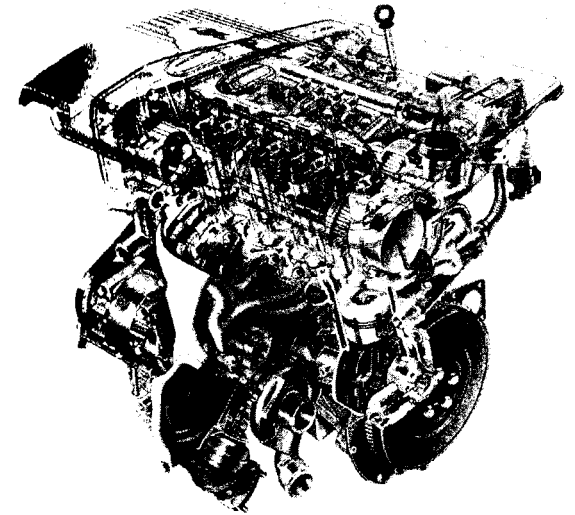


Б.А. Новожилов

ИСПЫТАНИЕ ДВИГАТЕЛЕЙ



Липецк 2004

Министерство образования Российской Федерации
Липецкий государственный технический университет

Кафедра автомобилей и тракторов

ИСПЫТАНИЕ ДВИГАТЕЛЕЙ

Методические указания к лабораторным занятиям
по дисциплине «Тепловые двигатели»
для студентов специальности 15.01.00 «Автомобиле- и тракторостроение»
очного и очно-заочного отделений

Составитель Новожилов Б.А.

Липецк 2004

Новожилов Б.А. Испытание двигателей: Методические указания к лабораторным занятиям по дисциплине «Тепловые двигатели» для студентов специальности 15.01.00. «Автомобиле- и тракторостроение» очного и очно-заочного отделений /Б.А.Новожилов. Липецк: ЛГТУ, 2004. 24с.

Методические указания содержат материалы о целях, задачах и методиках проведения лабораторных работ по испытанию двигателей.

Ил. 8. Табл. 6. Библиогр.: 6 назв.

Рецензент Казьмин Б.Н.

Испытания двигателей являются важнейшим этапом проектирования и доводки этих агрегатов. Их проводят для экспериментального определения качественных и количественных показателей двигателей при их работе на стенде в заданном режиме топливного насоса, а также характера и степени изменения параметров рабочего процесса в результате воздействия на двигатель внешних или внутренних факторов.

Основной целью испытаний двигателя является определение мощностных и экономических показателей и параметров рабочего процесса в зависимости от одного или нескольких факторов влияния.

Испытания двигателей и их агрегатов регламентируются ГОСТами, в которых указываются условия испытаний, требования к испытательному оборудованию и приборам, методы и правила проведения испытаний, порядок обработки результатов испытаний и вид характеристик.

ГОСТом 18509-80 «Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний» предусмотрены следующие характеристики:

- регуляторные при полной подаче топлива и частичные;
- скоростные: внешние и частичные;
- нагрузочные;
- многопараметровые;
- характеристика холостого хода;
- регулировочные.

Порядок оформления отчета по лабораторным работам

Отчет по лабораторной работе выполняется на листах формата А4 с оформлением титульного листа. Каждая лабораторная работа должна иметь следующие разделы:

- номер лабораторной работы;
- наименование лабораторной работы;
- цель работы;
- порядок выполнения работы;
- таблицу (протокол) данных, полученных в результате испытаний;
- характеристику, построенную на миллиметровой;
- анализ характеристики и вывод по работе.

При сдаче лабораторной работы преподавателю студент должен знать все эти вопросы и отвечать на них.

Общие указания к проведению лабораторных работ

Лабораторные занятия проводятся по подгруппам после прохождения инструктажа по технике безопасности с отметкой и подписью студента в соответствующем журнале.

Перед лабораторной работой учебный мастер готовит установку и прогревает двигатель до рабочей температуры. На каждую подгруппу назначается старший за проведение испытаний. Перед проведением испытаний готовится протокол испытаний (таблица). Студент, ответственный за определяемый параметр, записывает его значение в свою таблицу. Замер и запись производят после установления устойчивого режима и по команде старшего. После фиксирования измеряемых параметров, студенты дают знак старшему о необходимости установления нового режима. После выполнения работы все данные сводятся в одну общую таблицу и проверяются преподавателем, после чего проводится расчет.

Лабораторная работа № 1

Оборудование для испытания двигателя

Цель работы: изучить устройство и работу лабораторного оборудования, получить навыки по его использованию;
изучить методику обработки результатов;
определить погрешность показаний весового механизма.

Для испытания двигателей применяется стенд КИ-5540М, состоящий из:

- устройства для установки и крепления двигателя;
- электрического тормоза;
- реостата управления тормозом;
- устройства для замера расхода топлива;
- устройства для замера расхода воздуха;
- устройства для отвода выхлопных газов.

Электрический тормоз представляет собой асинхронный двигатель переменного тока с фазным ротором, мощностью 110 кВт и с синхронной частотой вращения 1500 об/мин.

Электрический тормоз работает в двух режимах:
-при частоте вращения менее 1500 об/мин – в качестве электродвигателя. Используется для запуска или холостого

прокручивания коленчатого вала ДВС.
-при частоте вращения более 1500 об/мин – в качестве генератора, используемого для загрузки двигателя.

Тормоз с одного режима на другой переходит автоматически, как только частота вращения равняется 1500 об/мин.

Изменение частоты вращения в режиме электродвигателя и величины загрузки двигателя осуществляется с помощью жидкостного реостата, который состоит из бака емкостью 500 л, заполненного однопроцентным раствором кальцинированной соды. Внутри бака на валу расположены три электродные пластины, изолированные от вала и одна от другой. Каждая пластина соединена с фазовой обмоткой ротора электрического тормоза. Погружение пластин регулируется двумя кнопками на панели управления стендом – чем больше погружение пластин, тем больше ток в обмотках, тем больше загрузка двигателя в режиме генератора и тем выше частота вращения ротора в режиме электродвигателя.

Измерение частоты вращения на стенде производится с помощью электронного цифрового тахометра.

Изменение величины подачи топлива регулируется отклонением флажка на панели управления стендом.

Определение расхода топлива проводится весовым способом. Этот способ заключается в следующем: после команды «Замер» замечают положение стрелки весов на целом делении шкалы и включают секундомер. Израсходовав 50г топлива, секундомер останавливают, а полученное время заносят в протокол испытаний.

Устройство для измерения расхода воздуха состоит из диафрагмы диаметром $d = 55$ мм, установленной во впускной трубе диаметром $D = 60$ мм, и водного дифференциального манометра. В процессе испытаний фиксируют величину перепада в манометре, по которой в последующем определяют количество поступившего воздуха в цилиндры двигателя.

Объект испытаний

Дизельный двигатель КамАЗ – 740.10, имеющий следующую краткую техническую характеристику:

Число цилиндров	8
Диаметр цилиндра, мм	120
Ход поршня, мм	120
Рабочий объем, л	10,86
Степень сжатия	16,2
Номинальная мощность при $n = 2600$ об/мин, кВт	155
Максимальный момент при $n = 1600$ об/мин, Н·м	630
Минимальный удельный расход топлива, г/(кВт·ч)	226

Мощность двигателя, кВт

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

где M_e - эффективный момент двигателя, равный моменту сопротивления вращению ротора электромашин M_e , Н·м;
 n - частота вращения коленчатого вала ДВС, об/мин.
 Часовой расход топлива, кг/ч

$$G_m = 3,6 \cdot \Delta g / \tau,$$

где Δg - масса топлива, израсходованная при испытании, г;
 τ - время расхода этой массы топлива, с.
 Удельный расход топлива, г/кВт·ч

$$g_e = G_m \cdot 10^3 / N_e.$$

Расход воздуха двигателем, кг/ч

$$G_6 = 4561,7 \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot \sqrt{\frac{1}{1,1 \left(\frac{D^4}{d^4} - 1 \right)}} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h \cdot \left(\frac{\rho_{\text{воды}} - \rho_{\text{возд}}}{\rho_{\text{воды}}} \right)},$$

где Δh - перепад давления в дифференциальном манометре, мм вод.ст;

$\rho_{\text{возд}}$ - плотность воздуха ($\rho_{\text{возд}} = 1,293 \text{ кг/м}^3$).

Коэффициент наполнения

$$\eta_V = \frac{G_6}{60 \cdot V_d \cdot n \cdot \rho_{\text{возд}}} \cdot 10^3,$$

где V_d - рабочий объём двигателя, л.

Коэффициент избытка воздуха

$$\alpha = \frac{G_6}{G_m \cdot l_0},$$

где $l_0 = \mu_6 \cdot L_0$ - теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива, кг воздуха/кг топлива;

$\mu_6 = 28,96 \text{ кг/кмоль}$ - масса 1 кмоль воздуха;

L_0 - теоретически необходимое количество воздуха, кмоль/кг топлива.

Для дизельного топлива состава: С=0,86;

H=0,126; O₂=0,004 $L_0=0,499 \text{ кмоль/кг топлива}$.

В соответствии с этим для дизельного топлива

$$l_0 = 14,45 \text{ кг воздуха/кг топлива}.$$

Тарировка весового механизма

Тарировкой (поверкой) прибора называется определение масштаба шкалы показаний по сравнению с показаниями вторичного эталонного прибора.

Тарировка проводится для определения погрешности показаний весового механизма с целью учета этой погрешности при определении мощностных и экономических показателей работы двигателя.

Перед проведением тарировки весового механизма на тормоз устанавливаются тарировочный рычаг длиной 1 м с устройством для подвеса балластных грузов.

Тарировку начинают с нулевого положения указателя весового механизма. За нулевое положение принимают его положение при разгруженном тормозе. Положение указателя определяется после раскачки тормоза.

После каждого изменения нагрузки производится раскачка тормоза и определение положения указателя весового механизма. Полученные данные заносятся в протокол испытаний (табл.1).

Таблица 1

№ п/п	Вес гирь P_T , Н	Показания весового механизма P_T , Н	Погрешности	
			абсолютная Δ , Н	относительная δ , %

По результатам тарировки проводится определение абсолютной и относительной погрешностей. Абсолютная погрешность определяется по уравнению

$$\Delta = P_T - P_T.$$

Относительная погрешность определяется по уравнению

$$\delta = (\Delta / P_T) \cdot 100 \text{ \%}.$$

По результатам расчета строится тарировочный график (рис.1).

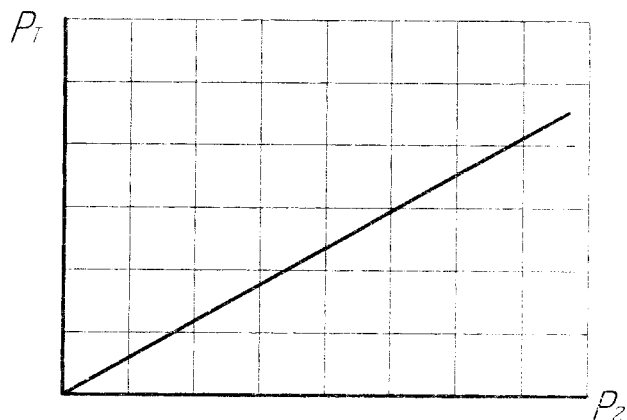


Рис. 1. Тарировочный график

Контрольные вопросы

1. Каково содержание программы испытания двигателя?
2. Что является основной целью испытаний двигателя?
3. Какие характеристики снимаются с двигателя в соответствии с ГОСТ на испытания?
4. Как рассчитываются параметры двигателя?
5. Что должен содержать отчет по лабораторным работам?
6. Как устроен и работает стенд КИ-5540М?
7. Каковы основные части стенда для испытания ДВС?
8. Как устроено и работает тормозное устройство стенда?
9. Как измерить часовой расход топлива?
10. Как определить расход воздуха двигателем, коэффициент наполнения η_v и избытка воздуха α ?
11. Что называется тарировкой?
12. Что такое абсолютная погрешность?
13. Что такое относительная погрешность?
14. Каков порядок выполнения тарировки весового механизма?

Характеристика холостого хода дизельного двигателя

Цель работы: установить характер изменения параметров работы двигателя при различной частоте вращения на холостом ходу.

Краткие сведения из теории двигателей

Характеристика холостого хода двигателя - это зависимость часового G_m и удельного g_e расходов топлива и параметров рабочего процесса от частоты вращения коленчатого вала двигателя при работе без внешней нагрузки (рис.2).

Характеристика холостого хода определяется от минимальной устойчивой частоты вращения до частоты вращения, равной половине от номинальной. Изменение частоты вращения при получении этой характеристики осуществляется перемещением органа управления топливоподачей. Наиболее важна эта характеристика для двигателей, которые значительную долю времени эксплуатации работают на режиме холостого хода (транспортные двигатели, двигатели, эксплуатируемые в городах и т. д.), так как позволяет оценить непроизводительные затраты топлива, оказывающие заметное влияние на эксплуатационную экономичность двигателя.

При холостом ходе $p_i = p_m$ и увеличивается с ростом частоты вращения. Теоретический часовой расход топлива при холостом ходе

$$G_m = A_3 p_m n / \eta_i,$$

где $A_3 = 120 V_h i / (H_u \tau)$;

p_m - среднее давление механических потерь;

η_i - индикаторный КПД двигателя;

V_h - рабочий объем цилиндра, л;

i - число цилиндров двигателя;

H_u - низшая теплота сгорания топлива;

τ - тактность двигателя.

Из формулы следует, что выгодно уменьшать минимальную частоту вращения холостого хода. Важное значение для уменьшения непроизводительных затрат топлива имеет тепловой режим двигателя. При оптимальных значениях температуры воды и масла уменьшается p_m и растут η_m и η_i при

работе на режиме холостого хода. В результате снижается G_m .

Методика выполнения работы

После прогрева двигателя устанавливают минимальную устойчивую частоту вращения коленчатого вала двигателя и записывают показатели его работы. Затем, увеличивая подачу топлива, повышают частоту вращения на 100 об/мин до 1100 об/мин. В каждом случае необходимо записывать показатели работы двигателя.

Полученные данные заносятся в протокол испытаний (табл. 2).

Таблица 2

№ п/п	Частота вращения, n , об/мин	Время расхода 50г. топлива, с.	Дав. в диф. ман. Δh , мм	Расход воздуха $G_{в}$, кг/ч	Коэффициент избытка воздуха α	Коэффициент наполнения η_v	Часовой расход топлива G_m , кг/ч

По результатам расчета строится характеристика холостого хода (рис.2).

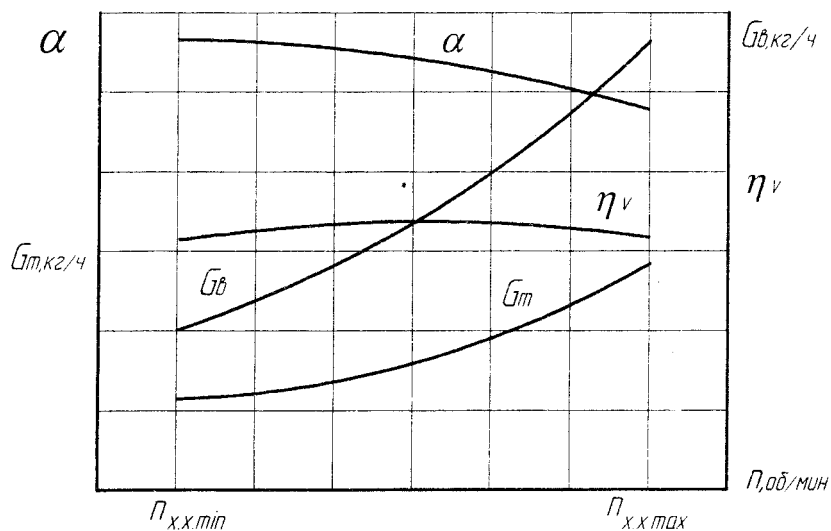


Рис.2. Характеристика холостого хода

Образец анализа характеристики холостого хода

Удовлетворительной считается такая характеристика режима холостого хода, при которой часовой расход G_m топлива увеличивается с ростом частоты вращения коленчатого вала. При таком характере протекания зависимости $G_m = f(n)$ возможен сравнительно быстрый переход на нагрузочный режим.

На режиме холостого хода работа газа целиком расходуется на преодоление механических потерь, т.е. $p_1 = p_m$, а $p_e = 0$.

Контрольные вопросы

1. Что такое характеристика холостого хода?
2. При каких условиях получают характеристику холостого хода?
3. Каковы начальная и конечная точки характеристики холостого хода?
4. В каком положении находится рейка ТНВД при получении характеристики холостого хода?
5. Какая характеристика холостого хода считается удовлетворительной?
6. Каким образом изменяется скоростной режим двигателя при получении характеристики холостого хода?
7. Факторы, от которых зависит характеристика холостого хода.
8. Чему равен механический кпд двигателя на режиме холостого хода?
9. Чему равно среднее индикаторное давление на режиме холостого хода?
10. Чему равно среднее эффективное давление на режиме холостого хода?
11. Как теоретически определяется расход топлива при работе двигателя в режиме холостого хода?
12. На что расходуется работа горючей смеси в цилиндрах двигателя на холостом ходу?
13. Перечислите пути снижения расхода топлива двигателем на холостом ходу.

Нагрузочная характеристика дизельного двигателя

Цель работы: установить характер влияния мощности на экономические показатели двигателя при постоянной частоте вращения коленчатого вала.

Краткие сведения из теории двигателей

Нагрузочная характеристика двигателя – это зависимость часового G_m и удельного g_e расходов топлива и параметров рабочего процесса от нагрузки (эффективной мощности N_e или среднего эффективного давления P_e) при постоянной частоте вращения коленчатого вала двигателя. Она позволяет выявить важнейшие показатели степени энергетических и экономических качеств двигателя: максимально возможная мощность при данной регулировке со значениями часового и удельного расходов топлива; минимальный удельный расход топлива $g_{e \min}$ и соответствующая ему мощность.

Кроме указанных переменных в нагрузочных характеристиках можно определить изменение параметров рабочего процесса, токсичности, шума и вибраций, а также температурных, износных и других показателей. Для более полной оценки всех этих параметров при исследованиях двигателей снимают серии характеристик при различных частотах вращения, охватывающих весь эксплуатационный диапазон скоростных режимов двигателя.

Методика выполнения работы

После прогрева двигателя до рабочих температур воды и масла устанавливается холостой ход двигателя при заданной частоте вращения и замеряются показатели работы двигателя. Затем двигатель загружают через 100 Н·м на тормозе при постоянной частоте вращения. Соблюдение $n = \text{const}$ достигается увеличением подачи топлива при увеличении нагрузки. Последней точкой характеристики является полная подача топлива. Полученные данные заносятся в протокол испытаний (табл. 3).

На основании полученных данных строится нагрузочная характеристика.

№ п/п	Тормозной момент M_t , Н·м	Время расхода 50г топлива, с.	Дав. в диф. ман. Δh , мм	Расход воздуха G_a , кг/ч	Коэффициент избытка воздуха α	Коэффициент наполнения η_v	Мощность N_e , кВт	Час. расход топлива G_m , кг/ч	Удельный расход топлива g_e , г/кВт·ч

Образец анализа нагрузочной характеристики

С помощью полученной характеристики рассмотрим причины изменения показателей работы двигателя от мощности. Увеличение часового расхода топлива от $G_{m \text{ х.х}}$ до $G_{m N_{e \text{ max}}}$ обусловлено изменением положения винтовой кромки плунжеров топливного насоса и позволяет увеличивать цикловую подачу топлива.

Удельный расход топлива g_e с увеличением нагрузки уменьшается, достигает $g_{e \min}$ при $N_{e g_{e \min}}$ и затем увеличивается до $g_{e N_{e \text{ max}}}$. Такой характер изменения объясняется уравнением

$$g_e = 3600 / (H_u \cdot \eta_i \cdot \eta_M),$$

где η_i и η_M – индикаторный и механический кпд рабочего процесса двигателя.

Изменение η_i , в дизелях связано с изменением коэффициента избытка воздуха α , который с ростом нагрузки падает, так как при увеличении часового расхода топлива коэффициент наполнения цилиндров воздухом остается постоянным и несколько снижается при большой нагрузке вследствие подогрева свежего заряда во впускном коллекторе и в цилиндре двигателя.

Механический кпд, определенным по уравнению:

$$\eta_M = N_e / (N_e + N_M),$$

при холостом ходе равен нулю, т.к. $N_e = 0$ и достигает максимального значения при $N_{e \text{ max}}$, т.к. мощность механических потерь N_M остается постоянной из-за постоянства частоты вращения.

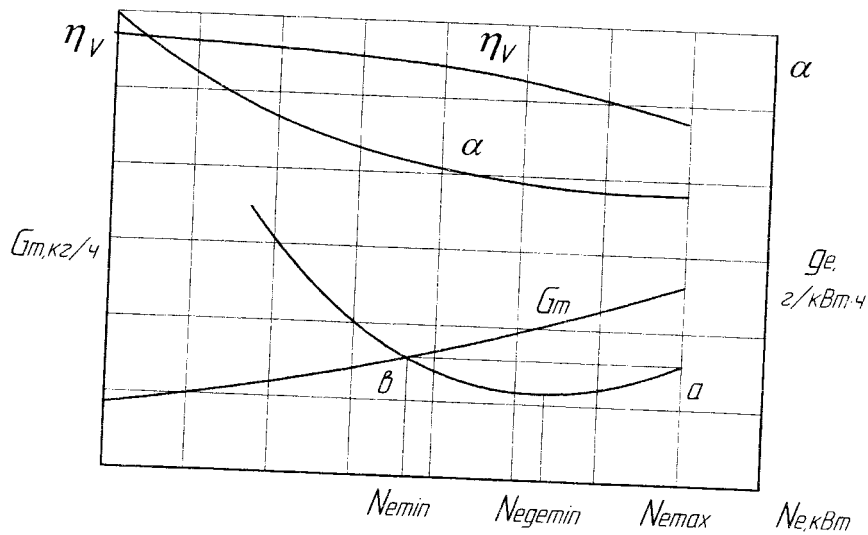


Рис. 3. Нагрузочная характеристика

На нагрузочной характеристике можно отличить диапазоны оптимальной загрузки двигателя на данном скоростном режиме путем проведения линии ab , параллельной оси абсцисс. Пересечение этой линии в точке b с кривой $g_e = f(N_e)$ определяет минимальную мощность оптимального диапазона.

Контрольные вопросы

1. Что такое нагрузочная характеристика двигателя?
2. При каких условиях получают нагрузочную характеристику двигателя?
3. Каковы начальная и конечная точки нагрузочной характеристики двигателя?
4. В каком положении находится рейка ТНВД при получении нагрузочной характеристики двигателя?
5. Как изменяется коэффициент наполнения при изменении нагрузки и почему?
6. Как изменяется коэффициент избытка воздуха при изменении нагрузки и почему?
7. Как изменяется удельный расход топлива при изменении нагрузки и почему?
8. Как изменяется механический КПД при изменении нагрузки и почему?
9. Как изменяется среднее давление механических потерь при изменении нагрузки и почему?

10. Как изменяется индикаторный КПД при изменении нагрузки и почему?
11. Чем определяется диапазон оптимальной загрузки двигателя?
12. Каковы характерные точки нагрузочной характеристики двигателя?

Лабораторная работа № 4

Скоростная характеристика дизельного двигателя

Цель работы: установить характер влияния частоты вращения коленчатого вала на мощностные и экономические показатели двигателя.

Краткие сведения из теории двигателей

Скоростная характеристика двигателя – это зависимость эффективной мощности N_e , крутящего момента M_e , часового G_m и удельного g_e расходов топлива и других показателей от частоты вращения коленчатого вала двигателя при неизменном положении рейки топливного насоса.

В зависимости от положения рейки характеристика может быть:

- 1 – предельной. При любой частоте вращения в каждой точке получается максимальная мощность, т.е. в полученной кривой мощность не может быть увеличена;
- 2 – характеристика предела дымления, ниже которой двигатель работает без дыма на всех режимах;
- 3 – эксплуатационная или внешняя характеристика, снятая при положении акселератора, соответствующего полной подаче топлива. Обычно эта подача снижена относительно характеристики 2 на 10...15%, что полностью устраняет возможность появления дыма.
- 4 – частичная характеристика, полученная при уменьшении относительно характеристики 3 подачи топлива.

На скоростной характеристике могут быть следующие характерные точки:

- n_{min} – минимальная частота вращения под нагрузкой. При дальнейшем повышении нагрузки двигатель глохнет;
- $n_{Me\ max}$ – частота, соответствующая максимальному крутящему моменту двигателя;

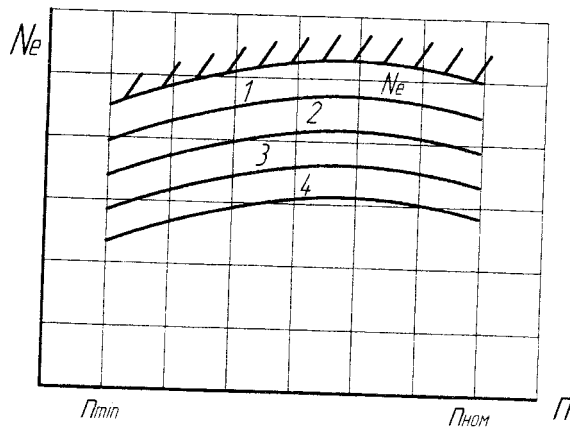


Рис. 4. Виды скоростных характеристик

$n_{ge \min}$ - частота, соответствующая минимальному удельному расходу топлива;

$n_{Ne \max}$ - частота, соответствующая максимальной мощности двигателя.

Скоростная характеристика является основным инструментом оценки работы двигателя и служит также для динамического расчета автомобиля.

Методика выполнения работы

После прогрева двигателя устанавливают полную или частичную величину подачи топлива и загружают двигатель тормозным моментом до $n=1600$ об/мин, записывают показатели его работы. В последующем двигателе разгружается так, чтобы частота вращения увеличивалась на 100 об/мин до 2200 об/мин и в каждом случае необходимо записывать показатели работы двигателя.

Полученные данные заносятся в протокол испытаний (табл. 4).

Таблица 4

№ п/п	Частота вращения n , об/мин	Время расхода 50г топлива, с.	Дав. в диф. ман. Δh , мм	Расход воздуха G_a , кг/ч	Коэффициент избытка воздуха α	Коэффициент наполнения η_v	Мощность N_e , кВт	Час. расход топлива G_m , кг/ч	Удельный расход топлива G_e , г/кВт·ч	Кр. момент M_e , Н·м

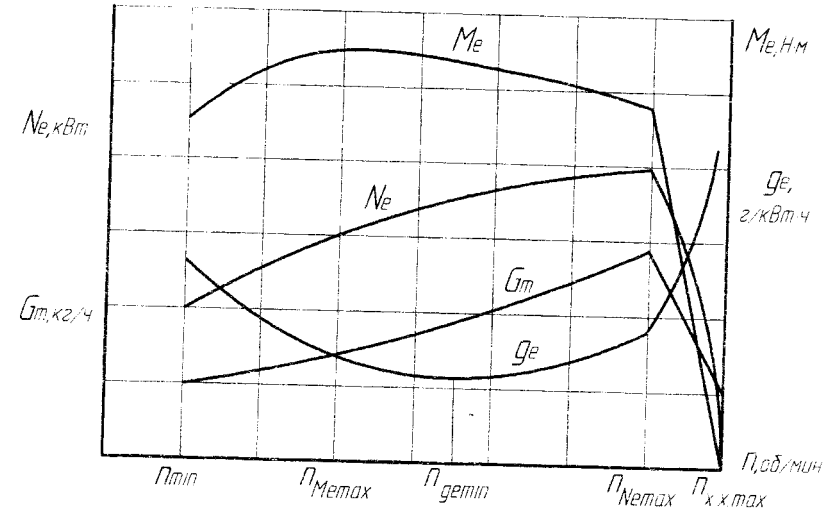


Рис. 5. Скоростная характеристика дизельного двигателя

Образец анализа скоростной характеристики

Эффективная мощность N_e от $n_{e \min}$ с повышением n увеличивается и достигает максимального значения при $N_{e \max}$. Это в результате приводит к увеличению количества теплоты, выделившейся в цилиндрах двигателя из-за увеличения часового расхода топлива с $G_{m \min}$ до $G_{m \max}$ за счет увеличения числа ходов плунжера. Крутящий момент M_e при снижении n от $N_{e \max}$ увеличивается и достигает максимального значения при $n_{M_e \max}$. Здесь реализуем основное правило механики: проигрывая в скорости мы выигрываем в силе (моменте).

Здесь необходимо определить соотношение между $n_{N_e \max}$ и $n_{M_e \max}$, которое должно лежать в пределах $n_{M_e \max} = (0,5 \dots 0,7) \cdot n_{N_e \max}$ и определять коэффициент приспособляемости к перегрузкам:

$$K_{M_{N_e \max}} = \frac{M_{e \max}}{M_{N_e \max}} = [1,15 \dots 1,25].$$

В диапазоне нагрузки от $N_{e \max}$ до $M_{e \max}$ происходит незначительное увеличение удельного расхода от $G_{e \min}$ в пределах 5...10%. Поэтому этот диапазон называется рабочим диапазоном.

Контрольные вопросы

1. Что такое скоростная характеристика двигателя?
2. При каких условиях получают скоростную характеристику двигателя?
3. Каковы начальная и конечная точки скоростной характеристики двигателя?
4. В каком положении находится рейка ТНВД при получении скоростной характеристики двигателя?
5. Как изменяется коэффициент наполнения при изменении частоты вращения и почему?
6. Как изменяется коэффициент избытка воздуха при изменении частоты вращения и почему?
7. Как изменяется удельный расход топлива при изменении частоты вращения и почему?
8. Как изменяется крутящий момент двигателя с ростом частоты вращения и почему?
9. Перечислите факторы, оказывающие влияние на величину крутящего момента двигателя.
10. В какой точке характеристики произведение $\eta_i \cdot \eta_m$ имеет максимальное значение и почему?
11. Каковы характерные точки скоростной характеристики двигателя?
12. Как изменяется механический КПД с ростом частоты вращения и почему?
13. Что определяет величину коэффициента приспособляемости?

Лабораторная работа № 5

Регуляторная характеристика дизельного двигателя

Цель работы: установить характер изменения параметров работы двигателя при различных нагрузках при управлении скоростным режимом двигателя регулятором.

Основные сведения из теории двигателей

Двигатели ТТМ обычно работают в условиях переменных нагрузок, что вызывает изменение скоростного режима двигателя. Постоянство скоростного режима при этом обеспечивается регулятором. Воздействуя на подачу топлива, он автоматически изменяет количество подаваемого топлива и крутящий момент двигателя в зависимости от колебания на-

грузки, поддерживая в необходимых пределах частоту вращения коленчатого вала двигателя.

При наличии всережимного регулятора оператор ТТМ имеет возможность установить любой скоростной режим в пределах от номинальной частоты вращения до минимально возможной на холостом ходу. Это достигается за счет передвигания рычага акселератора, что вызывает изменение натяжения пружины регулятора. Заданный режим в последующем автоматически поддерживается регулятором в пределах: холостой ход - номинальная мощность.

Изменение параметров работы двигателя может быть отражено графически на регуляторной характеристике. С помощью регуляторной характеристики можно оценить экономичность (часовой и удельный расходы топлива) и эффективность (мощность и крутящий момент двигателя) режимов работы двигателя. Регуляторная характеристика обычно представляется в зависимости от частоты вращения n , часового расхода топлива G_m , удельного расхода топлива g_e и крутящего момента M_e от мощности двигателя N_e , т.е. $n, G_m, g_e, M_e = f(N_e)$ или $N_e, n, G_m, g_e = f(M_e)$. Последняя зависимость используется при тяговых расчетах ТТМ.

Регуляторная характеристика состоит из двух ветвей: регуляторной от холостого хода до номинальной мощности и перегрузочной или корректорной от $N_{e \text{ ном}}$ до минимальной частоты вращения при перегрузках. После достижения $N_{e \text{ ном}}$ проводится дополнительная подача топлива перемещением рейки за счет корректора. При этом реализуется основное правило механики - потеря скорости компенсируется увеличением силы (момента). После достижения $M_{e \text{ макс}}$ корректор также использует свои возможности и увеличение нагрузки на ТТМ вызывает уменьшение M_e и n вплоть до остановки двигателя. Перегрузочная ветвь характеризуется совместной работой регулятора и корректора и примерно совпадает со скоростной характеристикой и обладает всеми ее свойствами. Различают основную регуляторную характеристику, полученную при полной подаче топлива акселератором, и частичные, полученные при перемещении акселератора в сторону уменьшения подачи топлива.

Методика выполнения работы

На прогретом двигателе устанавливается максимальная подача топлива и фиксируется частота вращения на холостом ходу. Затем проводится загрузка двигателя так, что-

бы частота вращения уменьшилась на 20...30 об/мин с обязательным замером точки, соответствующей номинальной частоте вращения ($n_{ном} = 2000$ об/мин). После этого загрузку проводят с интервалом 100 об/мин до частоты вращения $n=1600$ об/мин.

Полученные данные заносятся в протокол испытаний (табл.5). На основании полученных данных строятся регуляторные характеристики (рис.6, 7).

Таблица 5

№ п/п	Частота вращения n , об/мин	Время расхода 50г топлива, с	Дав. в диф. ман. Δh , мм	Расход воздуха G_v , кг/ч	Коэффициент избытка воздуха α	Коэффициент наполнения η_v	Мощность N_e , кВт	Час. расход топлива $G_{пл}$, кг/ч	Удельный расход топлива g_e , г/кВт·ч	Кр. момент M_e , Н·м

Образец анализа регуляторной характеристики

Из характеристики видно, что частота вращения с $n_{х.х.мах}$ уменьшается до $n_{ном}$ при увеличении мощности от 0 до N_e . Степень неравномерности работы регулятора оценивается погрешностью:

$$\delta = \frac{2(n_{х.х.мах} - n_{ном})}{n_{х.х.мах} + n_{ном}} \cdot 100\% \leq [7...8\%].$$

Крутящий момент двигателя увеличивается от 0 до $M_{е ном}$. Максимальный крутящий момент $M_{е тах}$ получается при $n_{M_{е тах}}$. Коэффициент приспособляемости равен:

$$K = M_{е тах} / M_{е ном} = [1, 15...1, 2].$$

Частота вращения $n_{M_{е тах}}$, при которой получается $M_{е тах}$, является показателем диапазона, в котором двигатель работает устойчиво на перегрузочной ветви. Этот диапазон выражается отношением:

$$K' = n_{M_{е тах}} / n_{M_{е ном}} = [0, 55...0, 70].$$

Корректорный коэффициент увеличения крутящего момента

$$\mu = \frac{M_{е тах} - M_{е ном}}{M_{е ном}} \cdot 100\%.$$

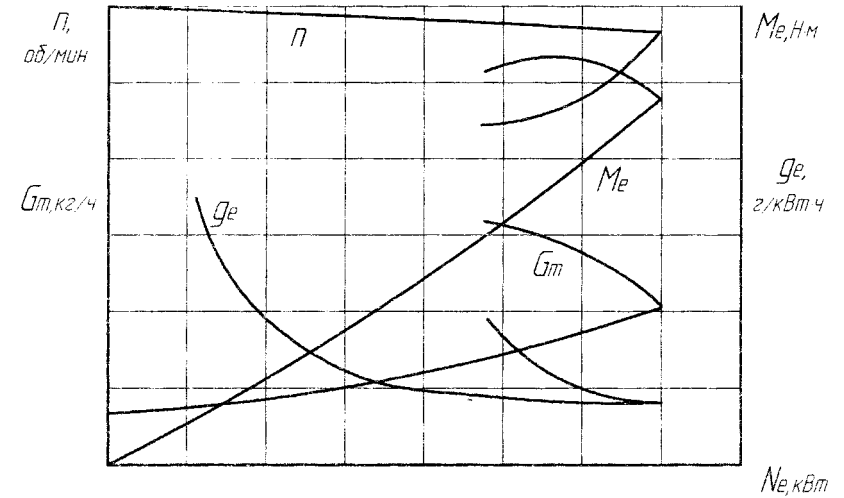


Рис.6. Регуляторная характеристика в зависимости от мощности

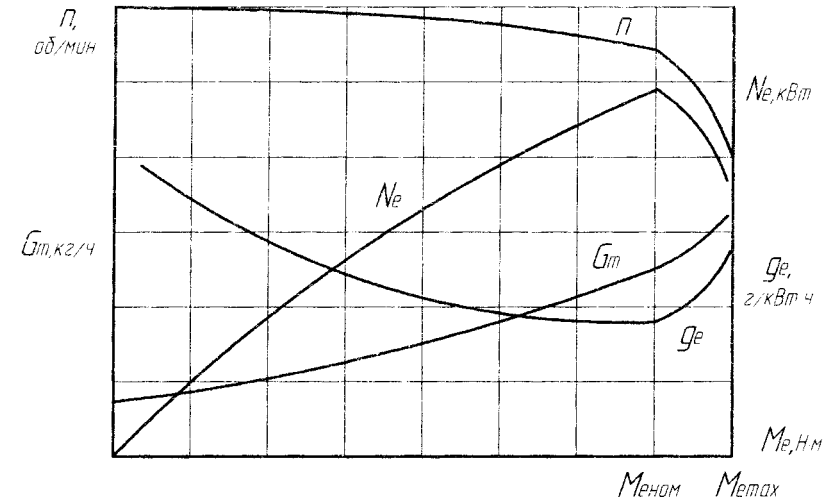


Рис.7. Регуляторная характеристика в зависимости от крутящего момента

Характеристика механических потерь в дизельном двигателе

Характер изменения g_e показывает, что недогрузка двигателя существенно влияет на экономичность его работы, повышая удельный расход топлива. Наилучшая экономичность получается при загрузке двигателя на 80...95% при $g_{e \text{ ном}}$. Поэтому для повышения эффективности работы дизельного двигателя необходимо стремиться к тому, чтобы средняя эксплуатационная нагрузка была как можно выше.

Цель работы: изучить метод определения механических потерь «прогнозированием» и установить характер этих потерь в зависимости от частоты вращения коленчатого вала двигателя.

Контрольные вопросы

1. Что такое регуляторная характеристика двигателя?
2. При каких условиях получают регуляторную характеристику двигателя?
3. Каковы начальная и конечная точки регуляторной характеристики двигателя?
4. В каком положении находится рейка ТНВД при получении регуляторной характеристики двигателя?
5. Как изменяется коэффициент наполнения при изменении частоты вращения и почему?
6. Как изменяется коэффициент избытка воздуха при изменении частоты вращения и почему?
7. Как изменяется удельный расход топлива при изменении частоты вращения и почему?
8. Как изменяется крутящий момент двигателя с ростом частоты вращения и почему?
9. Как изменяется среднее давление механических потерь при изменении частоты вращения и почему?
10. Как изменяется индикаторный КПД при изменении частоты вращения и почему?
11. Каким образом происходит переход с корректорной на регуляторную ветвь характеристики, и наоборот?
12. Каковы характерные точки регуляторной характеристики двигателя?
13. В чем физический смысл степени неравномерности регулятора?
14. Что определяет величину коэффициента приспособляемости?

Краткие сведения из теории двигателей

Получаемая в цилиндрах двигателя мощность не может быть полностью реализована в трансмиссии трактора или автомобиля из-за немалых механических потерь на преодоление трения, приводов вспомогательных механизмов и газообмен.

Величина механических потерь оценивается средним давлением механических потерь P_M или мощностью механических потерь N_M , определяемых по уравнению

$$N_M = P_M \cdot V_d \cdot n / 120. \quad (1)$$

Для двигателя КамАЗ-740.10 уравнение P_M имеет вид

$$P_M = 0,089 + 0,472 \cdot 10^{-4} \cdot n, \quad (2)$$

где n - частота вращения, об/мин;

V_d - литраж двигателя, л.

В условиях эксплуатации для оценки технического состояния двигателя необходимо определить величину механических потерь. Существует пять наиболее известных методов определения механических потерь. Наиболее простым методом является метод принудительного «проворачивания» двигателя от постороннего источника (электродвигателя) без подачи топлива. В связи с тем, что определение механических потерь проводится на неработающем двигателе, величины P_M и N_M отличаются от действительных. Однако определение P_M и N_M таким способом позволит получить полную картину изменения механических потерь при изменении скоростного режима двигателя и сравнить эти данные с теоретическими расчетами по характеристике механических потерь.

Характеристикой механических потерь называется зависимость мощности и среднего давления механических потерь от частоты вращения коленчатого вала двигателя.

Методика проведения работы

На прогревом до рабочих температур воды и масла двигателя выключается подача топлива и он «прокручивается» от электродвигателя с различной частотой вращения, начиная от 400 об/мин и до 1400 об/мин через каждые 100 об/мин. При каждом изменении частоты вращения коленчатого вала записывается нагрузка на тормозе.

Полученные данные заносятся в протокол испытаний (табл. 6).

Таблица 6

№ п/п	Частота вращения n , об/мин	Вращающий момент электродвигателя $M_{эл}$, Н·м	Мощность N_M , кВт	Среднее значение P_M , МПа

Мощность и среднее давление механических потерь в условиях испытаний определяется по уравнениям

$$N_M = \frac{M_{эл} \cdot n}{9550}; \quad P_M = \frac{120 \cdot N_M}{n \cdot V_d}$$

На основании полученных данных строятся характеристики механических потерь.

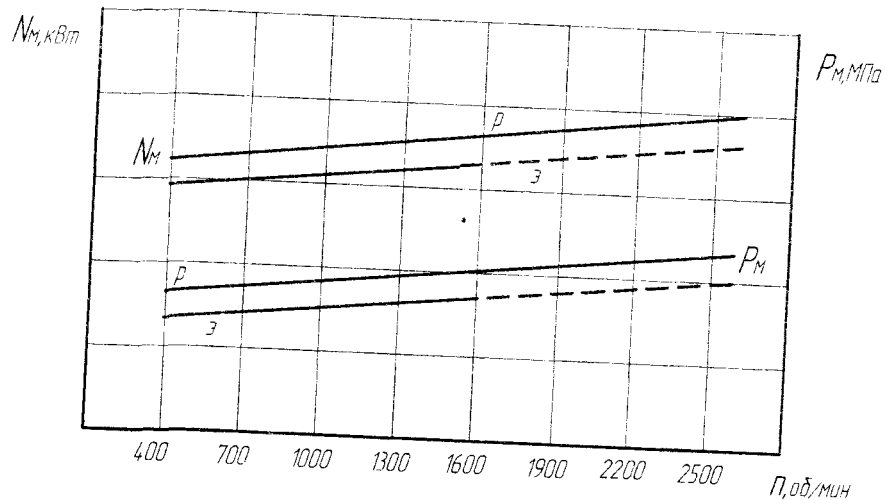


Рис. 8. Характеристика механических потерь:
 p — расчетные данные; z — экспериментальные данные

В связи с тем, что экспериментальные характеристики получаем до 1400 об/мин, кривые N_M и P_M аппроксимируются штриховыми линиями до 2600 об/мин, соответствующих номинальной частоте вращения двигателя КамАЗ-740.10.

По теоретическим уравнениям (1), (2) проводится расчет N_M и P_M от 400 об/мин до 2600 об/мин через каждые 200 об/мин и полученные данные наносятся на график.

Из характеристики видно, что с увеличением частоты вращения механические потери увеличиваются пропорционально, вследствие увеличения потерь на трение и на привод вспомогательных механизмов. Экспериментальные кривые проходят ниже расчетных, т.к. на работающем двигателе величины потерь увеличиваются из-за роста нагрузок в парах трения и усиления действия динамических нагрузок.

При анализе необходимо указать величины разниц.

Контрольные вопросы

1. Что такое характеристика механических потерь?
2. При каких условиях получают характеристику механических потерь?
3. Каковы начальная и конечная точки характеристики механических потерь?
4. Что такое среднее давление механических потерь и из чего оно складывается?
5. Объясните влияние частоты вращения, нагрузки, давления наддува, степени сжатия на величину механических потерь.
6. Каким образом теоретически определяется величина механических потерь в двигателе?
7. Назовите другие способы определения величины механических потерь.
8. Чем обусловлено расхождение теоретической и экспериментальной величины механических потерь?
9. Чему равно среднее давление механических потерь на холостом ходу двигателя?
10. Чему равно среднее давление механических потерь на режиме максимальной мощности двигателя?
11. Назовите основную составляющую механических потерь и ее примерную величину.
12. Назовите примерное процентное соотношение всех составляющих механических потерь.

Библиографический список

1. Автомобильные двигатели/С.Н.Богданов, М.М.Буренков, И.Е.Иванов. - М.: Машиностроение, 1987. 368с.
2. Испытание двигателей внутреннего сгорания/И.Я.Райков. - М.: Высшая школа, 1975. 320с.
3. Испытание двигателей внутреннего сгорания/В.С. Стефановский, Е.А.Скобцов и др. - М.: Машиностроение, 1972. 368с.
4. Практикум по автотракторным двигателям/Г.И.Трубников. - М.: Колос, 1975. 192с.
5. Расчет автомобильных и тракторных двигателей/ А.И.Колчин, В.П.Демидов. - М.: Высш. шк., 2002.- 496с.
6. Теория, конструкция и расчет автотракторных двигателей/ А.В.Николаенко. - М.: Колос, 1984. 335с.

ИСПЫТАНИЕ ДВИГАТЕЛЕЙ

Методические указания к лабораторным занятиям по дисциплине «Тепловые двигатели» для студентов специальности 15.01.00 «Автомобиле- и тракторостроение» очного и очно-заочного отделений

Составитель Борис Анатольевич Новожилов

Редактор Т.М.Курьянова

Подписано в печать 2.03. 2004г. Формат 60X84 1/16.

Бумага офсетная.

Ризография. Печ.л. 1,6. Тираж 100 экз. Заказ №156.

Липецкий государственный технический университет.
398055 Липецк, ул. Московская, 30.

Типография ЛГТУ. 398055 Липецк, ул. Московская, 30.