третий и последующие опыты проводят аналогичным образом, смещая каждый раз положение органа управления подачей топлива на одинаковую величину. Частоту вращения коленчатого вала двигателя поддерживают, уменьшая нагрузку тормозом.
5. Последний опыт выполняют при положении органа управления подачей топлива, соответствующем холостому ходу.

Контрольные вопросы

1. Что называется нагрузочной характеристикой двигателя?
2. Как изменяется g_e при изменении нагрузки двигателя?
3. Как производится снятие нагрузочной характеристики на стенде?

Лабораторная работа № 9

МНОГОПАРАМЕТРОВАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИЗЕЛЯ

Цель работы: Изучение методов построения многопараметровой характеристик и ее анализ

Многопараметровую характеристику строят по нагрузочным характеристикам дизеля. Построение многопараметровой характеристики ведется в системе, в которой координатами служат два основных показателя работы двигателя, при различных значениях третьего, используемого в качестве параметра и остающегося постоянным для каждой из нанесенных кривых.

Наиболее распространенные многопараметровые характеристики строятся в координатах $p_e - n$. Обычно в этих координатах наносят серии кривых (частично замкнутый), соединяющих точки с постоянным

значением удельного расхода топлива и эффективной мощности.

По такой характеристике можно наиболее полно оценить экономичность двигателя и выбрать оптимальные режимы его работы.

I

Порядок выполнения работы

1. Для построения многопараметровой характеристики в координатах $p_e - n$ необходимо снять серию нагрузочных характеристик на наиболее характерных для данного двигателя частотах вращения, поэтому работу начинают со снятия ряда нагрузочных характеристик.

2. Заготовить протокол испытаний для снятия нагрузочных характеристик по форме № 1.

3. Завести и прогреть двигатель.

4. Снять нагрузочные характеристики для различных частот вращения (ориентировочно можно принять $n = 800, 1000, 1200, 1400, 1600$ и 1800 мин^{-1}). Во время опытов замерять частоту вращения, расход топлива за опыт, время расхода топлива, показания весового механизма и контрольных приборов.

5. Для каждой частоты вращения испытания начинать с холостого хода.

6. Увеличивая нагрузку на двигатель последовательно до $0,25 N_{\text{enom}}$, $0,50 N_{\text{enom}}$, $0,75 N_{\text{enom}}$, $0,90 N_{\text{enom}}$ и N_{enom} , проделать остальные опыты. Одновременно проверять по дежурной кривой правильность проведения опытов.

7. Постоянную частоту вращения при изменении нагрузки поддерживать путем перемещения рычага управления подачей топлива.

8. Вычислить значения мощности N_e , часового расхода топлива G_t , удельного расхода топлива g_e и среднего эффективного давления p_e . При этом

$$p_e = \frac{30 \cdot r \cdot N_e}{n \cdot V_d} \quad (9.1)$$

Для режимов, соответствующих полной подаче топлива, привести мощность, крутящий момент, среднее эффективное давление и часовой расход топлива к стандартным атмосферным условиям согласно ГОСТу

14846-81.

9. Построить диаграммы зависимости $g_e = f(p_e)$, $N_e = f(p_e)$ для каждой нагрузочной характеристики (рис. 9.1).

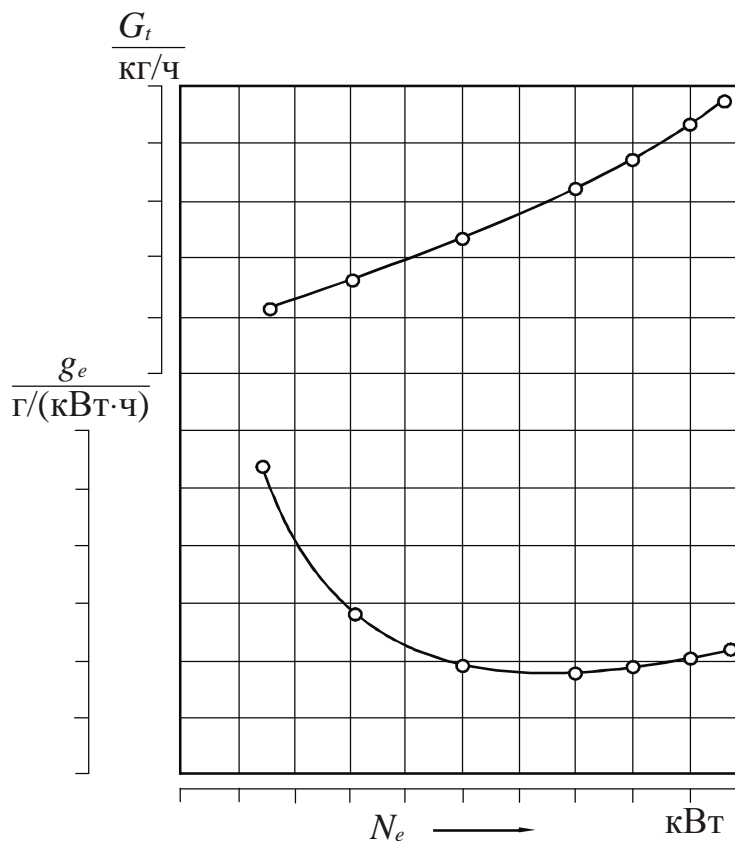


Рисунок 9.1 – Нагрузочная характеристика дизеля.

10. Пользуясь диаграммами $g_e = f(p_e)$, определить на различных режимах работы двигателя значения p_e для одинаковых удельных расходов топлива. Результаты вычислений занести в табл. 9.1.

Если при одной и той же частоте вращения имеются два значения, соответствующие одинаковой величине удельного расхода топлива, то эти значения заносятся в соответствующую графу таблицы в виде дроби p_{e1}/p_{e2} (рис. 9.2).

Интервал между близкими значениями p_e в области больших удельных расходов должен быть 20...50 г/(кВт·ч), а в области малых удельных расходов – 5...10 г/(кВт·ч),

11. Пользуясь диаграммой $N_e = f(p_e)$, определить на различных режимах работы двигателя значения p_e для одинаковых мощностей. Ре-

результаты вычислений занести в таблицу 9.2.

Таблица 9.1 – Значения p_e для одинаковых удельных расходов топлива и различных режимов работы дизеля

$g_e, \text{ г/кВт} \cdot \text{ч}$	$p_e, \text{ МПа}$				
	n_1	n_2	n_3	n_4	n_5
g_{e1}					
g_{e2}					
g_{e3}					
g_{e4}					

и т.д.

Таблица 9.2 – значения p_e для одинаковых значений мощности при различных режимах работы дизеля.

$N_e, \text{ г/кВт} \cdot \text{ч}$	$p_e, \text{ МПа}$				
	n_1	n_2	n_3	n_4	n_5
N_{e1}					
N_{e2}					
N_{e3}					
N_{e4}					

12. Построить многопараметровую характеристику (рис. 9.3). Для этого на диаграмме с координатами p_e и l нанести кривые одинаковых удельных расходов топлива и одинаковых мощностей.

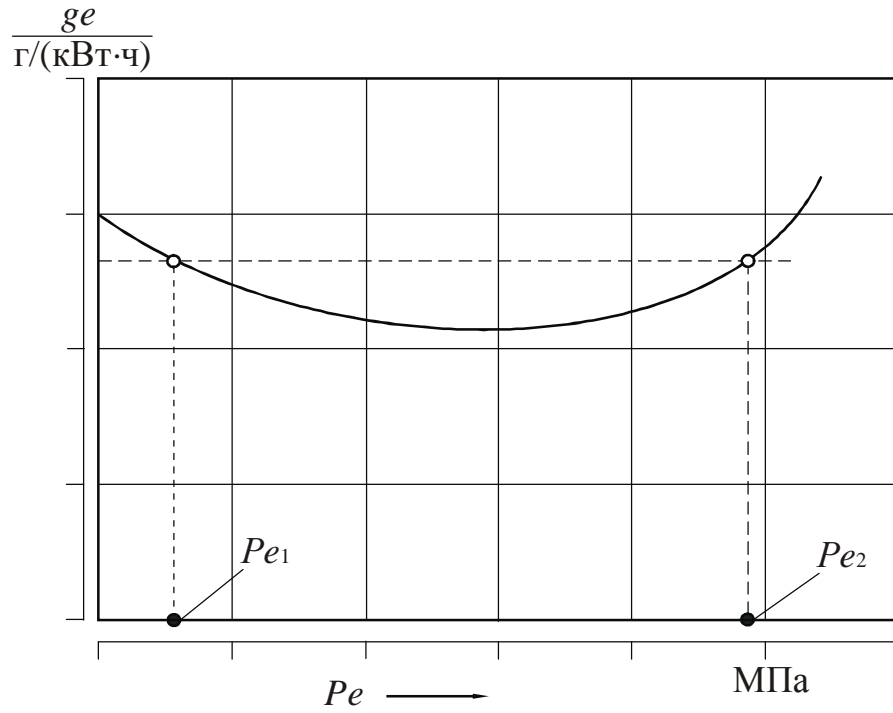


Рисунок 9.2 – Схема определения удельного расхода топлива.

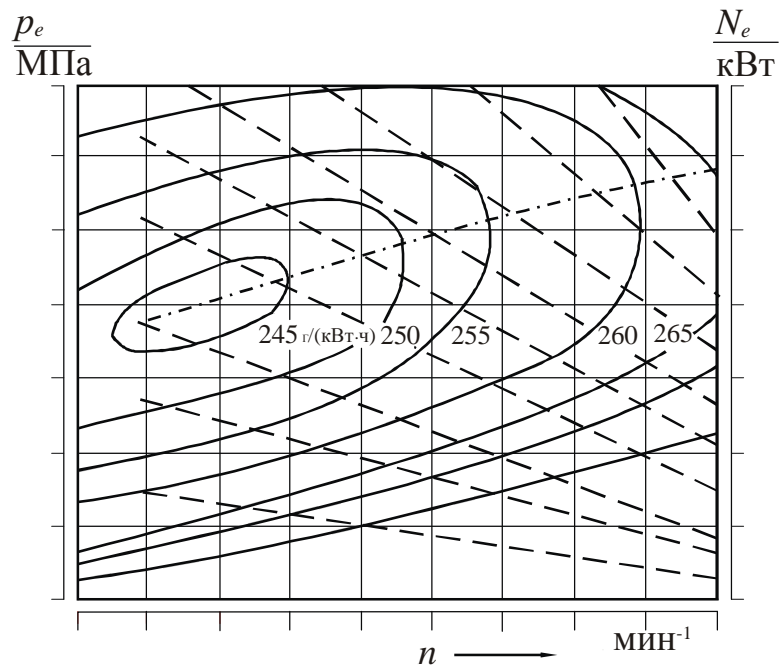


Рисунок 9.3 – Многопараметровая характеристика дизельного двигателя.

13. На полученной диаграмме нанести точки, соответствующие ми-

нимальным расходам топлива для каждой частоты вращения. Соединив эти точки плавной кривой, получим экономическую характеристику дизеля – зависимость p_e от n при наименьшем удельном расходе топлива (на диаграмме показана штрихпунктирной линией).

Контрольные вопросы

1. В каких координатах строятся многопараметровые характеристики?
2. Какие характеристики необходимо снять для построения многопараметровой характеристики?
3. Как ведется обработка результатов испытаний для построения многопараметровой характеристики?
4. Для каких целей строят многопараметровую характеристику?
5. Как определяют экономическую характеристику дизеля?

ЛИТЕРАТУРА

1. Двигатели внутреннего сгорания: Теория поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для вузов по специальности "Двигатели внутреннего сгорания" / Д.Н. Вырубов, Н.А. Иващенко, В.И. Ивин и др.; под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1983. – 372 с., ил.
2. Автомобильные двигатели / Под ред. М.С.Ховаха. – М.: Машиностроение, 1977. – 591 с.
2. Адамов В.М., Якубенко Г.Я., Кухаренок Г.М. Лабораторный практикум по курсу "Теория автомобильных и тракторных двигателей". – Мн.: БПИ, 1985. – 53 с.
3. Вершина Г.А., Якубенко Г.Я. Методическое пособие по курсам "Теория рабочих процессов ДВС" и "Динамика ДВС" для студентов специальности Т.05.10.00. – Мн.: ЗАО "Техноперспектива", 2001. – 85 с.
4. Колчин А.И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей: Учеб. пособие для вузов/ А.И. Колчин, В.П. Демидов – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2002.- 496 с.
5. Райков И.Я., Рывинский Г.Н. Конструкция автомобильных и тракторных двигателей. – М.: Высш. школа, 1986. – 351 с.
6. Якубенко Г.Я., Цаюн Н.П. Методическое пособие по курсу "Термодинамика и транспортные двигатели" для студентов заочной формы обучения. – Мн.: БГПА, 1998. – 48 с.

ПРОТОКОЛ №

тормозных испытаний двигателя _____, № _____, тормоз _____
 топливо _____, температура воздуха _____ °С, барометрическое давление _____ мм рт.ст., характери-
 стика _____ с составлением теплового баланса

№ замера	Показания весового механизма P , H	Частота вращения n , мин ⁻¹	Мощность N_e , кВт	Приведенная мощность $N_{пр}$, кВт	Температура			Расход воды			Расход топлива			q_e , %	$q_{охл}$, %	q_r , %	$q_{нс}$, %	$q_{ост}$, %	Примечание
					$t_{вых}$, °С	$t_{вх}$, °С	t_r , °С	$\Delta G_{охл}$, кг	t , с	$G_{охл}$, кг/ч	G_o , г	t , с	G_r , кг/ч						

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

<p>_____ Наименование организации</p> <p>_____ место проведения</p> <p>_____ число, месяц, год</p>	<p>_____ Наименование характеристики</p> <p>Двигатель _____</p>	
<p>Условия испытаний: _____</p> <p>_____</p> <div data-bbox="486 790 1286 1603" style="border: 1px solid black; padding: 20px; text-align: center;"><p>Диаграмма</p></div>		
<p>Протокол № _____</p>	<p>Испытания проводили: _____ <small>должность Ф.И.О.</small></p>	<p>Рис. _____</p>

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
 МАСШТАБЫ ДИАГРАММ

Масштабы диаграмм, построенных по результатам измерений и подсчетов, выбирают по таблице

Обозначение параметра, изображенного на диаграмме	Число единиц параметра, содержащихся в 1 см изображения на диаграмме, для диапазонов номинальных мощностей, кВт		
	от 20	от 20 до 50	от 50 до 100
N_e, N_i , кВт	1,0	2,0	5,0
M_k , Н·м	10	30	50
G_T, G_B , кг/ч	0,5	1,0	2,0
$G_{Ж}, G_{вент}$, кг/с	0,05	0,1	0,2
g_e , г/кВт·ч		10	
n , мин ⁻¹		100	
P_e, P_i , МПа		0,05	
h_v, h_i, h_e		0,05	
h_m		0,02	
t_r , °С		100	
$t_m, t_{ж}, t_{окр}$, °С		10	
q , град ПКВ		1	

С о д е р ж а н и е

Введение.....	3
1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ПРОВЕДЕНИЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ.	3
2. МЕТОДИКА СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ ДВИГАТЕЛЕЙ И ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ.....	7
Лабораторная работа № 1. Оборудование и приборы для стендовых испытаний автомобильных двигателей.	10
Лабораторная работа № 2. Скоростная характеристика бензинового двигателя.	18
Лабораторная работа № 3. Скоростная характеристика автомобильного дизеля.	21
Лабораторная работа № 4. Нагрузочная характеристика дизеля.	24
Лабораторная работа № 5. Регулировочная характеристика по углу опережения зажигания.	27
Лабораторная работа № 6. Исследование теплового баланса двигателя.	31
Лабораторная работа № 7. Исследование работы дизеля по регуляторной характеристике.	35
Лабораторная работа № 8. Исследование работы бензинового двигателя по нагрузочной характеристике.	39
Лабораторная работа № 9. Многопараметровая характеристика дизеля	42
Л и т е р а т у р а.	48
П Р И Л О Ж Е Н И Я.	49

Учебное издание

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ (практикум)

по дисциплине "Теория рабочих процессов двигателей внутреннего сгорания" для студентов специальности 15.01 - "Двигатели внутреннего сгорания"

Составители: КУХАРЕНОК Георгий Михайлович

ПЕТРУЧЕНКО Александр Николаевич

РУСЕЦКИЙ Игорь Константинович

Редактор

Подписано в печать

Формат Бумага тип. . Офсет, печать Усл. печл.
Уч.-изд.л. 2.40. Тир. зик. . Белорусский национальный технический университет. Отпечатано на ротапинтере БНТУ. 220027, Минск, пр. Независимости, 65.