

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Двигатели внутреннего сгорания»

АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДВИГАТЕЛИ

Методические указания
к работе с компьютерной программой
по выполнению лабораторных работ
для студентов специальностей
1-37 01 06 «Техническая эксплуатация автомобилей»,
1-37 01 07 «Автосервис»

Минск
БНТУ
2010

УДК 621.431.73 (076.5)

ББК 39.35я7

А 22

С о с т а в и т е л и :

М.П. Ивандиков, В.В. Альферович

Р е ц е н з е н т ы :

В.А. Бармин, М.И. Жилевич

Издание предназначено для углубления и закрепления знаний, полученных на лекциях, а также привития студентам необходимых навыков проведения вычислительного эксперимента при снятии стандартных характеристик двигателей внутреннего сгорания. Дается качественный и количественный анализ влияния различных факторов на изменение показателей работы двигателей, приводятся методики снятия скоростных и нагрузочных характеристик двигателей, вопросы для самопроверки.

Может быть использовано студентами других технических специальностей.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
<i>Лабораторная работа № 1</i>	
Скоростная характеристика бензинового двигателя.....	5
<i>Лабораторная работа № 2</i>	
Скоростная характеристика дизельного двигателя	22
<i>Лабораторная работа № 3</i>	
Нагрузочная характеристика бензинового двигателя	32
<i>Лабораторная работа № 4</i>	
Нагрузочная характеристика дизельного двигателя	40
Литература.....	47

ВВЕДЕНИЕ

Характеристики двигателей внутреннего сгорания определяют экспериментальным методом на специальных тормозных стендах, позволяющих нагружать двигатель и поглощать развиваемую им мощность во всем диапазоне режимов работы [2]. Устройства, нагружающие двигатель и поглощающие его энергию, называются тормозами. Стенды оборудованы средствами измерений основных показателей двигателя и параметров режима его работы. Методы стендовых испытаний регламентированы стандартами, в частности ГОСТ 18509-80 и ГОСТ 14846-81 [3].

Одновременно с экспериментальными тормозными стендами в учебном процессе все чаще применяются вычислительные эксперименты, обладающие определенными экономическими преимуществами.

Математическое моделирование характеристик двигателей внутреннего сгорания выполняют с использованием основных зависимостей теории двигателей в сочетании с использованием эмпирических математических моделей, полученных при многофакторных испытаниях конкретных двигателей. Это несколько ограничивает возможности моделирования, так как позволяет получать качественное протекание характеристик и количественное соответствие при относительно небольшой экстраполяции параметров двигателей и режимов его работы за пределы условий, в которых были получены эмпирические модели [1].

Программа реализована в офисном пакете Excel в виде файла «ДВС Характеристики 2009. xls». Программирование вычислений и диалога осуществлено на языке VBA. Для выполнения лабораторных работ открывается этот файл. Вся необходимая информация распределена на рабочих листах Excel:

- лист «Инструкции», для начала диалога пользователя с программой;

- лист «Расчеты», для выполнения вычислительного эксперимента.

Остальные листы скрыты от пользователя, так как содержат базы данных натуральных экспериментов, параметры настройки диалога и аналитические зависимости для вычислений.

Лабораторная работа №1

СКОРОСТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

Цель работы: освоить методику определения скоростных характеристик, выполнить вычислительный эксперимент на ЭВМ, моделирующий работу двигателя на тормозном стенде, получить численные значения параметров работы двигателя и проанализировать их изменения на графиках от частоты вращения коленчатого вала.

Содержание работы

Изучить методику определения скоростных характеристик бензиновых двигателей на тормозном стенде.

Изучить инструкцию по применению программы для вычислительного эксперимента.

Провести вычислительный эксперимент по снятию скоростных характеристик двигателя. Определить основные показатели двигателя для стандартных внешних условий, регулировок и заданных конструктивных параметров.

Оценить влияние изменения конструктивных и регулировочных параметров двигателя на мощностные и экономические показатели двигателя.

Оформить протокол испытаний для отчета.

Определения и термины

Скоростной характеристикой двигателя называется зависимость изменения эффективной мощности, крутящего момента, удельного и часового расходов топлива от частоты вращения коленчатого вала при постоянном положении рычага управления подачей топлива. Различают внешнюю и частичную скоростные характеристики.

Внешней скоростной характеристикой называется зависимость вышеупомянутых параметров двигателя от частоты вращения коленчатого вала при полностью открытой дрос-

сельной заслонке для карбюраторного двигателя или полностью нажатой педали акселератора у дизеля.

Частичной скоростной характеристикой называется зависимость вышеупомянутых параметров двигателя от частоты вращения коленчатого вала при любом другом неизменном промежуточном положении рычагов управления подачей топлива.

Скоростная характеристика служит для определения мощностных, скоростных и экономических показателей двигателя при различной частоте вращения коленчатого вала, запаса крутящего момента, а также момента выключения регулятора и оценки степени неравномерности работы регулятора (для дизеля).

В условиях эксплуатации двигатель работает по скоростной характеристике в том случае, когда автомобиль или тракторный агрегат движется на одной передаче в условиях переменной нагрузки (различные дорожные или технологические условия) при постоянном положении рычага управления подачей топлива. При этом изменение нагрузки ведет к изменению скоростного режима работы двигателя. Для автомобилей такие условия чаще всего имеют место при разгоне, осуществляемом с полным открытием дроссельной заслонки (ДЗ) в двигателях с искровым зажиганием или предельным натяжением главной пружины регулятора в дизелях.

Из всего множества скоростных характеристик наибольшее практическое значение имеет внешняя скоростная характеристика (ВСХ). Режимы ВСХ имитируют работу двигателя на автомобиле при движении последнего в условиях переменного дорожного сопротивления, но при постоянном и предельном положении органа управления двигателем. Изменение скоростного режима двигателя при снятии скоростных характеристик обеспечивается изменением внешней нагрузки с помощью тормозного устройства. Если двигатель не оборудован ограничителем или регулятором частоты вращения или они отключены, то ВСХ снимается в диапазоне от n_{\min} до $1,1 n_{\text{ном}}$.

ВСХ представляет собой верхнюю границу поля эксплуатационных режимов работы двигателя. На режимах ВСХ двигатель испытывает максимальные тепловые и механические нагрузки и выделяет большое количество токсичных веществ с ОГ.

Условия окружающей среды (давление, температура, влажность) сложным образом влияют на работу двигателя и его показатели. Чтобы сопоставить результаты испытаний, полученные при разных атмосферных условиях, мощностные показатели двигателя по ВСХ приводятся к стандартным атмосферным условиям: атмосферное давление $B_o = 100$ кПа (750 мм рт. ст.), температура воздуха $T_o = 298$ К, парциальное давление сухого воздуха $P_b = 99$ кПа, температура топлива (для дизелей) $T_{от} = 298$ К.

Приведенные значения N_{eo} , $M_{ко}$, P_{eo} получаются умножением полученных при испытаниях значений M_e , M_k и P_e на поправочный коэффициент, зависящий от давления и температуры окружающей среды, от влажности воздуха и типа двигателя (двигатель с искровым зажиганием или дизель).

Эффективную мощность определяют из выражения

$$N_e = \frac{H_u}{l_0} \frac{\eta_i}{\alpha} \eta_v \rho_k \frac{V_h i n}{30 \tau} \eta_m, \quad (1.1)$$

где H_u – теплотворная способность топлива; l_0 – теоретически необходимое количество воздуха для полного сгорания 1 кг топлива; η_i – индикаторный КПД двигателя; α – коэффициент избытка воздуха; η_v – коэффициент наполнения; ρ_k – плотность заряда на впуске; V_h – рабочий объем цилиндра; i – число цилиндров двигателя; n – частота вращения коленчатого вала; τ – тактность двигателя; η_m – механический КПД двигателя.

Эффективный крутящий момент, удельный эффективный расход топлива и коэффициент запаса крутящего момента определяют соответственно из выражений:

$$M_k = \frac{1000}{\pi \tau} V_{h^i} \frac{H_u}{l_0} \frac{\eta_i}{\alpha} \eta_v \rho_k \eta_m, \quad (1.2)$$

$$g_e = \frac{3600}{H_u \eta_i \eta_m}, \quad (1.3)$$

$$\mu_k = \frac{M_{k \max} - M_{кн}}{M_{кн}} \cdot 100\%. \quad (1.4)$$

В стандартах на методы испытаний двигателей применяют следующие определения:

Номинальная мощность $N_{ен}$ (кВт) – назначаемая предприятием-изготовителем эффективная мощность двигателя при номинальной частоте вращения, полной подаче топлива и нормальных атмосферных условиях, температуре и плотности топлива. На испытательный стенд двигатель устанавливают без вентилятора, воздухоочистителя, глушителей шума впуска и выпуска, искрогасителя, выпускной трубы и нейтрализатора отработавших газов, а также без оборудования, потребляющего мощность, но его не обслуживающего.

Эксплуатационная мощность $N_{э}$ отличается от номинальной тем, что на испытательном стенде двигатель должен быть укомплектован всем оборудованием для его обслуживания, независимо от того, установлено оно на автомобиле (тракторе, комбайне), для которого он предназначен. Оборудование, не обслуживающее двигатель, но потребляющее его мощность, должно быть отключено или снято. В том случае, если это не предусмотрено конструкцией, оно должно работать без нагрузки.

Номинальная частота вращения n_n (об/мин) – частота вращения коленчатого вала двигателя, при которой предприятием-изготовителем назначаются номинальная и эксплуатационная мощности.

Минимальная рабочая частота вращения n_{\min} – это наименьшая частота вращения коленчатого вала при полностью открытом дросселе у двигателя с искровым зажиганием и при полной подаче топлива у дизеля, при которой двигатель работает устойчиво не менее 10 мин.

Максимальная рабочая частота вращения n_{\max} – это наибольшая частота вращения коленчатого вала при полностью открытом дросселе у двигателя с искровым зажиганием и при полной подаче топлива у дизеля, установленная в технических условиях на двигатель.

Частота вращения, соответствующая максимальному крутящему моменту $n_{M_{k\max}}$, – частота вращения коленчатого вала, при которой двигатель развивает максимальный крутящий момент.

Максимальная частота вращения холостого хода $n_{x.x.\max}$ – это наибольшая частота вращения, установленная в технических условиях на двигатель.

Минимальная частота вращения холостого хода $n_{x.x.\min}$ – это наименьшая частота вращения, установленная в технических условиях для устойчивой работы двигателя на холостом ходу не менее 10 мин.

Часовой расход топлива G_T (кг/ч) – это масса топлива, расходуемого за 1 час на заданном режиме работы двигателя.

Удельный эффективный расход топлива g_e (г/(кВт·ч)) – это масса топлива, расходуемого в двигателе за 1 час, отнесенная к соответствующей мощности, развиваемой двигателем. Удельный расход топлива газовых двигателей допускается выражать как удельный расход энергии в Дж/(кВт·ч).

Номинальная мощность, максимальный крутящий момент, номинальная частота вращения, минимальная и максимальная рабочая частота вращения, частота вращения, соответствующая максимальному крутящему моменту, минимальная и максимальная частота вращения холостого хода, часовой и удельный эффективный расходы топлива при указанных ча-

стотах, а также минимальный удельный расход топлива составляют паспортные данные двигателя.

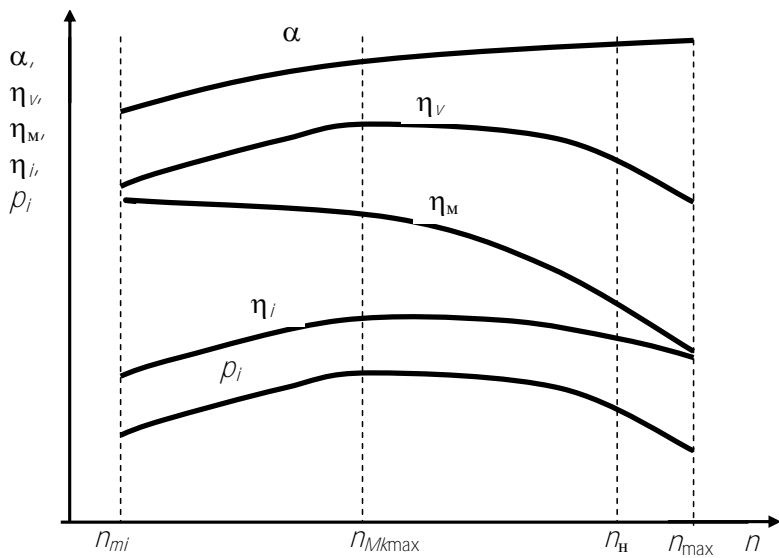
Автомобильные двигатели работают в широком диапазоне скоростных и нагрузочных режимов, а также в условиях их частого изменения. Под режимом работы двигателя понимается определенная совокупность параметров рабочего процесса, факторов внешней среды и внешней нагрузки, обеспечивающих двигателю определенные мощностные, экономические и экологические показатели.

Математическое моделирование характеристик двигателей выполняют с использованием основных зависимостей теории двигателей в сочетании с использованием эмпирических математических моделей, полученных при многофакторных испытаниях конкретных двигателей. Это несколько ограничивает возможности моделирования, так как позволяет получать правильное качественное протекание характеристик и количественное соответствие при относительно небольшой экстраполяции параметров двигателей и режимов работы за пределы условий, в которых были получены эмпирические модели.

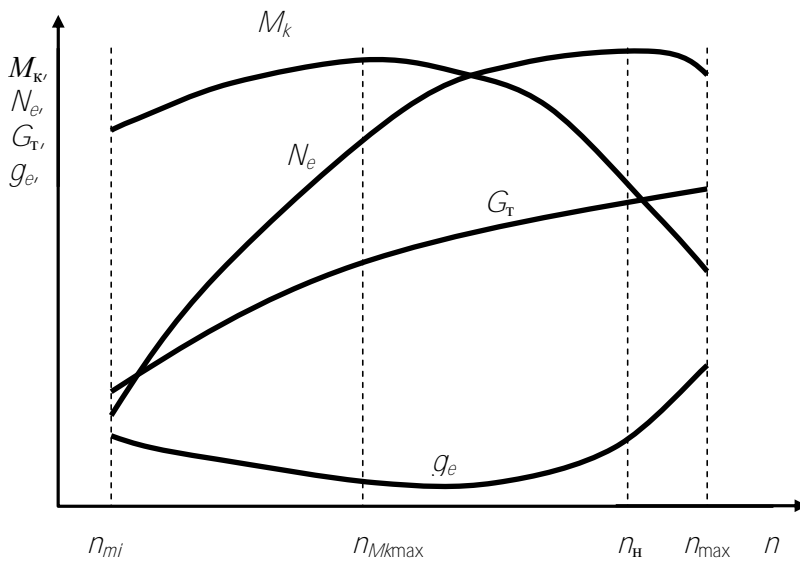
Скоростная характеристика двигателя с искровым зажиганием

Проведение испытаний двигателя на тормозном стенде

ВСХ снимается при штатной регулировке системы топливоподачи, которая на большинстве скоростных режимов обеспечивает состав смеси, близкий к мощностному. Штатные регулировки системы зажигания обеспечивают угол опережения зажигания $\varphi_{0.3} = \varphi_{0.3.опт}$ или на средних и малых частотах вращения $\varphi_{0.3}$, ограниченный появлением детонации. Вид характеристик показан на рис. 1.1.



а)



б)

Рис. 1.1. Скоростные характеристики двигателя с искровым зажиганием

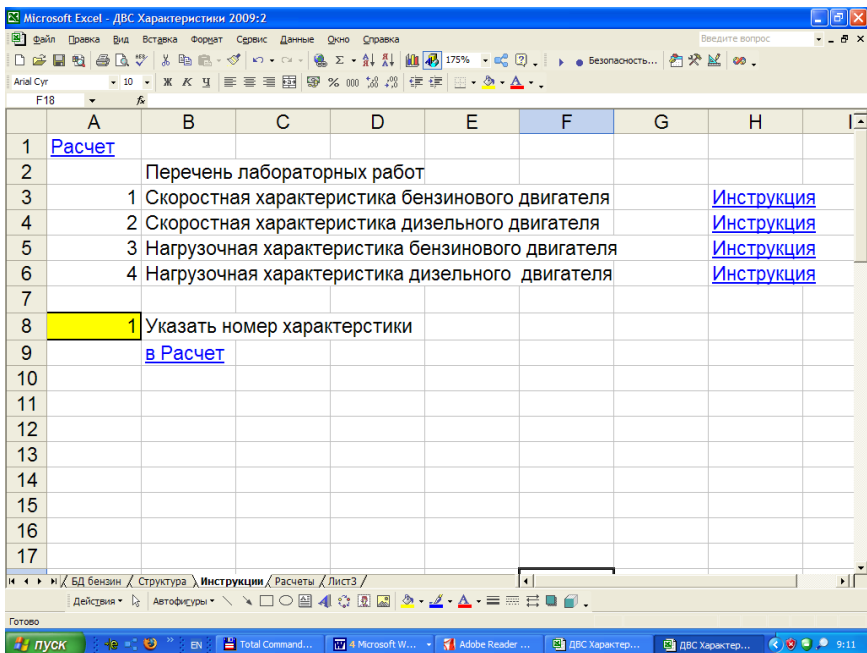


Рис. 1.2. Экранная форма выбора лабораторной работы, переходов на инструкции и в расчет

Испытания проводят при температуре окружающей среды $10...40\text{ }^{\circ}\text{C}$ и при атмосферном давлении $80...110\text{ кПа}$. Результаты испытаний приводят к стандартным условиям, за которые принимаются температура воздуха $T = 298\text{ К}$ ($+25\text{ }^{\circ}\text{C}$); давление воздуха $P = 100\text{ кПа}$.

До начала испытаний двигатель прогревают до нормального теплового состояния. Заданную частоту вращения устанавливают изменением нагрузки тормоза.

Первый опыт проводят при минимальной нагрузке и максимальной частоте вращения коленчатого вала (положение рычага управления подачей топлива не меняется). После того как температура двигателя стабилизируется, снимаются показания тормоза, частоты вращения, времени расхода топлива. Результаты испытаний записываются в протокол.

Второй опыт начинается с постепенного увеличения нагрузки до уменьшения частоты вращения примерно на $200 \dots 300 \text{ мин}^{-1}$. После стабилизации заданной частоты вращения коленчатого вала и температуры двигателя (через $1 \dots 2$ мин) снимаются вышеупомянутые показания.

Третий и последующие опыты выполняются аналогичным образом, увеличивая постепенно нагрузку и изменяя частоту вращения с постоянным шагом. Число опытов при снятии скоростной характеристики должно быть таким, чтобы достичь области перегиба кривых.

Опыты проводятся с учетом их повтора на каждом нагрузочном режиме в обратной последовательности. Последний опыт проводится при минимальной нагрузке.

Для построения скоростной характеристики двигателя число скоростных режимов, при которых проводятся измерения, должно быть не менее $6 \dots 8$, т.е. достаточным, чтобы выявить форму и характер кривых.

Замер каждой точки характеристики включает измерение следующих параметров работы двигателя:

- $P_{\text{вс}}$ – усилия на динамометре тормоза, Н;
- τ – времени расходования двигателем заданной массы топлива ΔG_T , с;
- n – частоты вращения коленчатого вала двигателя, мин^{-1} ;
- $t_{\text{в вых}}$ – температуры воды на выходе из двигателя, $^{\circ}\text{C}$;
- t_M и ρ_M – температуры, $^{\circ}\text{C}$, и давления масла, МПа, в двигателе;
- t_r – температуры отработавших газов, $^{\circ}\text{C}$;
- φ_3 – угла опережения зажигания, градус ПКВ;
- $\Delta V_{\text{в}}$ – объемного расхода воздуха за время τ , $\text{м}^3/\text{с}$;
- B_0 , t_0 и φ – соответственно атмосферного давления, мм рт. ст., температуры, $^{\circ}\text{C}$, и влажности воздуха, %.

По результатам измерений рассчитываются по формулам и наносятся на график с изображением экспериментальных точек значения следующих показателей: M_e , G_T , $G_{\text{в}}$. Затем по

результатам замеров и, если необходимо, с использованием откорректированных кривых M_e^0 , G_T^0 , G_B^0 рассчитываются и наносятся на графики остальные показатели двигателя N_e , g_e и т.д.

Часто величины α , η_v , а также значения угла опережения зажигания φ_z , температуры отработавших газов t_r и других параметров наносятся на отдельный график. Для внешней скоростной характеристики на графике обычно указывается значение как приведенной, так и не приведенной мощности и крутящего момента.

Проведение вычислительного эксперимента для снятия скоростной характеристики бензинового двигателя

Открыть файл с программой «ДВС Характеристики 2009. xls». Перейти на лист «Инструкции». Выбрать вариант 1.

Для просмотра методики снятия характеристики на ЭВМ нажать гиперссылку «Инструкция» своего варианта.

На листе «Расчеты» (рис. 1.3) для справки показаны основные команды:

- вывод протокола осуществляется нажатием клавиш [Ctrl] + [П];
- расчет по активному столбцу осуществляется нажатием клавиш [Ctrl] + [p];
- расчет всей таблицы осуществляется нажатием клавиш [Ctrl] + [P].

После указания на листе «Инструкции» номера лабораторной работы на листе «Расчеты» выведенная информация соответствует двигателю и снимаемой характеристике. В табличном виде имеются основные данные по двигателю, его параметрам для работы и условиям проведения эксперимента.

Указав количество точек в эксперименте, выводим протокол испытаний [Ctrl]+[П]. По этой команде все ячейки протокола очищаются и выводится информация о параметрах дви-

гателя. Перейти затем на лист «Расчеты», нажав выделенные цветом гиперссылки.

При работе двигателя по скоростной характеристике изменяется внешняя нагрузка, а изменение частоты вращения коленвала является ее следствием. Но так как нас интересует зависимость всех параметров от частоты вращения, каждому ее значению соответствует только одно значение крутящего момента, то в каждом опыте указываем положение заслонки, например, 100%, и частоту вращения коленвала.

Направление изменения частоты вращения в таблице может быть любым (с нарастанием или понижением в пределах допустимых значений), так как для анализа с помощью диаграмм можно все данные упорядочить командой Excel «Сортировка».

При пошаговом «снятии» характеристики необходимо, чтобы активная ячейка (курсор) находилась в этом столбце. Вычисление параметров двигателя для текущего столбца вызывается сочетанием клавиш [Ctrl] + [p]. При наличии ошибок выдается сообщение выше номера опыта.

Анализ полученных данных проводится инструментами Excel «Диаграммы». Выбрав один или несколько параметров отображаем их графики на диаграмме. Для выявления характерных точек можно скорректировать значения частот вращения коленвала и вызвать заново полный расчет данных протокола (рис. 1.4).

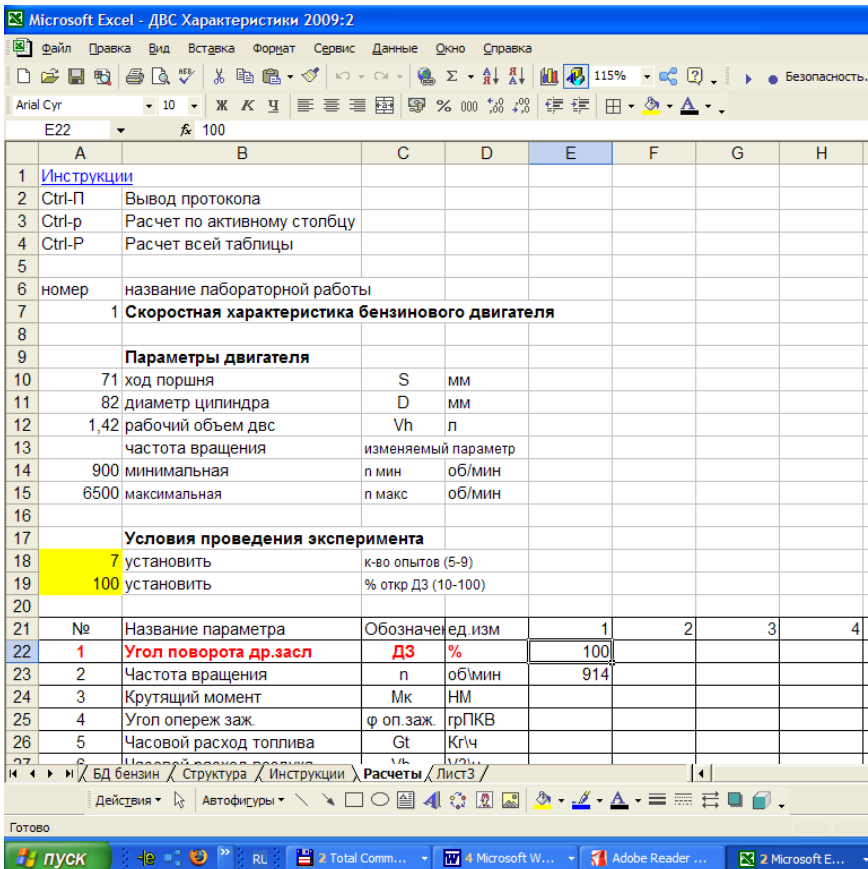


Рис. 1.3. Пример состояния листа «Расчеты» перед расчетом параметров первого опыта

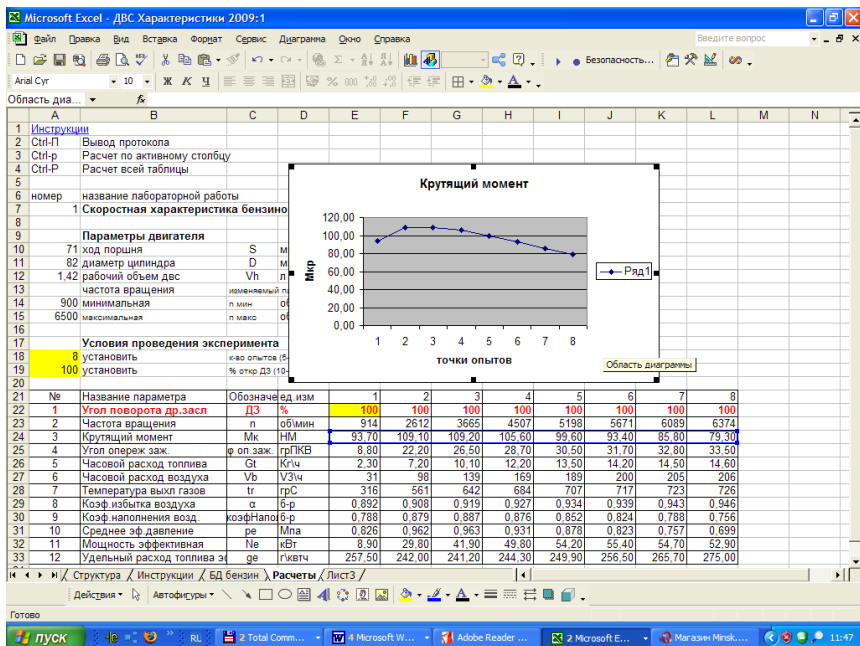


Рис. 1.4. Пример состояния листа «Расчеты» после полного расчета параметров по скоростной характеристике бензинового двигателя и анализа $M_{кр}$ на диаграмме

Анализ результатов испытаний

С увеличением n происходит уменьшение относительных потерь теплоты в стенке цилиндров, улучшается качество смесеобразования и сокращается длительность второй фазы сгорания в единицах времени (но практически сохраняется ее длительность в градусах ПКВ). Это приводит к увеличению η_i с ростом частоты вращения и дальнейшей его стабилизации; последнему способствует некоторое возрастание фазы догорания, увеличивающее тепловые потери в стенке. Аналогичным образом изменяется отношение η_i/α . Таким образом, качество рабочего процесса двигателя с искровым зажиганием не лимитирует возможность его форсирования по скоростному режиму.

Характер изменения η_v в зависимости от частоты вращения неоднозначен для разных двигателей, хотя имеют место некоторые общие закономерности. Для двигателей легковых автомобилей максимальные значения η_v в зоне высоких частот вращения обеспечивают высокую номинальную мощность двигателя, что в конечном счете определяет высокую скорость и хорошую динамику разгона автомобиля. Для двигателей грузовых автомобилей максимальное значение η_v в зоне низких и средних частот вращения обеспечивает хорошие тяговые свойства автомобиля.

Совместное влияние η_i , α и η_v определяет соответствующий характер изменения $\rho_i(n)$: его уменьшение при малых частотах вращения связано с уменьшением η_i и η_v , а при высоких – только с уменьшением η_v (рис. 1.1).

Среднее давление механических потерь ρ_m возрастает с увеличением n по закону, близкому к линейному, что в сочетании с характером изменения $\rho_i(n)$ приводит к монотонному снижению механического КПД η_m с ростом n .

Снижение p_e при малых n определяется теми же факторами, что и снижение ρ_i (т.е. η_i и η_v), а при $n > n_{M_{kmax}}$ вызывается снижением η_v и η_m . Как правило, для карбюраторных двигателей $n_{M_{kmax}} = (0,55 \dots 0,70)n_{н}$, а коэффициент приспособляемости $K_m = M_{kmax}/M_{кн}$ лежит в пределах 1,10...1,30.

Увеличение N_e (рис. 1.1, б) с увеличением n продолжается до тех пор, пока рост частоты циклов, пропорциональный n , преобладает над снижением p_e . Когда эти два фактора компенсируют друг друга, то достигается максимальная мощность двигателя N_{emax} .

При $n > n_{N_{emax}}$ происходит резкое снижение N_e , что связано с соответствующим возрастанием p_m и снижением η_v . При $\rho_i = p_m$ двигатель выходит на режим холостого хода при полностью открытой дроссельной заслонке (ДЗ), достигая максимальной частоты вращения n_{max} , которая на 30...50% превосходит номинальную. При этом существенного изменения состава смеси

и, следовательно, рабочего процесса не происходит. Для двигателей легковых автомобилей кратковременный выход на этот режим опасности не представляет.

Для двигателей грузовых автомобилей, имеющих сравнительно большие возвратно-поступательно движущиеся массы и, следовательно, высокие значения сил инерции, нагружающих детали двигателя, максимальная частота вращения может оказаться опасной с точки зрения надежности. Поэтому такие двигатели снабжаются ограничителями частоты вращения, уменьшающими подачу топливовоздушной смеси при $n > n_n$.

На графиках ВСХ чаще всего наносятся приведенные к стандартным условиям значения крутящего момента и мощности, а также кривые часового и удельного расхода топлива.

Изменение удельного расхода топлива по ВСХ определяется произведением η_m . Увеличение g_e при низких значениях n связано с уменьшением η_i , а при высоких – с уменьшением η_m . При $n = n_{\max}$ $g_e = \infty$.

Температура отработавших газов (ОГ) по ВСХ увеличивается с увеличением n , что связано с уменьшением теплоотдачи в стенки цилиндра при сгорании и расширении вследствие уменьшения длительности цикла и повышения температуры некоторых деталей двигателя, а также из-за увеличения фазы догорания топлива. Содержание токсичных веществ в ОГ по ВСХ определяется совместным влиянием α , $\varphi_{0.3}$ и условий смесеобразования и сгорания.

Частичные скоростные характеристики снимаются при постоянных промежуточных положениях ДЗ. Прикрытие ДЗ приводит к более резкому снижению η_i с увеличением n , что вызывает соответствующее снижение p_i . Последнее является причиной значительного снижения η_m , прямо влияющего на величину p_e . Чем сильнее прикрыта ДЗ, тем круче зависимость $p_e(n)$, $M_k(n)$, $N_e(n)$. При этом их максимальные значения сдвигаются в область меньших частот вращения.

При незначительном прикрытии ДЗ, когда снижение η_v невелико, возможно улучшение экономичности двигателя (уменьшение g_{emin}) при работе по частичной скоростной характеристике по сравнению с работой по ВСХ. Это связано с переходом работы системы питания на приготовление обедненных составов смеси. При дальнейшем прикрытии ДЗ происходит увеличение g_{emin} вследствие снижения η_m , а при очень сильных прикрытиях ДЗ – и вследствие уменьшения η_i .

Внешняя скоростная характеристика является основной транспортной характеристикой двигателя, на основании которой заводом-изготовителем указываются основные технические показатели двигателя:

- $N_{ном}$ – номинальная мощность, гарантируемая заводом изготовителем при номинальной частоте вращения $n_{ном}$;
- M_{emax} – максимальный крутящий момент двигателя и соответствующая ему частота вращения n_{Me} ;
- g_{min} – минимальный удельный расход топлива по внешней скоростной характеристике и соответствующая ему частота вращения $n_{ge min}$.

При анализе внешней характеристики также оценивают:

- N_{emax} – величину максимальной мощности двигателя и соответствующую ей частоту вращения коленчатого вала двигателя n_{Ne} ;
- n_{min} – значение минимально устойчивой частоты вращения коленчатого вала двигателя;
- η_v – максимальную величину коэффициента наполнения и характер его изменения в зависимости от скоростного режима;
- η_m – механический КПД двигателя и другие показатели.

Важным оценочным параметром является и коэффициент запаса крутящего момента [1; 4].

Вопросы для самопроверки

1. Что называется скоростной характеристикой двигателя?
2. Чем отличается внешняя скоростная характеристика от частичной?
3. Какие характерные режимы и показатели определяются по внешней скоростной характеристике?
4. Объяснить характер изменения по внешней характеристике следующих показателей рабочего процесса: η_v , ρ_i , ρ_e и N_e .
5. Что такое коэффициент запаса крутящего момента?
6. Почему эффективный удельный расход топлива увеличивается при низких и высоких частотах вращения и уменьшается на средних скоростных режимах?
7. Что такое минимальная частота вращения по внешней скоростной характеристике и чем она определяется?
8. Что такое максимальная и номинальная мощность двигателя?
9. Каков порядок снятия внешней скоростной характеристики на стенде?

Лабораторная работа № 2

СКОРОСТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Цель работы: освоить методику определения скоростных характеристик, выполнить вычислительный эксперимент на ЭВМ, моделирующий работу двигателя на тормозном стенде, получить численные значения параметров двигателя и проанализировать их изменения на графиках от частоты вращения коленчатого вала.

Содержание работы

Изучить методику определения скоростных характеристик дизельного двигателя.

Изучить инструкцию по применению программы для вычислительного эксперимента.

Провести вычислительный эксперимент по снятию скоростных характеристик двигателя. Определить основные показатели двигателя для стандартных внешних условий, регулировок и заданных конструктивных параметров.

Оценить влияние изменения конструктивных и регулировочных параметров двигателя на мощностные и экономические показатели двигателя.

Оформить протокол испытаний для отчета.

Определения и термины

Определения и термины, а также некоторые отдельные общие положения о скоростных характеристиках бензинового и дизельного двигателей смотри в лабораторной работе № 1 «Скоростная характеристика бензинового двигателя».

Скоростная характеристика дизельного двигателя

Вид скоростной характеристики дизеля зависит от типа используемого регулятора (рис. 2.2). При максимальной затяжке пружины всережимного регулятора определяют внешнюю скоростную характеристику с регуляторной ветвью. При этом внешней скоростной характеристикой (или корректорной ветвью ВСХ) называют участок от минимальной частоты вращения n_{\min} до номинальной n_n . На участке $n_n \dots n_{x.x.\max}$ имеем регуляторную ветвь характеристики.

Характеристику определяют при изменении внешней нагрузки от нуля при $n_{x.x.\max}$ до нагрузки, соответствующей режиму максимального крутящего момента. При графическом изображении показателей двигателя в зависимости от n получим скоростную характеристику с регуляторной ветвью. Если показатели двигателя представить в зависимости от эффективной мощности или крутящего момента, то получим регуляторную характеристику.

При затяжке пружины регулятора меньше максимальной определяют частичные скоростные характеристики. Их также можно построить в зависимости от частоты вращения. На такой характеристике фигурирует лишь часть внешней скоростной характеристики.

Методика снятия характеристики на стенде

Прогретый до рабочих температур масла и воды двигатель выводят на режим минимально устойчивых оборотов n_{\min} , рекомендуемый заводом. Для этого плавно выдвигают рейку топливного насоса в положение «на упоре» (максимальная цикловая подача топлива) и одновременно регулировкой тормоза устанавливают режим n_{\min} . После стабилизации теплового состояния проводят корректировку частоты вращения, производят основные замеры:

- усилия $P_{\text{вес}}$ или момента M_e по весам тормоза;
- частоты вращения n и расхода воздуха G_B за время τ , соответствующее расходу задаваемой массы топлива на опыт ΔG_T ;
- температуры воды t_B и масла t_M ;
- температуры отработавших газов t_G ;
- барометрического давления B_0 ;
- влажности φ %;
- температуры воздуха на впуске.

Далее устанавливают следующий скоростной режим, оставляя неизменным положение педали акселератора и увеличивая частоту вращения двигателя изменением регулировки тормоза. Интервалы по скоростному режиму выбирают кратными 100 мин^{-1} и повторяют замеры. Замеры, начиная с режима, близкого к номинальной частоте вращения $n_{\text{ном}}$, т.е. от момента начала работы регулятора, производят через 40...20 оборотов до почти полной разгрузки двигателя. На регуляторной ветви характеристики необходимо произвести не менее 4...5 замеров. После обработки экспериментальных данных по соответствующим формулам должны быть построены необходимые графики, примерный вид которых показан на рис. 2.2.

Проведение вычислительного эксперимента для снятия скоростной характеристики дизельного двигателя

Открыть файл с программой «ДВС Характеристики 2009.xls». Перейти на лист «Инструкции» (см. рис. 1.2). Выбрать вариант 2.

Для просмотра методики снятия характеристики на ЭВМ нажать гиперссылку «Инструкция» своего варианта.

Перейти на лист «Расчеты», нажав выделенные цветом гиперссылки.

Ознакомившись с основными командами (см. рис. 1.3), необходимо указать количество опытов, очистить протокол [Ctrl]+[П] и ввести начальные данные.

В этой характеристике опыты начинаются с частоты $n_{х.х. max}$ работы регулятора и постоянным ее уменьшением за счет увеличения нагрузки. Желательно, 3 или 4 точки выбрать в пределах работы регулятора, а остальные – в зоне скоростной характеристики. Для отображения графической зависимости можно все данные упорядочить по убыванию частоты вращения (рис. 2.1).

№	Название параметра	Обозначение	ед. изм.	1	2	3	4	5	6	7
22	Ст. хода акселератора	Φ аксел	%	100	100	100	100	100	100	100
23	Частота вращения	n	об/мин	2202	2062	1845	1649	1460	1131	900
24	Крутящий момент	M_k	Нм	546.9	557.3	560.9	574.1	573.9	557.9	530
25	Угол опереж. впрыска	ϕ оп.впр	ПКВ	14.6	14.2	13.6	13.2	12.8	12.3	12
26	Доза топлива	ΔG_t	гр	400	400	400	200	200	200	200
27	Время расхода	t	с	45.67	40.49	53.84	30.04	34	33.81	50.56
28	Часовой расход топлива	G_t	кг/ч	31.5	29.7	26.7	24	21.2	16.1	12.3
29	Часовой расход воздуха	V_v	км ³ /ч	609	571	511	455	402	308	243
30	Температура выхл. газов	T_r	С	526.8	514.7	490.1	405	473.6	454.5	437.6
31	Темп. Подогрева на впуске	ΔT	С	15.6	16.5	10.2	20.1	22.4	28.2	34.7
32	Выбросы СnHn	СnHn	мг/л	0.042	0.042	0.042	0.041	0.041	0.038	0.032
33	Выбросы Nox	Nox	мг/л	3.76	3.71	3.65	3.59	3.53	3.45	3.41

Рис. 2.1. Пример состояния листа «Расчеты» после снятия скоростной характеристики дизельного двигателя с убыванием частоты вращения

Внешняя скоростная характеристика дизеля

Цикловая подача воздуха зависит от $V_h \eta_v \rho_k$. В дизеле без наддува $\rho_k = \rho_0$ и изменение цикловой подачи воздуха в зависимости от частоты вращения целиком определяется характером изменения коэффициента наполнения.

В общем случае характер зависимости α (см. рис. 1.1, а) от частоты вращения определяется комплексом $\frac{\eta_v \rho_k}{Q_{\text{ц}}}$. Воздействуя на цикловую подачу топлива $Q_{\text{ц}}$, можно обеспечить любой характер зависимости $\alpha = f(n)$.

Учитывая, что

$$M_k = K_M P_e, \quad (2.5)$$

$$P_e = \frac{Q_{\text{ц}} \rho_T H_u \eta_i \eta_M}{V_h}, \quad (2.6)$$

$$Q_{\text{ц}} = \frac{V_h \eta_v \rho_k}{\alpha / \alpha_0}, \quad (2.7)$$

получим

$$M_k = K_M \frac{\eta_v \rho_k H_u \eta_i \eta_M}{\alpha / \alpha_0}, \quad (2.8)$$

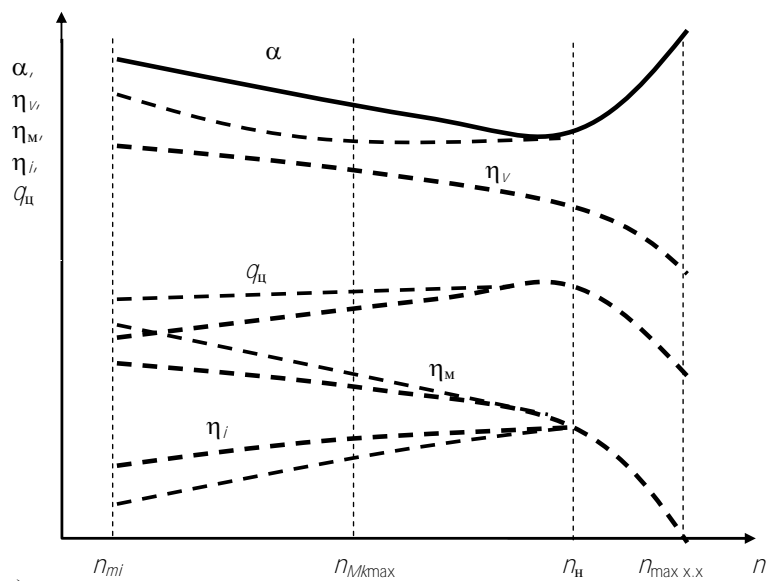
где $K_M = \frac{1000 V_h i}{\pi \tau}$; ρ_T – плотность топлива.

Таким образом, характер изменения α с частотой вращения является одним из основных управляющих факторов при формировании внешней скоростной характеристики.

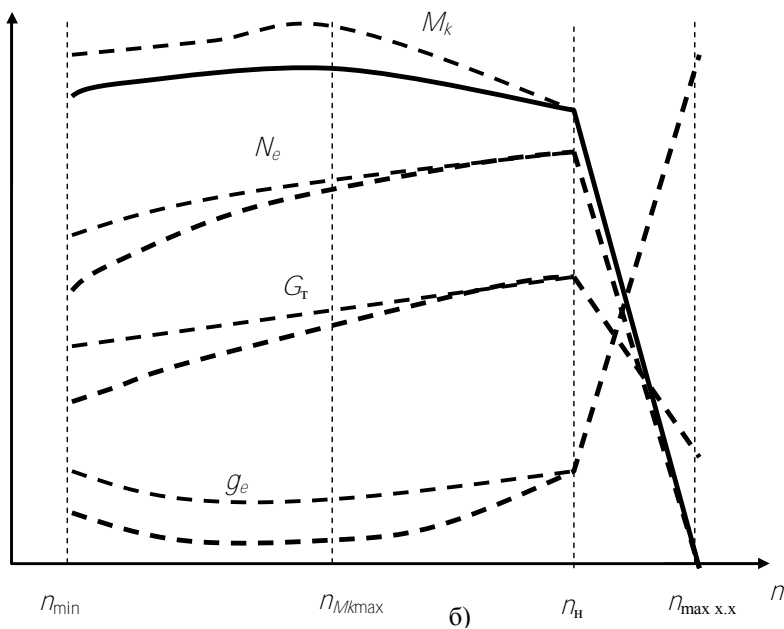
Для дизеля без наддува

$$M_k = A_1 \frac{\eta_v \eta_i \eta_M}{\alpha},$$

где $A_1 = K_M \frac{\rho_0 H_u}{\alpha_0}$.



а)



б)

Рис. 2.2. Скоростные характеристики дизельного двигателя

Если изменять цикловую подачу топлива так, чтобы значение α оставалось неизменным, то момент будет изменяться пропорционально произведению $\eta_i \eta_m$. В этом случае при снижении частоты вращения η_i уменьшается, а η_m возрастает. Максимум M_k получим при $\eta_i \eta_m = \max$. Дополнительное увеличение M_k можно получить снижая до определенных пределов α . В этом случае при уменьшении n более существенно, чем при $\alpha = idem$, будет снижаться η_i (см. штриховые кривые на рис. 2.2). Здесь ограничение по снижению α связано с нормами дымности. Поэтому возможности повышения коэффициента запаса крутящего момента в дизеле без наддува ограничены и он обычно не превышает 10...12%.

Для дизелей без наддува и с нерегулируемым наддувом помимо прямой коррекции скоростной характеристики топливоподачи вынуждены прибегать к обратной коррекции. Этим достигается снижение дымности отработавших газов при работе дизеля с полной нагрузкой в зоне малых частот вращения.

Характер зависимости $\alpha = f(n)$ в большей мере определяет изменение η_i и температуры ОГ. Как правило, η_i при увеличении частоты вращения возрастает, а температура отработавших газов t_f повышается, если коэффициент избытка воздуха остается при этом неизменным или незначительно возрастает. При заметном увеличении α , начиная с определенной частоты вращения, t_f понижается с ростом n . Чтобы избежать уменьшения η_i при снижении частоты вращения (по сравнению с величиной η_i при номинальной частоте вращения), необходимо обеспечить заметное увеличение α . Это возможно осуществить соответствующим выбором сочетания характеристики топливоподачи и характеристик агрегатов, обеспечивающих наддув. Как показано выше, существенное увеличение α при снижении n затруднительно, так как необходимо одновременно достигнуть определенного запаса крутящего момента.

В дизеле без наддува $p_k = p_0 = \text{const}$ и, следовательно, характер изменения M_k (2.8) и p_e (2.6) от частоты вращения опреде-

ляется выражением $(\eta/\alpha)\eta_i\eta_m$. При уменьшении n снижается η/α , если одновременно α незначительно растет. Аналогичное по характеру, но более слабое изменение η/α имеет место при $\alpha = \text{const}$.

Несмотря на это, M_k при снижении частоты вращения от n_H до $n_{Mk_{\max}}$ растет из-за преобладающего влияния увеличения η_V и особенно η_m (см. рис 1.1, б). При дальнейшем снижении n крутящий момент уменьшается из-за преобладающего влияния уменьшения η/α и η_i . Увеличение коэффициента запаса крутящего момента можно в рассматриваемом случае достигнуть коррекцией скоростной характеристики топливоподачи. При этом α будет уменьшаться по мере снижения n , η_i , но будет обеспечено увеличение η/α и M_k . Следовательно, получение необходимого запаса крутящего момента сопряжено со снижением η . Запас крутящего момента дизелей с ненастроенными и нерегулируемыми системами газотурбинного наддува может быть меньше, чем у дизелей без наддува, из-за уменьшения ρ_k при снижении частоты n . Если путем соответствующей организации воздухообеспечения сохранять при снижении n достаточно высокое значение η_i , то увеличением цикловой подачи топлива можно достигнуть необходимого прироста крутящего момента.

Для дизелей без наддува и особенно с нерегулируемой и ненастроенной системой наддува M_k сравнительно мало изменяется в зависимости от частоты вращения.

При снижении частоты вращения η_i , как правило, уменьшается, а η_m увеличивается. Удельный эффективный расход топлива g_e достигает минимума обычно при некоторой средней частоте вращения, когда обеспечивается максимум произведения $\eta\eta_m$.

Если на дизеле нет автомата угла опережения впрыскивания, а оптимальное значение последнего выбирают при частоте вращения, близкой к номинальной, то в зоне малых частот $\varphi_{0,вп}$ оказывается чрезмерно большим, что влечет за собой по-

вышенные значения максимального давления P_z , λ , $(\Delta p/\Delta \varphi)_{\max}$, температуры деталей, содержания в ОГ оксидов азота и пр. Если $\varphi_{0, \text{вп}}$ при всех частотах вращения близок к оптимуму, то, как правило, максимальное давление сгорания растет при увеличении n , причем особенно резко на дизеле с нерегулируемым наддувом. Характер изменения $(\Delta p/\Delta \varphi)_{\max} = f(n)$ зависит от индивидуальных особенностей двигателя.

Дымность ОГ, как правило, снижается, а содержание оксидов азота растет при увеличении частоты вращения.

N_e , M_k , P_e и расходы топлива по внешней скоростной характеристике приводятся к стандартным атмосферным условиям: барометрическое давление – 100 кПа, температура воздуха – 25 °С и относительная влажность воздуха – 50%. Стандартную температуру топлива принимают 25 °С, а стандартную плотность топлива – 0,823 т/м³.

Регуляторная ветвь скоростной характеристики дизеля. Решающую роль в формировании зависимости показателей дизеля от частоты вращения по регуляторной ветви играет уменьшение цикловой подачи топлива с ростом n , осуществляемое автоматическим регулятором. Так как диапазон изменения n по регуляторной ветви невелик, то изменение показателей дизеля связано в основном с изменением нагрузки. Поэтому для анализа регуляторной ветви скоростной характеристики можно воспользоваться сведениями, приведенными при рассмотрении нагрузочной характеристики. Отметим лишь, что по регуляторной ветви несколько резче падает η_m , так как кроме уменьшения нагрузки это вызывается также одновременным небольшим ростом частоты вращения. Коэффициент наполнения может не изменяться по регуляторной ветви, поскольку влияние уменьшения подогрева компенсируется увеличением потерь давления во впускной системе из-за повышения скорости движения заряда с ростом n .

Вопросы для самопроверки

1. Каковы особенности определения внешней характеристики дизеля и что такое эксплуатационная внешняя характеристика?
2. Назовите характерные режимы внешней характеристики.
3. Объяснить характер изменения по скоростной характеристике следующих параметров: α , η_v , η_m , η_i .
4. От каких факторов зависит характер изменения M_e или p_e по скоростной характеристике?
5. Что такое коэффициент запаса крутящего момента?
6. Чем объясняется характер изменения кривых N_e и g_e по скоростной характеристике?
7. Для чего осуществляют коррекцию подачи топлива по частоте вращения и как при этом происходит изменение основных показателей рабочего процесса?
8. Почему на дизелях необходимо устанавливать регуляторы частоты вращения?
9. Каково назначение двухрежимного и всережимного регуляторов?
10. Какова методика снятия скоростной характеристики на стенде?

Лабораторная работа № 3

НАГРУЗОЧНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КАРБЮРАТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Цель работы: освоить методику определения нагрузочных характеристик, выполнить вычислительный эксперимент на ЭВМ, моделирующий работу двигателя на тормозном стенде, получить численные значения параметров работы двигателя и проанализировать их изменения на графиках от нагрузки P_e .

Содержание работы

Изучить методику определения нагрузочных характеристик бензиновых двигателей на тормозном стенде.

Изучить инструкцию по применению программы для вычислительного эксперимента.

Провести вычислительный эксперимент по снятию нагрузочной характеристики двигателя. Получить графическую зависимость изменения удельного и часового расходов топлива от нагрузки двигателя для стандартных внешних условий, регулировок и заданных конструктивных параметров.

Оценить влияние изменения конструктивных и регулировочных параметров двигателя на мощностные и экономические показатели двигателя.

Выполнить анализ факторов, определяющих изменение основных показателей двигателя при работе по нагрузочной характеристике, оценить фактические значения полученных показателей.

Оформить протокол испытаний для отчета.

Теоретическая часть

Определение и назначение

Нагрузочной характеристикой двигателя называется зависимость изменения часового расхода топлива G_T , удельного эффективного расхода топлива g_e и других показателей двигателя (η_i , η_v , α и др.) от изменения нагрузки (p_e , M_e , N_e) при постоянной частоте вращения коленчатого вала.

Нагрузочная характеристика позволяет установить часовой G_T и удельный g_e расходы топлива на различных нагрузках, определить минимальный удельный и соответствующий ему часовой расход топлива, а также наиболее выгодный режим работы двигателя по мощности при заданной частоте вращения коленчатого вала.

Автомобильный двигатель в эксплуатации сравнительно редко работает на полной мощности (режим разгона, движение в тяжелых дорожных условиях или с максимальной скоростью). Основную часть времени он работает при неполных (частичных) нагрузках. В карбюраторном двигателе уменьшение мощности при постоянном скоростном режиме осуществляется прикрытием дроссельной заслонки карбюратора, т.е. дросселированием. При этом уменьшается плотность, а следовательно, и количество свежего заряда, поступающего в цилиндр. Такой метод регулировки называется количественным. С прикрытием дроссельной заслонки экономичность работы двигателя, определяемая эффективным удельным расходом топлива, существенно изменяется. Оценка экономичности и других показателей работы двигателя на частичных нагрузках производится по нагрузочным характеристикам.

Анализ нагрузочной характеристики карбюраторного двигателя

Примерный характер изменения основных показателей рабочего процесса двигателя от нагрузки приведен на рис. 3.1.

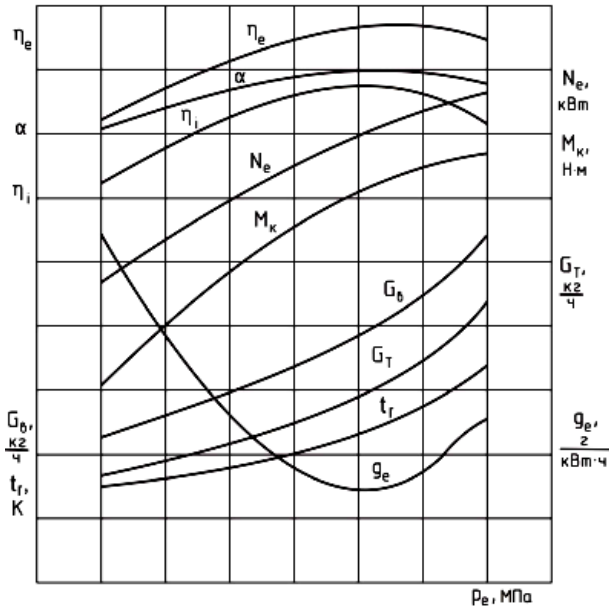


Рис. 3.1. Нагрузочная характеристика карбюраторного двигателя

Для анализа характера изменения часового расхода топлива G_T и удельного эффективного расхода топлива g_e от нагрузки воспользуемся зависимостями, известными из теории двигателей:

$$N_e = A \cdot \frac{1}{\alpha} \cdot \eta_i \cdot \eta_M \cdot \eta_V; \quad (3.1)$$

$$g_e = C_1 \cdot \frac{1}{\eta_i \cdot \eta_M}; \quad (3.2)$$

$$G_m = C_2 \cdot \eta_V \cdot \frac{1}{\alpha} \cdot n; \quad (3.3)$$

где A , C_1 , C_2 – постоянные коэффициенты, учитывающие конструктивные особенности двигателя и физико-химические свойства бензовоздушной смеси.

Изменение часового расхода топлива G_T по нагрузочной характеристике карбюраторного двигателя определяется зна-

чениями коэффициентов наполнения η_v и состава смеси α . По мере открытия дроссельной заслонки гидравлическое сопротивление впускной системы уменьшается, коэффициент наполнения увеличивается и пропорционально ему увеличивается расход свежей смеси, т.е. топлива. Одновременно с изменением положения дросселя изменяется и качество смеси. Характер изменения коэффициента избытка воздуха α по нагрузочной характеристике определяется требованием мощностной или экономической регулировки состава смеси. Резкое повышение расхода топлива G_T на нагрузках, близких к максимальной, объясняется обогащением смеси (уменьшением α) за счет открытия клапана экономайзера.

Эффективный удельный расход топлива g_e определяется величиной, обратно пропорциональной произведению $\eta_i \eta_m$.

На холостом ходу вся развиваемая в цилиндрах двигателя работа затрачивается на преодоление механических потерь в двигателе ($\rho_i = \rho_m$), т.е. механический КПД равен нулю, так как

$$\eta_m = \frac{\rho_e}{\rho_1} = \frac{\rho_1 - \rho_m}{\rho_1} = 1 - \frac{\rho_m}{\rho_1}. \quad (3.4)$$

Кроме того, на режиме холостого хода двигателя смесь обогащается до $\alpha = 0,6 \dots 0,8$. Это вызвано тем, что при дросселировании вследствие уменьшения давления и температуры в цилиндре к моменту подачи искры, а также в результате увеличения коэффициента остаточных газов происходит существенное ухудшение условий воспламенения и сгорания рабочей смеси. Для обеспечения устойчивой работы при малых открытиях дроссельной заслонки карбюратор должен давать обогащенную смесь. Обогащение же смеси приводит к уменьшению индикаторного КПД. По мере открытия дроссельной заслонки в зоне средних нагрузок необходимость в обогащении смеси отпадает, карбюратор начинает подавать обедненную смесь с $\alpha = 1,0 \dots 1,2$, что вызывает увеличение индикаторного КПД. Механический КПД по мере открытия

дросселя также растет. Это вызвано тем, что значительно увеличивается среднее индикаторное давление p_i , величина же удельной работы механических потерь практически не изменяется. Таким образом, относительные потери, затрачиваемые на трение в двигателе, по мере увеличения нагрузки все время уменьшаются. Наименьший удельный эффективный расход топлива по нагрузочной характеристике достигается при максимальном значении произведения $\eta_i \eta_m$ на режимах, близких к полному открытию дросселя, но до включения экономайзера, когда карбюратор подает в двигатель обедненную смесь. При переходе к полным нагрузкам, несмотря на увеличение η_m , эффективный удельный расход топлива g_e увеличивается вследствие снижения η_i , вызванного обогащением смеси и неполным сгоранием топлива. Обогащение смеси до $\alpha = 0,85 \dots 0,95$ при работе двигателя на полном открытии дросселя объясняется желанием получить на данном скоростном режиме максимальную мощность и достигается дополнительной подачей топлива через клапан экономайзера.

Методика снятия характеристики на стенде

После прогрева двигателя на малой нагрузке полностью открывают дроссельную заслонку. Одновременно регулирующей тормоза устанавливают частоту вращения двигателя, при котором намечено снимать характеристику. По достижении установившегося скоростного и теплового режимов измеряют следующие величины:

- усилия на динамометре $P_{\text{вес}}$;
- время расходования дизелем задаваемой массы топлива τ ;
- частоту вращения вала двигателя n ;
- разрежение во впускном трубопроводе Δp_k ;
- расход воздуха ΔV_v за время τ ;
- температуру охлаждающей жидкости $t_{\text{в. вых}}$;
- температуру и давление масла $t_{\text{мас}}$ и $p_{\text{мас}}$;

- температуру, барометрическое давление и влажность окружающего воздуха t_0 , B_0 и $\varphi_{п}$;
- угол опережения зажигания φ_3 ;
- температуру отработавших газов t_r .

После записи измеренных параметров устанавливают следующий нагрузочный режим работы двигателя, для чего несколько уменьшают угол открытия дроссельной заслонки карбюратора. Частоту вращения двигателя поддерживают постоянной посредством изменения тормозной нагрузки. После стабилизации скоростного и теплового режимов работы двигателя на установленной нагрузке производят замеры. Таким образом, изменяя нагрузку двигателя до режима холостого хода получают 6...8 точек по нагрузочной характеристике. С целью наиболее точного выявления режима, при котором наблюдается наилучшая экономичность работы двигателя, в области нагрузок от

$N_{e\max}$ до 50 % $N_{e\max}$ число нагрузочных режимов увеличивают.

По результатам испытаний после обработки опытных данных по соответствующим формулам строят графические зависимости изменения часового и удельного расходов топлива G_T , g_e , коэффициента избытка воздуха α , коэффициента наполнения η_v , разрежения во впускном трубопроводе Δp_k , температуры выпускных газов t_r , угла опережения зажигания φ_3 и других показателей работы двигателя от его нагрузки.

При построении нагрузочной характеристики двигателя должны быть выявлены следующие характерные точки:

1. Минимальный эффективный удельный расход топлива.
2. Часовой расход топлива на режиме холостого хода.
3. Часовой расход топлива при полном открытии дроссельной заслонки карбюратора $G_{T\max}$.
4. Коэффициенты избытка воздуха, соответствующие работе при полностью открытом дросселе, при минимальном эффективном удельном расходе топлива и на холостом ходу.

Проведение вычислительного эксперимента для снятия нагрузочной характеристики бензинового двигателя

Открыть файл с программой «ДВС Характеристики 2009. xls». Перейти на лист «Инструкции» (см. рис. 1.2). Выбрать вариант 3.

Для просмотра методики снятия характеристики на ЭВМ нажать гиперссылку «Инструкция» своего варианта.

Перейти на лист «Расчеты», нажав выделенные цветом гиперссылки.

Ознакомившись с основными командами (рис. 3.2), необходимо указать количество опытов, очистить протокол [Ctrl]+[П] и ввести начальные данные.

No	Название параметра	Обознач	ед.изм.	1	2	3	4	5	6	7	8
21	Угол поворота др.засп	ДЗ	%	39	45	54	64	68	73	77	91
22	Частота вращения	n	об/мин	4200	4200	4200	4200	4200	4200	4200	4200
23	Крутящий момент	Mк	НМ	46.70	55.50	67.30	75.40	79.20	86.60	91.90	104.40
24	Угол опереж зак.	φ оп.зак.	гр/ПКВ	43.90	43.80	41.10	32.00	28.30	27.90	27.90	27.90
25	Часовой расход топлива	Gt	кг/ч	5.60	6.20	7.00	7.90	8.30	9.00	9.60	11.10
26	Часовой расход воздуха	Vb	V3/ч	92	103	118	134	137	143	147	156
27	Температура выхл газов	tr	грС	594	597	625	711	732	715	702	676
28	Кэф. избытка воздуха	α	б-р	1.1	1.114	1.124	1.128	1.107	1.06	1.027	0.944
29	Кэф. наполнения вод.	коэф.наполн	б-р	0.513	0.576	0.657	0.734	0.764	0.794	0.816	0.869
30	Среднее эф. давление	pe	Мпа	0.412	0.489	0.593	0.665	0.698	0.763	0.81	0.921
31	Мощность эффективная	Ne	кВт	20.50	24.20	29.60	33.60	34.70	38.10	40.50	46.00
32	Удельный расход топлива э	ge	г/квтч	272.40	254.00	237.10	235.30	238.00	236.10	235.90	240.70

Рис. 3.2. Пример состояния листа «Расчеты» после полного расчета протокола параметров работы бензинового двигателя по нагрузочной характеристике

В примере (рис. 3.2) выбрана частота вращения $n = 4200 \text{ мин}^{-1}$. Было задано возрастающее значение положения заслонки и вычислено значение нагрузки ($M_{кр}$) и всех параметров протокола.

Вопросы для самопроверки

1. Что называется нагрузочной характеристикой двигателя?
2. Что можно определять по нагрузочной характеристике?
3. Что такое количественный способ регулирования нагрузки двигателя?
4. Объяснить характер изменения по нагрузочной характеристике следующих показателей: α , η_i , η_m .
5. Как изменяется эффективный удельный расход топлива при изменении нагрузки двигателя?
6. Что такое режим холостого хода? Чему равен механический КПД двигателя и g_e на холостом ходу?
7. Как производится снятие нагрузочной характеристики на стенде?
8. Какие характерные точки можно выделить на нагрузочной характеристике?

НАГРУЗОЧНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Цель работы: освоить методику определения нагрузочных характеристик, выполнить вычислительный эксперимент на ЭВМ, моделирующий работу двигателя на тормозном стенде, получить численные значения параметров работы двигателя и проанализировать их изменения на графиках от нагрузки.

Содержание работы

Изучить методику определения нагрузочных характеристик бензиновых двигателей на тормозном стенде.

Изучить инструкцию по применению программы для вычислительного эксперимента.

Провести вычислительный эксперимент по снятию нагрузочной характеристики двигателя. Получить графическую зависимость изменения удельного и часового расходов топлива от нагрузки двигателя для стандартных внешних условий, регулировок и заданных конструктивных параметров.

Оценить влияние изменения конструктивных и регулировочных параметров двигателя на мощностные и экономические показатели двигателя.

Выполнить анализ факторов, определяющих изменение основных показателей двигателя при работе по нагрузочной характеристике, оценить фактические значения полученных показателей.

Оформить протокол испытаний для отчета.

Теоретическая часть

Определение и назначение

Определения и термины, а также некоторые отдельные общие положения о нагрузочных характеристиках бензинового и дизельного двигателей смотри в лабораторной работе № 3 «Нагрузочная характеристика карбюраторного двигателя».

В условиях эксплуатации двигатель работает в режиме нагрузочной характеристики, если автомобиль (трактор, тягач) движется на одной передаче с постоянной скоростью по дороге с переменным профилем или работает с переменной нагрузкой на крюке. При этом изменение нагрузки ведет к изменению часового и удельного расходов топлива.

Анализ нагрузочной характеристики дизельного двигателя

На рис. 4.1, *а* показан вид нагрузочной характеристики дизельного двигателя, а на рис. 4.1, *б* – изменение параметров, определяющих нагрузочную характеристику дизеля.

В дизеле повышение вырабатываемой механической энергии, требуемое при росте нагрузки, достигается увеличением цикловой подачи топлива $q_{ц}$, а следовательно, и часового расхода топлива G_T . Поэтому с ростом N_e пропорционально увеличиваются $q_{ц}$ и G_T .

Удельный расход топлива обратно пропорционален произведению $\eta_i \cdot \eta_M$:

$$g_e = \frac{3600}{H_u \eta_i \eta_M},$$

механический КПД двигателя равен:

$$\eta_M = 1 - \frac{P_M}{P_i}.$$

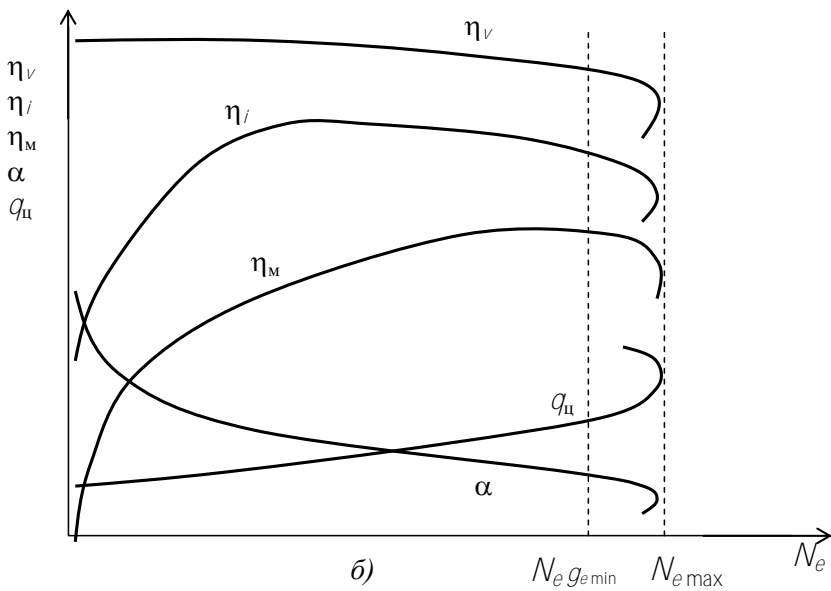
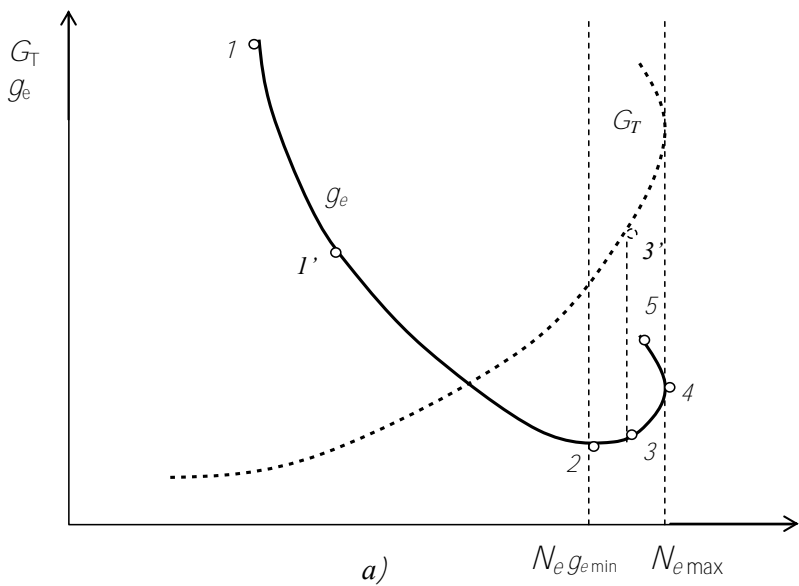


Рис. 4.1. Вид нагрузочной характеристики дизеля (а)
и изменение определяющих ее параметров (б)

При постоянной частоте вращения коленчатого вала среднее давление механических потерь (P_m) постоянно. На холостом ходу цикловая подача топлива минимальна, но достаточна для преодоления внутреннего механического сопротивления и поддержания оборотов, т.е. $P_i = P_m$, тогда $\eta_m \rightarrow 0$ и $g_e \rightarrow \infty$. При переходе от холостого хода к частичным нагрузкам одновременное увеличение η_i и η_m обуславливает резкое уменьшение удельного расхода топлива (участок 1–1' на рис. 4.1, а).

Увеличение количества топлива, подаваемого за цикл при увеличении нагрузки, а также некоторое, хотя и незначительное, снижение коэффициента наполнения цилиндра воздухом η_v вследствие повышения подогрева воздуха при впуске приводит к уменьшению коэффициента избытка воздуха α , а следовательно, к падению индикаторного КПД η_i . Однако более значительное увеличение η_m способствует дальнейшему, но более плавному снижению g_e (участок 1'–2). При нагрузке, соответствующей максимальному значению произведения $\eta_i \cdot \eta_m$, удельный расход достигает минимума $g_{e \min}$ (точка 2). Дальнейшее увеличение подачи топлива с ростом нагрузки хотя и приводит к повышению мощности, но сопровождается резким снижением η_i и возрастанием g_e из-за уменьшения α , что приводит к ухудшению процесса сгорания (участок 2–3). Точка 3 характеризует сгорание топлива на границе начала дымления.

Если подачу топлива с ростом нагрузки продолжать увеличивать, то повышение мощности будет незначительным. При этом наблюдается возрастание удельного расхода топлива (участок 3–4) и соответственное уменьшение α . Развиваемая в этом случае мощность будет максимальна при данных оборотах, а коэффициент избытка воздуха α близок к 1 (точка 4). Дальнейшее увеличение подачи топлива вызывает понижение мощности двигателя вследствие резкого ухудшения условий для сгорания, характеризуемых значительным возрастанием удельного и часового расхода топлива (участок 4–5).

При эксплуатации дизеля желательно работать на мощности, соответствующей $g_e \min$. Предельно допустимый часовой расход топлива не должен быть больше величины, определяемой точкой 3' кривой. В случае увеличения G_T сверх указанного значения двигатель работает со значительным черным дымным выхлопом и перегревается, что недопустимо. Поэтому корректоры топливных насосов настраиваются именно на эту подачу топлива, при снятии нагрузочной характеристики дизеля, оборудованного штатным топливным насосом, кривые G_T и g_e будут ограничены точками 3' и 3.

Методика снятия характеристики на стенде

После прогрева двигателя одновременным плавным регулированием подачи топлива, перемещением рейки и регулировкой тормоза выводят двигатель на максимальное значение крутящего момента при выбранном скоростном режиме. Полученный режим работы, очевидно, будет соответствовать максимальной мощности двигателя при заданной частоте вращения.

Через некоторое время, достаточное для стабилизации теплового состояния и скоростного режима двигателя, после корректировки частоты вращения производят замеры:

- крутящего момента M_e или усилия на весах тормоза $P_{вес}$;
- времени τ расхода заданной массы топлива ΔG_T ;
- расхода воздуха ΔV_i ;
- частоты вращения коленчатого вала двигателя;
- температур воздуха, отработавших газов, воды и масла.

Далее переходят к следующему режиму, уменьшая цикловую подачу топлива перемещением рейки топливного насоса и одновременно поддерживая регулировкой тормоза прежнюю частоту вращения. После стабилизации теплового состояния и скоростного режима производят необходимые замеры. Так, последовательно уменьшая цикловую подачу топлива и сохраняя постоянным заданную частоту вращения двигателя,

получают 6...8 точек характеристики. В области нагрузки от $N_{e \max}$ до 60 % $N_{e \max}$ замеры следует производить чаще, т.е. при небольшом интервале изменения мощности с целью более точного выявления зоны минимального удельного расхода топлива. Минимальные нагрузки обычно ограничиваются 15...20 % мощности на данном скоростном режиме.

Проведение вычислительного эксперимента для снятия нагрузочной характеристики дизельного двигателя

Открыть файл с программой «ДВС Характеристики 2009. xls». Перейти на лист «Инструкции» (см. рис. 1.2). Выбрать вариант 4.

Для просмотра методики снятия характеристики на ЭВМ нажать гиперссылку «Инструкция» своего варианта.

Перейти на лист «Расчеты», нажав выделенные цветом гиперссылки.

Ознакомившись с основными командами (рис. 4.2), необходимо указать количество опытов, очистить протокол (Ctrl+П) и ввести начальные значения.

В примере (рис. 4.2) выбрана частота вращения $n = 1810 \text{ мин}^{-1}$. При такой частоте вращения положение рычага близко к 100%. Было вычислено значение нагрузки ($M_{кр}$) и всех параметров протокола.

Вопросы для самопроверки

1. Что называют нагрузочной характеристикой дизеля? Какие характерные точки можно отметить на этой характеристике?
2. Что такое качественное регулирование мощности и как оно осуществляется по нагрузочной характеристике?
3. Каковы ориенти́ровочные пределы изменения α у дизелей по нагрузке?
4. Как и почему изменяется η_i дизеля с изменением нагрузки?
5. Что такое предел дымления и как он может быть ориентировочно определен по нагрузочной характеристике; каковы при этом значения α_{\min} ?

6. Чем объясняется лучшая экономичность дизелей по сравнению с карбюраторными двигателями?

7. Чем объясняется резкое ухудшение экономичности дизеля (повышение g_e) в области малых нагрузок?

8. Какова методика снятия нагрузочной характеристики дизеля на стенде?

№	Название параметра	Обознач. ед. изм.	1	2	3	4	5	6	7
21	Ст. хода акселератора	φ аксел %	96	97	100	100	100	100	100
23	Частота вращения	n об/мин	1817	1803	1810	1810	1810	1810	1810
24	Крутящий момент	Mк Нм	87.2	200.8	263.3	332.6	422.3	521.5	520.2
25	Угол опереж впрыска	φ оп впр ПКВ	12.2	12.4	12.6	12.8	13	13.3	13.6
26	Доза топлива	ΔGt гр	100	100	200	200	200	200	400
27	Время расхода	T с	45.5	31.3	52.7	45.0	37.6	31.2	54.8
28	Часовой расход топлива	Gt кг/ч	7.9	11.5	13.7	16	19.2	23.1	26.3
29	Часовой расход воздуха	Vv км³/ч	515	508	509	507	505	503	501
30	Температура выхл. газов	Tr C	178.6	251.6	292.1	334.8	388.3	449.9	495.6
31	Темп. Подогрева на впуске	ΔT C	14.2	15.4	15.9	16.4	17.1	17.9	18.5

Рис. 4.2. Пример состояния листа «Расчеты» после снятия нагрузочной характеристики дизельного двигателя

Литература

1. Двигатели внутреннего сгорания. Теория поршневых и комбинированных двигателей: учебник для вузов по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» / Д.Н. Вырубов [и др.]; под ред. А.С. Орлина. – М.: Машиностроение, 1983.
2. Райков, И.Я. Испытания двигателей внутреннего сгорания / И.Я. Райков. – М.: Высшая школа, 1975.
3. Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний: ГОСТ 14846-81.

Учебное издание

АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДВИГАТЕЛИ

Методические указания
к работе с компьютерной программой
по выполнению лабораторных работ
для студентов специальностей
1-37 01 06 «Техническая эксплуатация автомобилей»,
1-37 01 07 «Автосервис»

С о с т а в и т е л и :

ИВАНДИКОВ Михаил Петрович
АЛЬФЕРОВИЧ Владимир Викентьевич

Редактор Л.Н. Шалаева
Компьютерная верстка Д.К. Измайлович

Подписано в печать 20.05.2010.

Формат 60×84¹/₁₆. Бумага офсетная.

Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л. 2,79. Уч.-изд. л. 2,18. Тираж 200. Заказ 1206.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Белорусский национальный технический университет.

ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009.

Проспект Независимости, 65. 220013, Минск.