

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра автомобильного транспорта

Р.Ф. Калимуллин, С.Ю. Коваленко

ИСПЫТАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ: СТЕНДОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ

Методические указания

Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательной программе высшего образования по направлению подготовки 23.03.01 Технология транспортных процессов

Оренбург
2018

УДК 629.33 (076.5)
ББК 39.35-07я7
К 17

Рецензент – доцент, кандидат технических наук А.А. Филиппов

Калимуллин, Р.Ф.
К 17 Испытание автомобильных двигателей: стендовые испытания:
методические указания / Р.Ф. Калимуллин, С.Ю. Коваленко;
Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург : ОГУ, 2018. – 51 с.

Основное содержание: техника безопасности при проведении стендовых испытаний автомобильных двигателей, общие сведения об организации стендовых испытаний автомобильных двигателей на обкаточно-тормозном стенде, методики проведения испытаний по снятию характеристики холостого хода, нагрузочной, внешней скоростной и частичных скоростных характеристик.

Методические указания предназначены для выполнения лабораторных работ по дисциплине «Транспортная энергетика» для обучающихся направления подготовки *23.03.01 Технология транспортных процессов* всех форм обучения.

Методические указания могут быть использованы для самостоятельной работы обучающимися по направлениям подготовки *23.03.01 Технология транспортных процессов* и *23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов* и по специальности *23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства*, а также в практической деятельности инженерно-техническими работниками при разработке, доводке, производстве и ремонте двигателей.

УДК 629.33 (076.5)
ББК 39.35-07я7

© Калимуллин Р.Ф.,
Коваленко С.Ю., 2018
© ОГУ, 2018

Содержание

Введение	5
1 Лабораторная работа № 1. Согласование характеристик тормоза испытательного моторного стенда и ДВС	9
1.1 Общие положения	9
1.2 Обкаточно-тормозная характеристика моторного стенда	9
1.3 Устойчивость работы тормозного устройства	11
1.4 Построение обкаточно-тормозной характеристики испытательного моторного стенда	13
1.5 Построение внешней характеристики тормозного устройства и согласование ее с характеристикой ДВС	14
1.6 Контрольные вопросы	17
2 Лабораторная работа № 2. Снятие характеристик холостого хода бензинового ДВС	18
2.1 Общие положения	18
2.2 Общие сведения о работе ДВС на режиме холостого хода	18
2.3 Методика проведения испытаний по снятию характеристики холостого хода	22
2.4 Задание по работе	23
2.5 Контрольные вопросы	24
3 Лабораторная работа № 3. Снятие скоростной характеристики бензинового ДВС	25
3.1 Общие положения	25
3.2 Общие сведения об изменении основных показателей ДВС при его работе по скоростным характеристикам	25
3.3 Методика проведения испытаний по снятию скоростной характеристики	35
3.4 Задание по работе	36

3.5 Контрольные вопросы	37
4 Лабораторная работа №4. Снятие нагрузочной характеристики бензинового ДВС	38
4.1 Общие положения	38
4.2 Общие сведения об изменении основных показателей ДВС при его работе по скоростным характеристикам.....	38
4.3 Методика проведения испытаний по снятию нагрузочной характеристики.....	41
4.4 Задание по работе	42
4.5 Контрольные вопросы	43
Заключение.....	44
Список использованных источников	45
Приложение А.....	46
Приложение Б	48
Приложение В.....	49
Приложение Г	50
Приложение Д.....	51

Введение

Целями лабораторных работ по дисциплине «Транспортная энергетика» являются:

- установление связей теории с практикой в форме экспериментального подтверждения положений теории;
- приобретение практических навыков по организации и проведению испытаний двигателей внутреннего сгорания;
- обучение студентов умению анализировать полученные результаты, сопоставлять их с теоретическими положениями и расчетными данными;
- контроль самостоятельной работы студентов по освоению курса.

Исходя из целей лабораторных работ при освоении дисциплины, студент должен научиться:

- технически грамотно и правильно пояснить устройство основного оборудования и приборов испытательного стенда, а также пользования ими;
- самостоятельно провести заданное испытание двигателя, включая обработку результатов испытания;
- правильно и четко объяснить основные закономерности и явления, полученные при испытаниях;
- самостоятельно провести научно-экспериментальное исследование какого-либо вопроса рабочего процесса автомобильного двигателя.

Для наилучшего усвоения материала перед проведением испытаний студенту необходимо изучить теорию вопроса, предполагаемого к исследованию, ознакомиться с руководством по соответствующей работе и подготовить протокол проведения работы, в который заносится название, цель работы, протоколы испытания, расчетные формулы. При подготовке к защите лабораторной работы необходимо провести анализ экспериментальных результатов, сопоставить их с известными теоретическими положениями или эмпирическими справочными данными, обобщить результаты исследований в виде выводов по работе и подготовить ответы на контрольные вопросы, приведенные в методических

указания к выполнению лабораторных работ.

Ввиду того, что работающие двигатели внутреннего сгорания (ДВС) являются объектами повышенной опасности, при проведении испытаний необходимо соблюдать требования техники безопасности. Также, кроме самих ДВС определенную опасность представляют аппаратура и некоторые приборы, применяемые при испытании.

Основную опасность при испытании двигателя представляют:

- вращающиеся детали ДВС и используемых стендов;
- детали ДВС, имеющие высокую температуру и вызывающие ожоги (выпускной коллектор);
- выхлопные газы ДВС, вызывающие отравление организма или раздражение кожных покровов;
- система зажигания бензиновых двигателей, вызывающая удар электротоком;
- топливо, вызывающее отравление организма или раздражение кожных покровов;
- приборы, имеющие питание от сети высокого напряжения (например, осциллографы, газоанализаторы и т.д.);
- шумы, возникающие при работе ДВС.

Кроме того, ДВС представляют большую пожарную опасность. Все это вызывает необходимость в разработке и соблюдении специальных правил для лиц, работающих в лаборатории ДВС.

Каждый студент должен усвоить правила техники безопасности и поведения в лаборатории, для чего преподавателем проводится соответствующий инструктаж. Студенты расписываются в специальном журнале о том, что они ознакомлены с правилами техники безопасности и обязуются их выполнять:

1) необходимо быть предельно осторожным около двигателя, несмотря на то, что все приводные и соединительные устройства вращающихся деталей снабжаются надежными ограждениями;

2) до начала испытаний необходимо осмотреть двигатель снаружи, проверить и, при необходимости, подтянуть крепления. Особое внимание следует обратить при

проверке крепления гаек болтов гибкой муфты, соединяющей валы двигателя и тормоза. Во избежание захвата одежды вращающимися деталями испытательного стенда запрещается проводить испытания двигателя с развевающимися концами одежды (шарфы, галстуки, шейные косынки, полы халатов, пиджаков и т.д.);

3) перед пуском двигателя включить вытяжную и приточную вентиляцию;

4) не допускать работу двигателя в случае подтекания топлива, масла и охлаждающей жидкости, а также при выходе отработавших газов через неплотности в соединениях выпускной системы;

5) запрещается производить регулировки, отсоединять трубопроводы горюче-смазочных материалов и охлаждающей жидкости, обтирать и смазывать вращающиеся части во время работы двигателя;

6) не допускать перелива бензина через верхнюю кромку топливной емкости в процессе измерения расхода топлива. В случае попадания бензина на кожный покров необходимо немедленно смыть его теплой водой с мылом;

7) запрещается бесцельное и без разрешения преподавателей включение приборов, двигателей, кнопочных пускателей, рубильников и переключателей;

8) двигатель, тормозная установка и рабочие места у тормозного стенда должны содержаться в чистоте;

9) запрещается прикасаться руками к системе выпуска отработавших газов (коллектор двигателя и трубопровод), а также находиться вблизи этих деталей, особенно при работе двигателя на режимах полной нагрузки;

10) запрещается проводить любые испытания двигателя одному. Присутствие второго лица обязательно для оказания, в случае необходимости, первой помощи;

11) внутри помещения лаборатории должны быть расположены в необходимом количестве противопожарные средства: огнетушители, ящики с песком, кошма, пожарный рукав и т.д.;

12) пользование открытым огнем (факелами, фонарями, лампами и т.д.), разжигание и прогрев паяльных ламп, а также курение в помещении лаборатории категорически запрещается;

13) запас топлива для каждого двигателя держать только в расходном

топливном баке, ёмкость которого не должна превышать ёмкость бака заводского изготовления. Воспрещается хранение топлива и масла в дополнительных ёмкостях (бочках, флягах, бидонах и др.) в помещении лаборатории;

14) после окончания работы по испытанию двигателя отключить топливный бак, рубильник силовой электросети, водопроводную магистраль.

1 Лабораторная работа № 1. Согласование характеристик тормоза испытательного моторного стенда и ДВС

1.1 Общие положения

Целью работы является изучение способа построения характеристик испытательных моторных стендов на основе анализа характеристик электрических машин и умение сопоставлять их с характеристиками ДВС.

Задачами работы являются:

- получение представления об обкаточно-тормозных характеристиках испытательных моторных стендов;
- умение построения обкаточно-тормозных характеристик стенда;
- умение построения внешней характеристики тормоза и согласования ее с характеристиками ДВС.

1.2 Обкаточно-тормозная характеристика моторного стенда

Обкаточно-тормозной характеристикой моторного стенда называется зависимость крутящего и тормозного моментов от частоты вращения ротора электродвигателя.

Обкаточно-тормозная характеристика испытательного моторного стенда с асинхронной балансирной машиной состоит из двух частей (рисунок 1.1): обкаточной (левая часть) – для работы машины в двигательном режиме и тормозной (правая часть) – для работы машины в генераторном режиме.

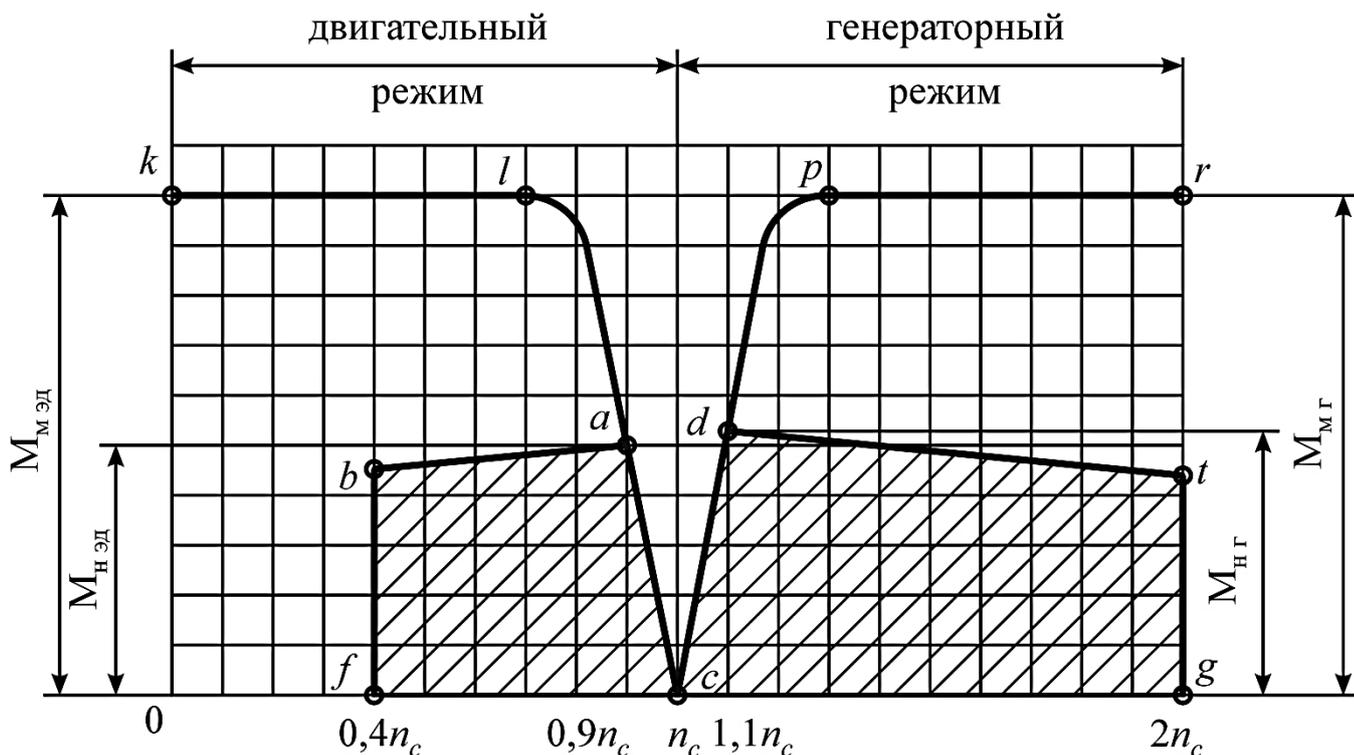


Рисунок 1.1 – Обкаточно-тормозная характеристика испытательного моторного стенда

Границей этих двух характеристик является синхронная частота вращения электрической машины n_c .

Применение стенда для прокрутки и холодной обкатки ДВС ограничивается контуром $0-k-l-c$, а для испытаний и горячей обкатки – контуром $c-p-r-g$, т.е. до удвоенной синхронной частоты вращения.

Заштрихованная площадь представляет область действия нормальной характеристики. В этой области стенд можно использовать продолжительное время.

Область характеристики, находящаяся вне заштрихованной площади, является перегрузочной. При удалении от заштрихованной площади продолжительность безостановочной работы моторного стенда уменьшается. Максимальной перегрузочной характеристикой (линии $k-l$ и $p-r$) можно пользоваться кратковременно, в течение нескольких минут.

Площадь, ограниченная контуром $l-c-p$, является «мертвой зоной». В данной области частоты вращения ротора и нагрузки нельзя получить ни двигательный, ни

генераторный режимы. Это является недостатком стендов с асинхронными машинами, так как за пределами «мертвой зоны» нельзя осуществить прокрутку коленчатого вала и холодную обкатку двигателей с частотой вращения коленчатого вала выше синхронной частоты электрической машины и нагружение испытываемых ДВС при частоте вращения коленчатого вала ниже синхронной частоты электрической машины.

Длительное использование стенда в двигательном режиме при частоте вращения ротора электрической машины, находящейся в пределах $0-f$ (т.е. менее $0,4 n_c$), не рекомендуется вследствие неудовлетворительной устойчивости работы электрической машины и ее перегрева.

Верхняя граница нормальной характеристики стенда в генераторном $d-t$ и двигательном $a-b$ режимах снижается при удалении от синхронной частоты вращения вследствие ухудшения отвода тепла от электрической машины. Для недопущения ее перегрева необходимо уменьшить момент при двойной синхронной частоте вращения примерно на 10 %.

1.3 Устойчивость работы тормозного устройства

Характер зависимости тормозного момента от частоты вращения ротора электрической машины определяет устойчивость равновесного режима работы тормозного устройства. Устойчивость работы тормоза – это его способность к саморегулированию.

Из рисунка 1.1 видно, что величина тормозного момента изменяется пропорционально частоте вращения (линия $c-d$). Изобразим данную зависимость для двух режимов: для частичной M_T и полной M_T^n нагрузок (рисунок 1.2). На данном рисунке также изображена зависимость крутящего момента M_e ДВС от частоты вращения коленчатого вала. Такой характер зависимости крутящего момента двигателя и тормозного момента тормоза от частоты вращения обеспечивает устойчивую работу системы «двигатель – тормоз» с частотами вращения n_A или n_B .

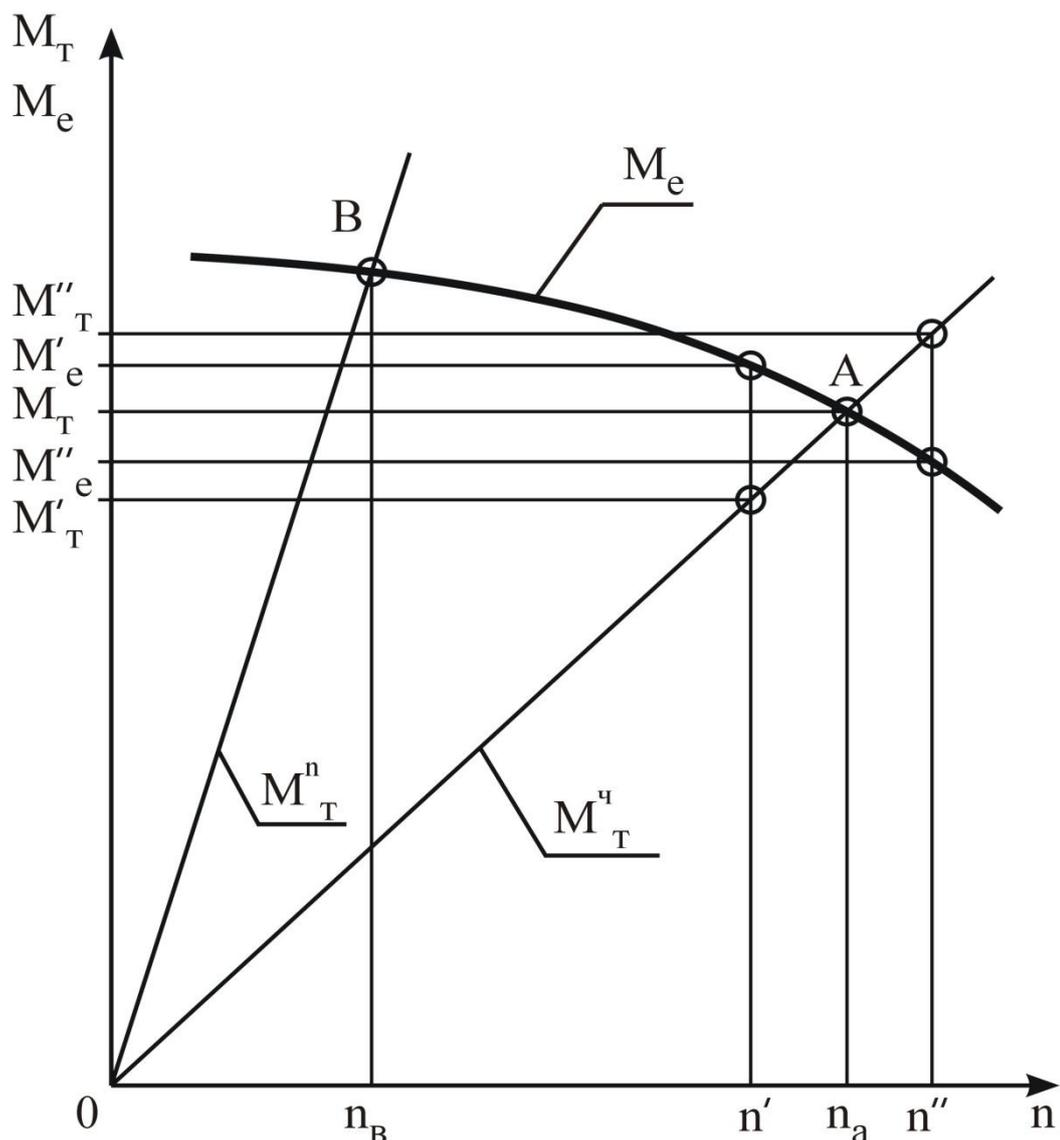


Рисунок 1.2 – Зависимости крутящего момента двигателя и тормозного момента тормоза от частоты вращения

При нарушении равновесия (например, в точке A) частота вращения системы может увеличиться до n'' или уменьшиться до n' . В первом случае тормозной момент возрастает до значения M_T'' , а крутящий момент ДВС уменьшится до величины M_e'' . Возникает избыточный тормозной момент $\Delta M'' = M_T'' - M_e''$, под действием которого частота вращения коленчатого вала уменьшится до первоначальной величины n_A . При уменьшении частоты вращения до n' возникает

избыточный крутящий момент $\Delta M' = M'_E - M'_T$. Под действием этого момента частота вращения системы «двигатель – тормоз» повысится до первоначальной n_A и наступит равновесный режим.

Аналогично обеспечивается устойчивость работы при полной нагрузке тормоза в точке B .

Очевидно, что устойчивость работы системы «двигатель – тормоз» будет тем больше, чем выше избыточные моменты, восстанавливающие первоначальный режим работы. Наибольшей устойчивостью обладают гидравлические тормоза, промежуточной – электрические, и наименьшей – механические и индукторные. Механические и индукторные тормоза вообще не обеспечивают устойчивой работы при полных нагрузках (в точке B). Поэтому при испытаниях ДВС на тормозах этих типов обычно применяют устройства для автоматического регулирования скоростного режима.

1.4 Построение обкаточно-тормозной характеристики испытательного моторного стенда

Для построения обкаточно-тормозной характеристики испытательного моторного стенда требуются координаты основных характерных точек, для определения которых необходимо знать основные характеристики электрической машины.

Испытательный моторный стенд КИ-5543 оснащен балансирной асинхронной электрической машиной типа АКБ 82-4УЗ. Технические данные электрической машины при работе в двигательном режиме:

- частота вращения: $n_{эд} = 1440 \text{ мин}^{-1}$;
- мощность: $N_{нэд} = 55 \text{ кВт}$;
- синхронная частота вращения: $n_c = 1500 \text{ мин}^{-1}$.

Номинальный крутящий момент электродвигателя $M_{нэд}$, (Н·м) определяется по формуле:

$$M_{нэд} = 9554 \cdot \frac{N_{нэд}}{n_{эд}}. \quad (1.1)$$

После выбора масштабов частоты вращения и крутящего момента по полученному значению $M_{нэд}$ нанести на график точку «а» (рисунок 1.1).

Далее необходимо определить координаты точки «b» и нанести на график момент $M_b = 0,9 \cdot M_{нэд}$ при частоте вращения $n_b = 0,4 \cdot n_c$.

Максимальный крутящий момент электродвигателя (при отсутствии его значения в паспорте машины) можно принять $M_{Mэд} = 2 \cdot M_{нэд}$ (прямая $k-l$ на графике).

Далее необходимо нанести на график точки тормозного режима электрической машины. Координаты точки «d» – номинальный момент в тормозном режиме: $M_{нэ} = 1,05 \cdot M_{нэд}$ при частоте вращения равной $1,1 \cdot n_c$. Координаты точки «t» – момент $M_t = 0,9 \cdot M_{нэ}$ – при частоте вращения $n_t = 2 \cdot n_c$. Максимальная величина тормозного момента $M_{Mэ} = 2 \cdot M_{нэ}$.

Полученные точки соединяются линиями, как показано на рисунке 1.1.

1.5 Построение внешней характеристики тормозного устройства и согласование ее с характеристикой ДВС

Внешней характеристикой тормозного устройства называют зависимость поглощаемой мощности от частоты вращения ротора электрической машины (рисунок 1.3).

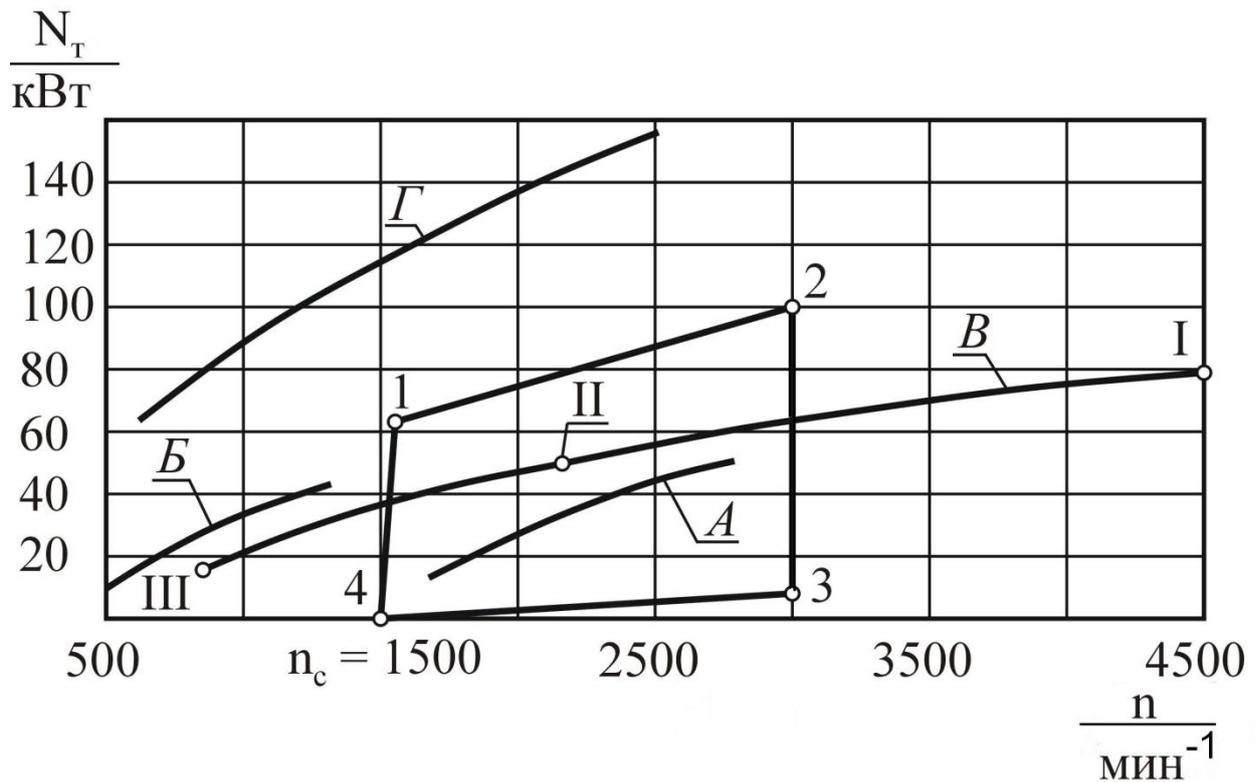


Рисунок 1.3 – Согласование внешней характеристики тормозного устройства с характеристикой ДВС

Для ее построения используют правую часть обкаточно-тормозной характеристики.

Величину тормозной мощности (кВт) в точках «1» и «2» подсчитывают по формулам:

$$N_{T1} = \frac{M_d \cdot n_d}{9554}; \quad (1.2)$$

$$N_{T2} = \frac{M_t \cdot n_t}{9554}. \quad (1.3)$$

Тормозной момент и частоту вращения определяют по рисунку 1.1 для точек «d» и «t». Линия 2-3 ограничивает наибольшую частоту вращения вала тормозного устройства (ротора электрической машины), определяемую предельной нагрузкой от действия центробежных сил. Линия 4-3 характеризует минимальную мощность,

поглощаемую тормозным устройством при полной его разгрузке (электроды жидкостного реостата подняты). Линия 4-1 соответствует максимальной тормозной мощности (электроды реостата полностью опущены).

При согласовании характеристик достаточно построить приближенную внешнюю скоростную характеристику ДВС.

Для этого необходимо взять по паспортным данным ДВС его номинальную мощность и соответствующую ей частоту вращения коленчатого вала (приложение А). Это будет одна точка скоростной характеристики (точка «I» на кривой В). Для определения второй точки требуется подсчитать мощность двигателя по максимальному крутящему моменту и соответствующей ему частоте вращения коленчатого вала (точка «II»). Третья точка характеристики «III» принимается для минимальной частоты вращения коленчатого вала ДВС, величина которой соответствует примерно от 20 % до 25 % от номинальной. Величина мощности в этой точке составляет примерно от 25 % до 30 % от номинальной. Полученные точки соединить плавной кривой.

Соответствие тормозного устройства ДВС по мощности и скоростным данным устанавливаются путем наложения внешней скоростной характеристики ДВС на внешнюю характеристику тормозного устройства. Если характеристика ДВС укладывается внутри поля, ограниченного внешней характеристикой тормозного устройства (4-1-2-3-4), то оно обеспечит необходимые мощностной и скоростной режимы (вариант А).

Если характеристика испытываемого ДВС выходит за граничную линию 4-1 (вариант В), тормозное устройство для данного ДВС является слишком быстроходной, а если выходит за пределы линии 2-3 (вариант В) – слишком тихоходной. В этих случаях необходимо устанавливать между коленчатым валом ДВС и валом тормозного устройства повышающую или понижающую передачи. В некоторых случаях, когда необходимо проводить испытания ДВС на всем рабочем диапазоне частот вращения коленчатого вала (например, снятие внешней скоростной характеристики), требуется установка КПП, имеющей как понижающие, так и повышающие передачи. Когда же характеристика ДВС располагается выше

границной линии 1-2 (вариант Г), тормозное устройство непригодно для полноценных испытаний данного ДВС. В данном случае следует ограничивать диапазон мощности ДВС.

1.6 Контрольные вопросы

1. Что представляет собой обкаточно-тормозная характеристика испытательного моторного стенда?
2. Каковы условия устойчивой работы системы «двигатель – тормоз»?
3. Каким образом выполняется построение обкаточно-тормозной характеристики испытательного моторного стенда?
4. Каким образом проводится построение внешней тормозной характеристики тормозного устройства и характеристики ДВС?
5. Каким образом проводится согласование характеристик тормозного устройства и ДВС по мощности и скоростным режимам?

2 Лабораторная работа № 2. Снятие характеристик холостого хода бензинового ДВС

2.1 Общие положения

Целью работы является изучение методик снятия характеристики холостого хода бензинового ДВС и оценки его топливной экономичности на режиме холостого хода.

Задачами работы являются:

- получение представления о протекании рабочих процессов в ДВС при его работе на режиме холостого хода;
- умение проведения испытаний по снятию характеристик холостого хода ДВС;
- умение обработки полученных результатов испытаний и их анализ.

2.2 Общие сведения о работе ДВС на режиме холостого хода

Характеристикой холостого хода называется зависимость топливной экономичности и других параметров работы ДВС при его работе без нагрузки от частоты вращения коленчатого вала (рисунок 2.1).

Характеристика снимается в диапазоне от минимально устойчивой частоты вращения коленчатого вала на холостом ходу до частоты вращения, равной $0,5 \cdot n_{ном}$. Согласно ГОСТ 14846 - 81 при снятии характеристики холостого хода коленчатый вал ДВС должен быть отсоединен от тормозного устройства.

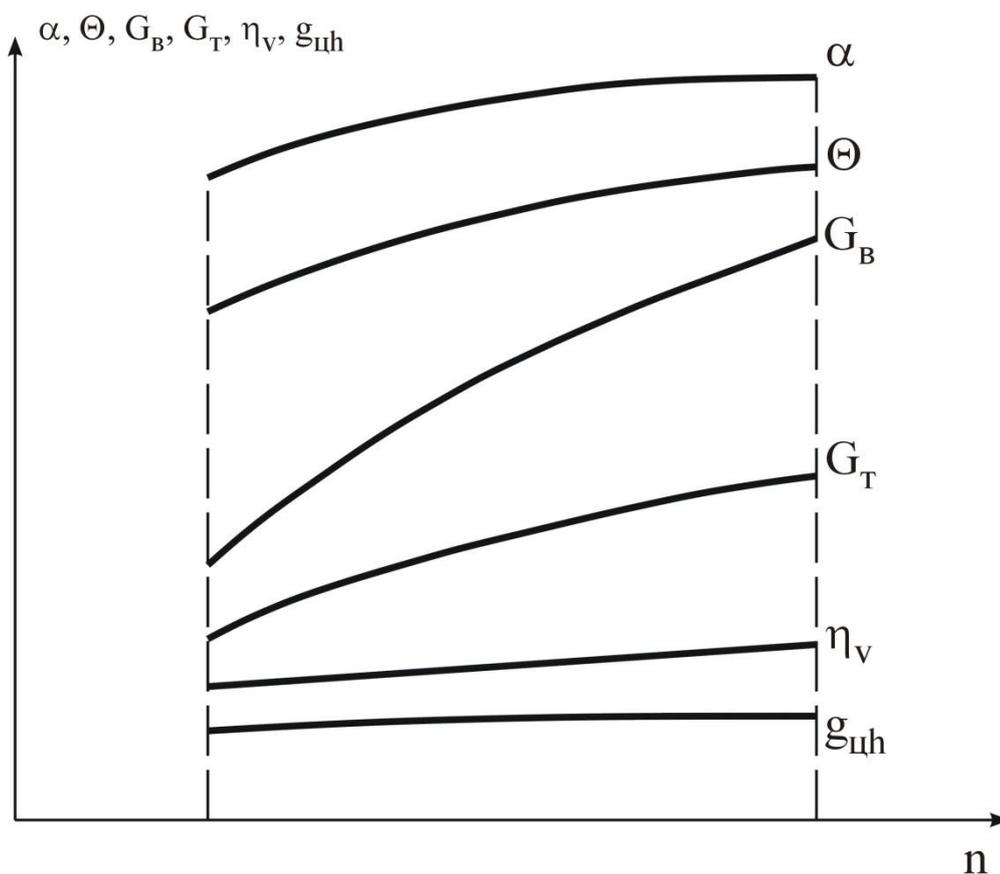


Рисунок 2.1 – Общий вид характеристики холостого хода ДВС

Автомобильные двигатели в условиях эксплуатации часто работают на холостом ходу, когда двигатель не имеет внешней нагрузки, например, при выключенном сцеплении или нейтральной передаче в коробке перемены передач. В данных условиях предпочтительно, чтобы частота вращения коленчатого вала была минимальной при условии устойчивой работы ДВС.

Так как внешняя нагрузка при работе ДВС на режиме холостого хода отсутствует, то среднее эффективное давление и эффективная мощность соответственно равны нулю, а удельный эффективный расход топлива равен бесконечности. Вследствие этого, нормирование расхода топлива на режимах холостого хода весьма затруднительно.

При оценке топливной экономичности ДВС на режиме холостого хода кроме часового расхода топлива, используют удельный часовой и удельный цикловой расходы топлива.

Удельный часовой расход топлива – это количество топлива, расходуемое ДВС в час на единицу рабочего объема всех цилиндров, кг/(л·ч):

$$g_h = \frac{G_T}{V_h \cdot i}, \quad (2.1)$$

где G_T – часовой расход топлива, кг/ч;

V_h – рабочий объем цилиндра двигателя, л;

i – число цилиндров двигателя.

Удельный цикловой расход топлива – это цикловая доза топлива, подаваемая в цилиндр двигателя, отнесенная к его рабочему объему, мг/л:

$$g_{\text{цх}} = \frac{G_T \cdot 10^6}{30 \cdot n \cdot V_h \cdot i}. \quad (2.2)$$

При работе ДВС на режиме холостого хода удельные цикловые расходы топлива составляют от 15 до 20 мг/л. Изменение частоты вращения коленчатого вала на холостом ходу почти не влияет на удельный цикловой расход топлива.

Расхода топлива при работе ДВС зависит от изменения состава топливовоздушной смеси, которая корректируется в зависимости от режима работы ДВС. Рассмотрим основные режимы работы ДВС и характерные составы топливовоздушной смеси для данных режимов:

- холодный пуск. При холодном пуске всасываемая топливовоздушная смесь обедняется в результате недостаточного перемешивания воздуха с топливом, недостаточного испарения его и повышенного оседания на стенках впускного коллектора. Для облегчения пуска холодного двигателя топливовоздушная смесь обогащается до $\alpha=0,6 - 0,8$;

- прогрев двигателя. После пуска ДВС при прогреве смесь подается обогащенной ($\alpha=0,8 - 0,9$) до тех пор, пока не повысится температура в камере

сгорания и не улучшится смесеобразование в цилиндре. К тому же, обогащение смеси дополнительно обеспечивает больший крутящий момент, повышающий частоту вращения коленчатого вала до частоты, обеспечивающей равномерную бесперебойную работу ДВС;

- режимы частичных нагрузок. Для двигателей, оснащенных каталитическим нейтрализатором, при частичных нагрузках необходимо точно поддерживать стехиометрический состав топливовоздушной смеси ($\alpha=1$). Для двигателей без нейтрализатора главным критерием оптимальности топливовоздушной смеси является минимальный расход топлива, достигаемый при обеднении смеси до $\alpha = 1,05 - 1,2$;

- режим полной нагрузки. При полностью открытой дроссельной заслонке двигатель должен достигать максимальной мощности, что обеспечивается при обогащенной топливовоздушной смеси при $\alpha=0,8 - 0,9$.

Наглядно зависимость мощности ДВС и состава смеси представлена на рисунке 2.2.

Анализ характеристики холостого хода позволяет выявить оптимальные расходы топлива и токсичность двигателя на этом режиме.

Частота вращения коленчатого вала на режиме холостого хода впрыскового ДВС регулируется ЭБУ с позиции соотношения минимальной частоты вращения коленчатого вала, обеспечивающей устойчивую работу ДВС, при минимальном расходе топлива.

Коэффициент наполнения η_v по мере увеличения частоты вращения коленчатого вала изменяется незначительно, так как его снижение с повышением n в значительной мере компенсируется увеличением открытия дроссельной заслонки.

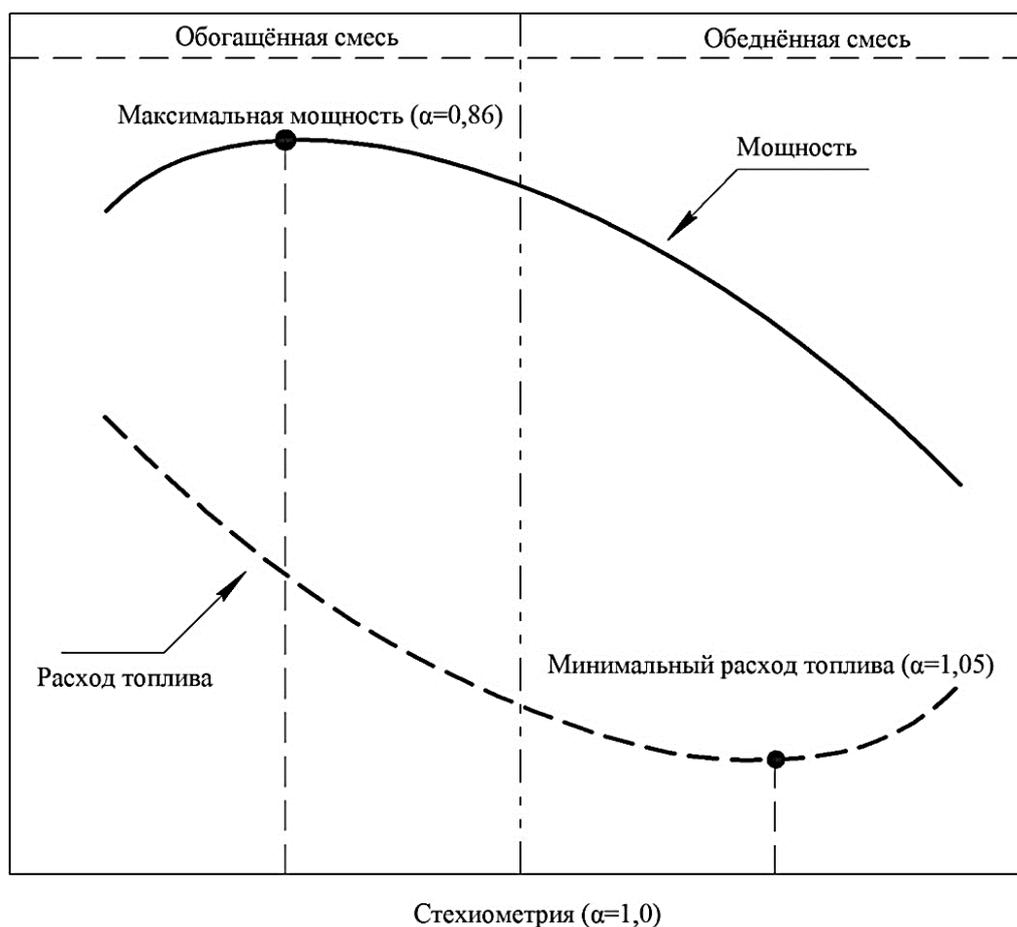


Рисунок 2.2 – Зависимость расхода топлива от текущей мощности ДВС

2.3 Методика проведения испытаний по снятию характеристики холостого хода

Для снятия характеристики холостого хода ДВС требуется следующая материально-техническая база:

- 1) испытательный моторный стенд с установленным на нем ДВС и оборудованный системами измерения параметров работы ДВС;
- 2) мотор-тестер для определения расхода воздуха и расхода топлива;
- 3) приборы для определения параметров окружающей среды (барометр для определения атмосферного давления, термометр для определения температуры окружающего воздуха).

При снятии характеристики холостого хода ДВС необходимо выполнение

следующих условий:

- 1) отсутствие нагрузки на ДВС (тормозное устройство испытательного моторного стенда отсоединено от ДВС);
- 2) постоянный нормальный рабочий тепловой режим ДВС;
- 3) переменное положение дроссельной заслонки, обеспечивающее изменение частоты вращения от $n_{\min \text{ x.x.}}$ до $0,5 \cdot n_{\text{ном}}$.
- 4) переменная частота вращения коленчатого вала.

Моторные испытания по снятию характеристики холостого хода необходимо проводить в следующей последовательности:

- 1) проверить готовность ДВС к пуску и работоспособность измерительного оборудования;
- 2) запустить и прогреть ДВС до температуры охлаждающей жидкости $t_{\text{ож}} = (90 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$ и температуры масла $t_{\text{м}} = (80 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$;
- 3) ввести ДВС в режим испытания: дроссельная заслонка в начальном положении, нагрузка на ДВС отсутствует, тепловой режим нормальный;
- 4) выдержать ДВС на установленном режиме работы не менее 1 мин;
- 5) произвести запись показаний всех измерительных устройств в протокол испытаний (приложение Б);
- 6) вторая и последующие экспериментальные точки характеристики холостого хода снимаются при некотором увеличении открытия дроссельной заслонки так, чтобы частота вращения коленчатого вала ДВС повысилась на величину от 200 до 300 мин^{-1} , делается выдержка 1 мин и производится запись показаний всех измерительных устройств;
- 7) по окончании испытаний установить дроссельную заслонку в положение, обеспечивающее работу ДВС на $n_{\min \text{ x.x.}}$ и остановить ДВС.

2.4 Задание по работе

1. На основании занесенных в протокол показаний измерительных приборов и

устройств, произвести подсчет величин, характеризующих работу ДВС, и оценить погрешности измерений.

2. Построить графики характеристик холостого хода: $G_T = f_1(n)$; $G_g = f_2(n)$; $\eta_v = f_3(n)$; $\alpha = f_4(n)$; $\Theta = f_5(n)$; $g_{uh} = f_6(n)$.

3. Провести анализ графиков характеристики холостого хода и сделать соответствующие выводы.

Полученные результаты оформляются на листах формата А4 в виде отчета, пример которого приведен в приложении Д. Отчет должен содержать название, цель и задачи работы, заполненный протокол испытаний, графическое представление полученных результатов, их анализ и основные выводы по работе. Отчет оформляется в соответствии с СТО 02069024.101–2015 «РАБОТЫ СТУДЕНЧЕСКИЕ. Общие требования и правила оформления».

2.5 Контрольные вопросы

1. Что понимается под характеристикой холостого хода ДВС?
2. Какими показателями характеризуется топливная экономичность ДВС на режиме холостого хода?
3. В чем особенности протекания рабочих процессов в ДВС на холостом ходу?
4. Какая требуется материально-техническая база для снятия характеристики холостого хода ДВС?
5. В какой последовательности проводится снятие характеристики холостого хода ДВС?

3 Лабораторная работа № 3. Снятие скоростной характеристики бензинового ДВС

3.1 Общие положения

Целью работы является изучение методики снятия скоростной характеристики бензинового ДВС.

Задачами работы являются:

- получение представления о видах скоростных характеристик ДВС и о протекании рабочих процессов в ДВС при работе его на режимах скоростных характеристик;
- умение проведения испытаний по снятию скоростных характеристик ДВС;
- умение обработки полученных результатов испытаний и их анализ.

3.2 Общие сведения об изменении основных показателей ДВС при его работе по скоростным характеристикам

Скоростной характеристикой называют зависимость мощностных, экономических и других показателей работы ДВС от частоты вращения коленчатого вала.

Различают несколько видов скоростных характеристик: абсолютная внешняя, эксплуатационная внешняя и частичная.

Абсолютной внешней скоростной характеристикой называют график зависимости от частоты вращения коленчатого вала мощности ДВС, максимально возможной при данной частоте вращения вала. При снятии этой характеристики на каждом скоростном режиме необходимо поддерживать оптимальные значения всех регулировочных параметров ДВС из условия получения максимальной мощности. Практическое осуществление данного требования связано с обеспечением на каждом режиме оптимальных фаз газораспределения, угла опережения зажигания, состава смеси, теплового режима ДВС и т.д., что является весьма трудоемкой

работой.

При эксплуатации ДВС имеет значение зависимость его максимальной мощности или среднего эффективного давления от частоты вращения коленчатого вала при полном открытии дроссельной заслонки, обеспечивающем получение номинальной мощности. Другие же параметры работы ДВС в этом случае могут быть неоптимальными при работе на всех режимах, соответствующих характеристике. В зависимости от условий работы ДВС эти параметры могут быть оптимальными не на номинальной, а на какой-то промежуточной частоте вращения коленчатого вала (например, на режиме максимального крутящего момента). Такие характеристики, снимаемые при нормальной эксплуатационной регулировке всех систем ДВС, называются эксплуатационными внешними скоростными характеристиками ДВС или внешними скоростными характеристиками.

Скоростные характеристики, снимаемые при неполном открытии дроссельной заслонки, называются частичными характеристиками.

Анализ скоростных характеристик бензинового ДВС позволяет выявить мощностные и экономические показатели его работы в рабочем диапазоне частоты вращения коленчатого вала.

На рисунке 3.1 представлена зависимость среднего эффективного давления p_e при работе ДВС по внешней и частичным скоростным характеристикам. Аналогично будет изменяться и пропорциональный p_e крутящий момент M_e ДВС. Чтобы выяснить причины такого поведения кривых p_e проанализируем известную зависимость:

$$p_e = k \cdot \frac{\eta_i}{\alpha} \cdot \eta_v \eta_M, \quad (3.1)$$

где k – коэффициент.

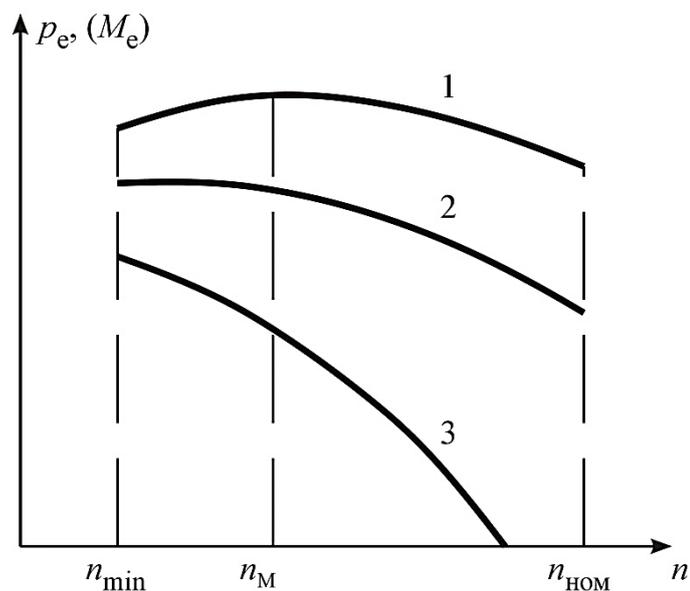


Рисунок 3.1 – Изменение $p_e (M_e)$ бензинового ДВС при работе по скоростным характеристикам: 1 – внешней; 2 и 3 – частичным

Основное влияние на характер изменения p_e с ростом частоты вращения оказывает изменение коэффициента наполнения η_v (рисунок 3.2).

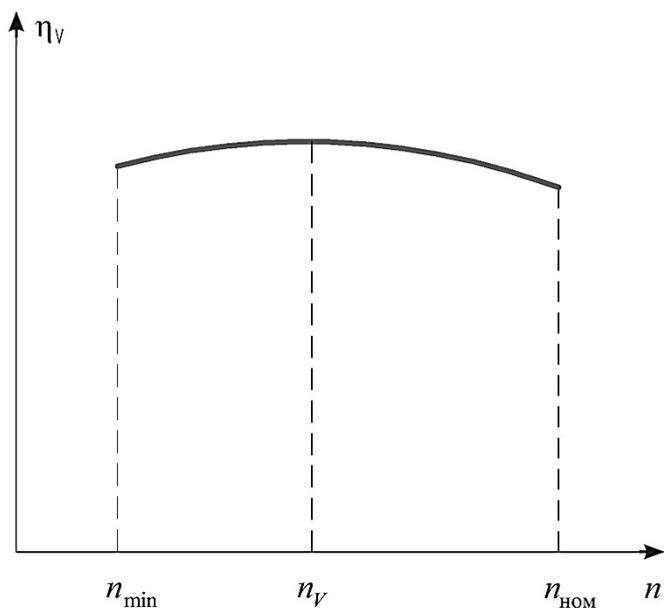


Рисунок 3.2 – Зависимость η_v от n при работе по скоростным характеристикам бензинового ДВС

Коэффициент наполнения η_v при работе ДВС по скоростной характеристике зависит от таких факторов, как: гидравлическое сопротивление системы впуска, нагрев свежего заряда, недозарядка цилиндров из-за высокой частоты вращения коленчатого вала, выталкивание части заряда из цилиндра при низкой частоте вращения коленчатого вала. На малых частотах вращения коэффициент наполнения мал из-за наличия обратного выброса свежего заряда во впускной трубопровод. С увеличением частоты вращения коленчатого вала возрастает дозарядка цилиндра и в зоне средних частот коэффициент наполнения достигает максимального значения. На частотах вращения, близких к номинальным, коэффициент наполнения вновь убывает из-за возрастания аэродинамического сопротивления впускного и выпускного трактов.

При работе бензинового ДВС по внешней скоростной характеристике коэффициент избытка воздуха α увеличивается с повышением частоты вращения коленчатого вала, что связано с улучшением условий смесеобразования и сгорания при увеличении скорости заряда. Такой характер изменения коэффициента α сохраняется и при работе по частичным скоростным характеристикам.

С увеличением коэффициента избытка воздуха возрастает и индикаторный к.п.д. с ростом частоты вращения. В области высоких частот вращения возможно снижение индикаторного к.п.д. из-за сокращения времени цикла, что приводит к догоранию на линии расширения, вследствие чего увеличиваются потери теплоты в охлаждающую среду и с отработанными газами.

Примерное изменение α , η_i и $\frac{\eta_i}{\alpha}$ при работе бензинового ДВС по скоростной характеристике показано на рисунке 3.3, из которого видно, что отношение $\frac{\eta_i}{\alpha}$ в данном случае меняется незначительно.

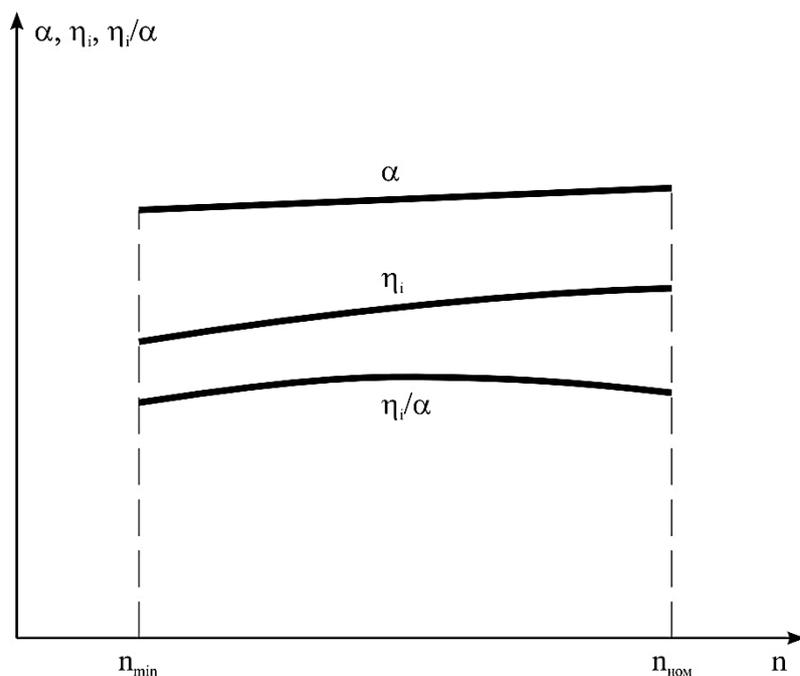


Рисунок 3.3 – Изменение α , η_i и $\frac{\eta_i}{\alpha}$ при работе ДВС по скоростной характеристике

Механический к.п.д. ДВС определяется по формуле:

$$\eta_M = \frac{P_e}{P_i} = 1 - \frac{P_M}{k \cdot \frac{\eta_i}{\alpha} \cdot \eta_v} \quad (3.2)$$

Для ДВС без наддува среднее давление механических потерь P_M мало зависит от нагрузки и может быть принято постоянным при $n = \text{const}$. При увеличении частоты вращения коленчатого вала среднее давление механических потерь возрастает. Таким образом, при работе по внешней характеристике рост P_M и уменьшение η_v при $\frac{\eta_i}{\alpha} \approx \text{const}$ с увеличением n приводит к понижению механического к.п.д. (рисунок 3.4).

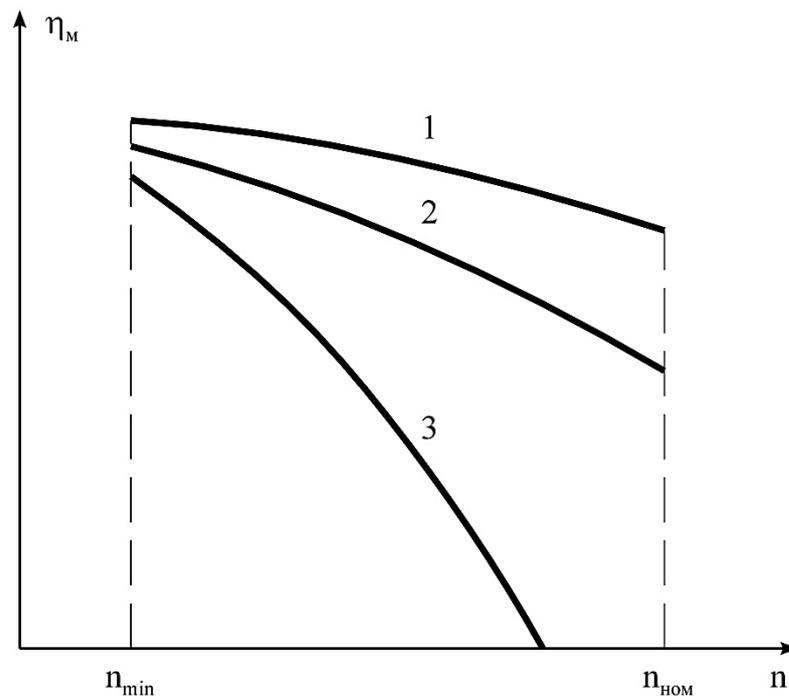


Рисунок 3.4 – Изменение механического к.п.д. при работе ДВС: 1 – по внешней скоростной характеристике; 2 и 3 – по частичным характеристикам

При прикрытии дроссельной заслонки значение η_M падает тем быстрее, чем больше прикрыта заслонка. Это объясняется тем, что среднее давление механических потерь растет с увеличением частоты вращения, а произведение $\frac{\eta_i}{\alpha} \cdot \eta_v$ уменьшается при прикрытии дроссельной заслонки. При значительно прикрытой дроссельной заслонке среднее индикаторное давление падает настолько быстро, что при $p_M = p_i$ произведение $\frac{\eta_i}{\alpha} \cdot \eta_v$ и коэффициент η_M равны нулю. Поэтому зависимость механического к.п.д. от частоты вращения коленчатого вала при различных положениях дроссельной заслонки имеет вид кривой, показанной на рисунке 3.4.

Особенности изменения отдельных сомножителей в выражении 3.1 определяют характер изменения среднего эффективного давления p_e при работе ДВС по скоростным характеристикам (рисунок 3.1). В ДВС без наддува среднее эффективное давление в области малых частот вращения коленчатого вала с ростом

n увеличивается, достигает максимума и затем уменьшается. Для бензинового ДВС при его работе по внешней скоростной характеристике частота вращения коленчатого вала, соответствующая $p_e \uparrow_{\max}$, составляет примерно от 45 % до 55 % от $n_{\text{ном}}$.

При переходе ДВС к работе по частичным скоростным характеристикам вследствие уменьшения η_v и η_M с увеличением частоты вращения коленчатого вала среднее эффективное давление понижается, и тем интенсивнее, чем больше прикрыта дроссельная заслонка. При значительно прикрытой дроссельной заслонке $p_e = 0$, т.е. режим холостого хода наступает при частоте вращения коленчатого вала меньшей номинальной.

Из выражения эффективной мощности $N_e = k_1 \cdot p_e \cdot n$ следует, что мощность растет с повышением частоты вращения коленчатого вала только до тех пор, пока влияние увеличения n больше влияния уменьшения среднего эффективного давления (рисунок 3.5).

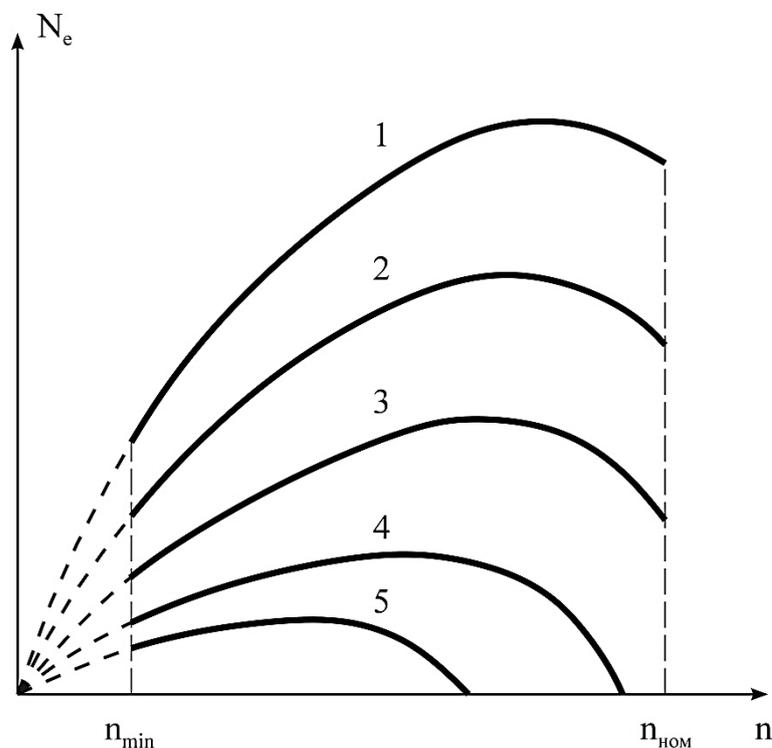


Рисунок 3.5 – Скоростные характеристики: 1 – внешняя; 2 – 5 – частичные

При дальнейшем повышении частоты вращения коленчатого вала среднее эффективное давление быстро уменьшается, в результате чего снижается и мощность ДВС. Следовательно, при каком-то значении n мощность имеет максимум. В бензиновых автомобильных ДВС это значение при работе по внешней скоростной характеристике обычно соответствует частоте вращения коленчатого вала, несколько меньшей номинальной.

Изменение эффективного к.п.д., как видно из выражения $\eta_e = \eta_i \cdot \eta_M$, при работе по скоростным характеристикам определяется индикаторным и механическим к.п.д. (рисунок 3.6). У ДВС без наддува в связи с рассмотренным выше характером изменения η_i и η_M эффективный к.п.д. η_e при работе по внешней характеристике имеет максимум. Частота вращения коленчатого вала, соответствующая максимальному значению коэффициента η_e , находится в интервале между значениями, соответствующими максимальному крутящему моменту и номинальной мощности.

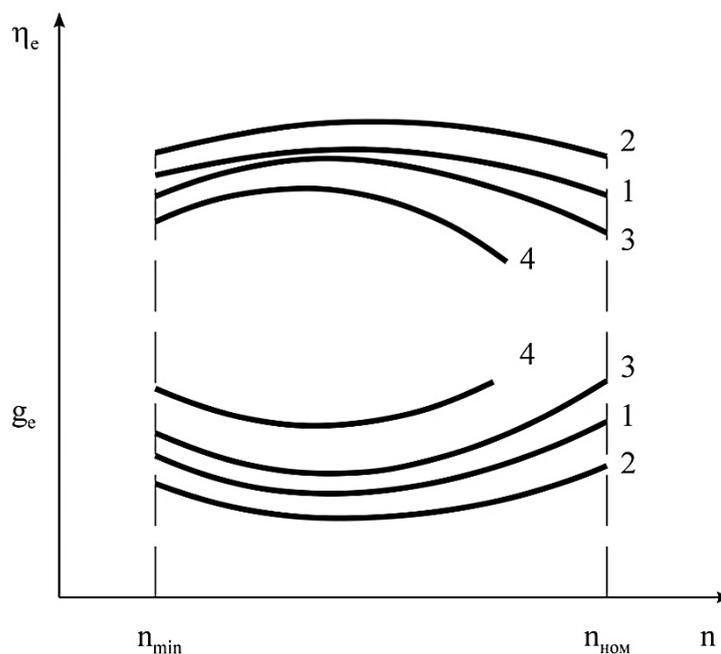


Рисунок 3.6 – Изменение η_e и g_e при работе ДВС по скоростным характеристикам: 1 – внешней; 2 – частичной, соответствующей экономичной работе; 3 и 4 – частичным

При работе ДВС по частичным характеристикам η_e обычно меньше, чем при работе по внешней характеристике, вследствие одновременного уменьшения η_i и η_M . Интенсивность падения η_e растет с прикрытием дроссельной заслонки.

Удельный эффективный расход топлива g_e при работе по скоростным характеристикам меняется в соответствии с изменением η_e , так как $g_e = \frac{k_2}{\eta_e}$. При работе бензинового ДВС по внешней скоростной характеристике удельный эффективный расход топлива сначала несколько уменьшается, а затем возрастает. Такое изменение g_e объясняется тем, что при уменьшении частоты вращения коленчатого вала ниже номинального значения увеличивается механический к.п.д. двигателя при постоянном индикаторном к.п.д. вследствие почти постоянного значения α . Поэтому эффективный к.п.д. двигателя растет, а удельный эффективный расход топлива уменьшается. В области малых частот вращения коленчатого вала смесеобразование ухудшается, что ведет к обогащению смеси, а количество теплоты, отводимой в систему охлаждения, возрастает, что уменьшает эффективный к.п.д. и увеличивает удельный эффективный расход топлива.

Часовой расход топлива G_T уменьшается с понижением частоты вращения коленчатого вала (рисунок 3.7) вследствие уменьшения частоты рабочих циклов. Одновременно понижается скорость смеси во впускной системе ДВС и уменьшаются потери давления. Все это приводит к более интенсивному снижению часового расхода топлива по мере уменьшения частоты вращения коленчатого вала.

При повышении частоты вращения коленчатого вала увеличиваются температура заряда (вследствие возрастания показателя политропы сжатия n_1), температура остаточных газов и интенсивность вихрей в камере сгорания. Это способствует уменьшению периода задержки воспламенения и скорости сгорания топлива. Однако общее сокращение необходимого для эффективного сгорания времени приводит к необходимости увеличения угла опережения зажигания Θ с возрастанием n (рисунок 3.8).

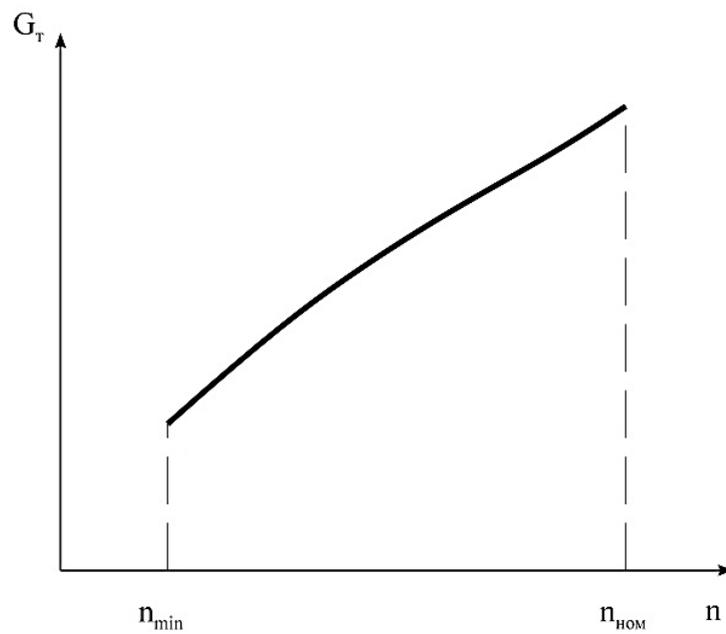


Рисунок 3.7 – Зависимость часового расхода топлива G_T от частоты вращения коленчатого вала двигателя n

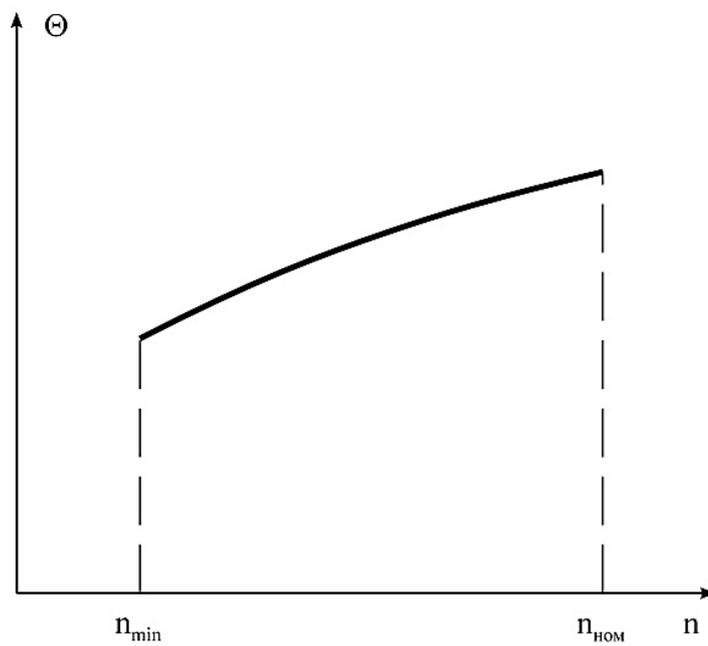


Рисунок 3.8 – Зависимость оптимального угла опережения зажигания Θ от частоты вращения коленчатого вала двигателя n

3.3 Методика проведения испытаний по снятию скоростной характеристики

Для снятия скоростных характеристик бензинового ДВС требуется следующая материально-техническая база:

- 1) испытательный моторный стенд с установленным на нем ДВС и оборудованный системами измерения параметров работы ДВС;
- 2) мотор-тестер для определения расхода воздуха и расхода топлива;
- 3) приборы для определения параметров окружающей среды (барометр для определения атмосферного давления, термометр для определения температуры окружающего воздуха).

При снятии скоростных характеристик бензиновых ДВС необходимо выполнение следующих условий:

- 1) положение дроссельной заслонки неизменное (определяется исходя из задания по лабораторной работе);
- 2) постоянный нормальный рабочий тепловой режим ДВС;
- 3) частота вращения коленчатого вала ДВС переменная, устанавливается исходя из задания по лабораторной работе путем изменения нагрузки на ДВС тормозным устройством.

Моторные испытания по снятию скоростных характеристик необходимо проводить в следующей последовательности:

- 1) проверить готовность ДВС к пуску и работоспособность измерительного оборудования;
- 2) запустить и прогреть ДВС до температуры охлаждающей жидкости $t_{ож} = (90 \pm 5) ^\circ\text{C}$ и температуры масла $t_{м} = (80 \pm 5) ^\circ\text{C}$;
- 3) ввести ДВС в режим работы, соответствующий началу снятия скоростной характеристики: положение дроссельной заслонки – заданное, частота вращения коленчатого вала – минимально устойчивая;
- 4) выдержать ДВС на установленном режиме работы не менее 1 мин;
- 5) произвести запись показаний всех измерительных устройств в протокол

испытаний (приложение В);

б) увеличить частоту вращения коленчатого вала на величину от 200 до 300 мин⁻¹ путем изменения регулировки тормозного устройства (разгрузить тормозное устройство);

7) выдержать ДВС на установленном режиме работы не менее 1 мин;

8) произвести запись показаний всех измерительных устройств в протокол испытаний.

Аналогично, увеличивая частоту вращения коленчатого вала путем разгрузки тормозного устройства с интервалом от 200 до 300 мин⁻¹ до частоты вращения коленчатого вала, превышающей на 10 % номинальную, произвести замеры показателей работы двигателя на всех остальных экспериментальных точках скоростной характеристики.

3.4 Задание по работе

1. На основании занесенных в протокол показаний измерительных приборов и устройств, произвести подсчет величин, характеризующих работу ДВС, и оценить погрешности измерений.

2. Построить графики скоростной характеристики: $M_e = f_1(n)$; $N_e = f_2(n)$; $G_T = f_3(n)$; $g_e = f_4(n)$; $G_e = f_5(n)$; $\alpha = f_6(n)$; $\eta_v = f_7(n)$.

3. Провести анализ графиков скоростной характеристики и сделать соответствующие выводы.

Полученные результаты оформляются на листах формата А4 в виде отчета, пример которого приведен в приложении Д. Отчет должен содержать название, цель и задачи работы, заполненный протокол испытаний, графическое представление полученных результатов, их анализ и основные выводы по работе. Отчет оформляется в соответствии с СТО 02069024.101–2015 «РАБОТЫ СТУДЕНЧЕСКИЕ. Общие требования и правила оформления».

3.5 Контрольные вопросы

1. Что понимается под скоростной характеристикой ДВС? Какие существуют виды скоростных характеристик?
2. Как изменяется среднее эффективное давление при работе ДВС по внешней и частичным скоростным характеристикам?
3. Как изменяются коэффициент наполнения и коэффициент избытка воздуха при работе ДВС по внешней и частичным скоростным характеристикам?
4. Какие показатели работы ДВС влияют на изменение механического к.п.д. при работе его по внешней и частичным скоростным характеристикам?
5. Как изменяется экономичность ДВС при работе его по внешней и частичным скоростным характеристикам?
6. Какая требуется материально-техническая база для снятия характеристики холостого хода ДВС?
7. В какой последовательности проводится снятие скоростных характеристик ДВС?

4 Лабораторная работа №4. Снятие нагрузочной характеристики бензинового ДВС

4.1 Общие положения

Целью работы является изучение методики снятия нагрузочной характеристики бензинового ДВС.

Задачами работы являются:

- получение представления о нагрузочной характеристике ДВС и о протекании рабочих процессов в ДВС при работе его на режиме нагрузочной характеристики;
- умение проведения испытаний по снятию нагрузочной характеристики ДВС;
- умение обработки полученных результатов испытаний и их анализ.

4.2 Общие сведения об изменении основных показателей ДВС при его работе по скоростным характеристикам

Нагрузочной характеристикой называется зависимость расхода топлива и других показателей работы ДВС от его эффективной мощности N_e или среднего эффективного давления p_e при заданной частоте вращения коленчатого вала. Нагрузка на ДВС регулируется путем изменения положения дроссельной заслонки и одновременного изменения регулировки тормозного устройства.

Анализ нагрузочных характеристик бензиновых двигателей (рисунок 4.1) показывает, что кривая изменения часового расхода G_T топлива по мере открытия дроссельной заслонки на режимах средних нагрузок почти пропорциональна мощности N_e до открытия дроссельной заслонки на величину от 85 до 90 %, после чего часовой расход топлива возрастает более интенсивно.

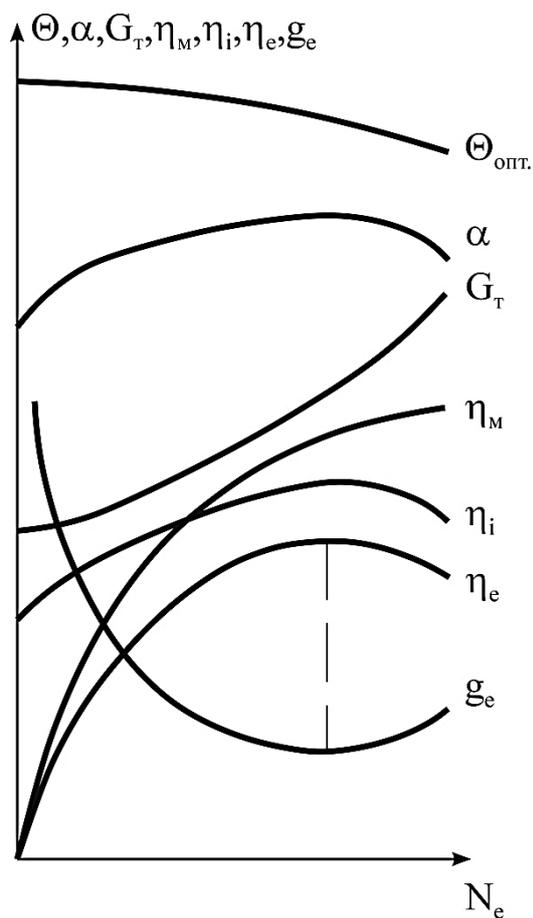


Рисунок 4.1 – Зависимость основных показателей работы ДВС от эффективной мощности N_e

Удельный эффективный расход топлива g_e при работе ДВС на режиме холостого хода равен бесконечности, так как $G_{T_{x.x.}} \neq 0$, а $N_{e_{x.x.}} = 0$. Далее, по мере увеличения нагрузки, g_e резко снижается с убывающей интенсивностью. В карбюраторном ДВС при включении экономайзера g_e снова возрастает (рисунок 4.1). У впрысковых ДВС наименьший расход топлива g_e обычно достигается при полном открытии дроссельной заслонки. Такой характер изменения g_e объясняется влиянием изменения индикаторного η_i и механического η_M к.п.д., поскольку известно, что:

$$g_e = \frac{c}{\eta_i \cdot \eta_M}, \quad (4.1)$$

где c – некоторая постоянная.

При работе ДВС на режиме холостого хода коэффициент избытка воздуха α составляет от 0,6 до 0,8. По мере открытия дроссельной заслонки при увеличении частоты вращения коленчатого вала α возрастает до значений от 1,05 до 1,2. Одновременно уменьшается количество остаточных газов до значений коэффициента остаточных газов γ_r от 0,05 до 0,08, увеличивается расход горючей смеси и уменьшаются относительные потери теплоты в окружающую среду. Все это в совокупности приводит к увеличению скорости сгорания и росту индикаторного к.п.д. η_i . Однако, при включении экономайзера обогащение горючей смеси α до значений от 0,85 до 0,95 вызывает значительное падение индикаторного к.п.д. η_i из-за недовыделения теплоты вследствие химической неполноты сгорания.

Мощность механических потерь N_M бензиновых ДВС при постоянной частоте вращения коленчатого вала практически не зависит от нагрузки, поэтому с увеличением нагрузки механический к.п.д. η_M возрастает согласно зависимости:

$$\eta_M = 1 - \frac{N_M}{N_e}. \quad (4.2)$$

Одновременный рост η_i и η_M приводит к уменьшению g_e с увеличением нагрузки.

Оптимальный угол опережения зажигания Θ с ростом нагрузки уменьшается, так как сокращается период задержки воспламенения смеси и возрастает скорость распространения фронта пламени благодаря большему подогреву смеси и снижению содержания остаточных газов.

Характер изменения эффективного к.п.д. η_e по нагрузочной характеристике

следует из выражения $\eta_e = \frac{c_1}{g_e}$, где $c_1 = const$.

4.3 Методика проведения испытаний по снятию нагрузочной характеристики

Для снятия нагрузочной характеристики бензинового ДВС требуется следующая материально-техническая база:

- 1) испытательный моторный стенд с установленным на нем ДВС и оборудованный системами измерения параметров работы ДВС;
- 2) мотор-тестер для определения расхода воздуха и расхода топлива;
- 3) приборы для определения параметров окружающей среды (барометр для определения атмосферного давления, термометр для определения температуры окружающего воздуха).

При снятии нагрузочной характеристики бензинового ДВС необходимо выполнение следующих условий:

- 1) частота вращения коленчатого вала постоянная;
- 2) постоянный нормальный рабочий тепловой режим ДВС;
- 3) нагрузка на ДВС переменная и регулируется путем изменения положения дроссельной заслонки и регулировкой тормозного момента на тормозном устройстве при условии поддержания постоянной частоты вращения коленчатого вала $n = const$.

Моторные испытания по снятию нагрузочной характеристики необходимо проводить в следующей последовательности:

- 1) проверить готовность ДВС к пуску и работоспособность измерительного оборудования;
- 2) запустить и прогреть ДВС до температуры охлаждающей жидкости $t_{ож} = (90 \pm 5) ^\circ\text{C}$ и температуры масла $t_{м} = (80 \pm 5) ^\circ\text{C}$;
- 3) ввести ДВС в режим работы, соответствующий началу снятия нагрузочной характеристики: частота вращения – заданная, нагрузка на тормозном устройстве

отсутствует, положение дроссельной заслонки – обеспечивающее получение заданной частоты вращения коленчатого вала;

4) выдержать ДВС на установленном режиме работы не менее 1 мин;

5) произвести запись показаний всех измерительных устройств в протокол испытаний (приложение Г);

6) несколько увеличить открытие дроссельной заслонки, установить заданную частоту вращения коленчатого вала тормозным устройством;

7) выдержать ДВС на установленном режиме работы не менее 1 мин;

8) произвести запись показаний всех измерительных устройств в протокол испытаний.

Аналогичным образом, постепенно увеличивая открытие дроссельной заслонки и регулируя частоту вращения коленчатого вала тормозным устройством, снять все остальные экспериментальные точки нагрузочной характеристики до полного открытия дроссельной заслонки. Во время проведения моторных испытаний следить за стабильностью теплового режима работы ДВС.

4.4 Задание по работе

1. На основании занесенных в протокол показаний измерительных приборов и устройств, произвести подсчет величин, характеризующих работу ДВС, и оценить погрешности измерений.

2. Построить графики нагрузочной характеристики: $G_T = f_1(N_e)$, $g_e = f_2(N_e)$, $\alpha = f_3(N_e)$, $\eta_e = f_4(N_e)$.

3. Провести анализ графиков нагрузочной характеристики и сделать соответствующие выводы.

Полученные результаты заносятся в отчет (приложение Д), который должен содержать название, цель и задачи работы, заполненный протокол испытаний, графическое представление полученных результатов, их анализ и основные выводы по работе. Отчет оформляется в соответствии с СТО 02069024.101–2015 «РАБОТЫ

4.5 Контрольные вопросы

1. Что понимается под нагрузочной характеристикой ДВС?
2. Как изменяется расход топлива при работе ДВС по нагрузочной характеристике?
3. Какие факторы влияют на изменение механического к.п.д.?
4. Каковы условия снятия нагрузочной характеристики?
5. По какой методике проводится снятие нагрузочной характеристики?

Заключение

В данных методических указаниях приведен комплекс лабораторных работ, предназначенный для более углубленного изучения дисциплины «Транспортная энергетика» и понимания на практике протекания процессов в ДВС автомобилей.

Рассмотрены основные положения и правила проведения стендовых испытаний, установленные государственными стандартами. Приведены основные показатели, характеризующие работу ДВС, методики их определения и необходимое для этого оборудование.

При проведении испытаний используется испытательный моторный стенд, выполненный на базе обкаточно-тормозного стенда КИ-5543.

В тексте методических указаний приведена информация о рабочих процессах в ДВС на различных режимах, а также методики определения показателей работы ДВС на данных режимах.

После проведения моторных испытаний в соответствии с заданием по лабораторной работе студент должен оформить полученные результаты в виде отчета, который должен содержать название работы, цель работы, протоколы испытаний, расчетные формулы, полученные результаты испытаний, представленные в виде графических зависимостей, а также анализ данных зависимостей и обобщающие выводы по работе.

Анализ полученных результатов дается в развернутом виде – необходимо дать описание протекания рассматриваемого процесса, сопоставить полученные данные с известными теоретическими положениями или эмпирическими справочными данными, обобщить результаты исследований в виде лаконичных выводов по работе, подготовить ответы на вопросы, приводимые в методических указаниях к выполнению лабораторных работ.

Список использованных источников

1. ГОСТ 14846-81. Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний.- Взамен ГОСТ 14846-69 ; введ. 1981–06–24. – М. : Изд-во стандартов, 2003. – 43 с.
2. Луканин, В.Н. Двигатели внутреннего сгорания. В 3 кн. Кн. 1. Теория рабочих процессов: учебник для ВУЗов / В.Н. Луканин [и др.] ; под ред. В.Н. Луканина. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2005. – 479 с.
3. Туревский, И.С. Теория двигателя: учеб. пособие / И.С. Туревский. – М.: Высш. шк., 2005. – 238 с.
4. Райков, И. Я. Испытания двигателей внутреннего сгорания: учеб. для вузов / И. Я. Райков. - М. : Высш. шк., 1975. - 320 с. - Библиогр.: с. 315-317.
5. Дмитриевский, А.В. Автомобильные бензиновые двигатели / А.В. Дмитриевский. – М.: ООО «Издательство АСТ»: ООО «Издательство Астрель», 2005. – 127 с.
6. Суркин, В.И. Основы теории и расчета автотракторных двигателей. Курс лекций: учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2013. – 304 с.
7. Хорош, А.И. Дизельные двигатели транспортных и технологических машин: учебное пособие для вузов / А.И. Хорош, И.А. Хорош. – СПб.: Издательство «Лань», 2012. – 704 с.
8. Прокопенко, Н.И. Экспериментальные исследования двигателей внутреннего сгорания: учебное пособие для вузов / Н.И. Прокопенко. – СПб.: Издательство «Лань», 2010. – 592 с.

Приложение А (справочное)

Таблица А.1 – Основные параметры автомобильных двигателей отечественного и зарубежного производства

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Модели двигателя	Тип	Расположение цилиндров и число	Диаметр цилиндра x ход поршня, мм	Рабочий объем, дм ³	Степень сжатия	Номинальная мощность, кВт	Номинальная частота вращения, мин ⁻¹	Максимальный крутящий момент, Н·м	Частота вращения при M _{кр} max, мин ⁻¹	Минимальный удельный расход топлива, г/кВт·ч	Масса двигателя, кг	Топливо
MeM3-968H	БВ	V4	76x66	1,197	7,2	30,9	4400	74,5	2700 – 2900	324	100	АИ-80
MeM3-245.10	БЖ	P4	72x67	1,091	9,5	39	5300- 5500	80,4	3000 – 3500	286	100	АИ-92
BA3-2106	БЖ	P4	79x80	1,568	8,5	55,5	5400	116	3000	300	117	АИ-92
BA3-2108	БЖ	P4	76x71	1,288	9,9	47	5600	94	3500	279	95	АИ-92
412Э	БЖ	P4	82x70	1,48	8,5	55,2	5800	107,9	3000-3800	285	144	АИ-92
3M3-24Д	БЖ	P4	92x92	2,445	8,2	68,0	4500	180,4	2500	295	180	АИ-92
3M3-4024.10	БЖ	P4	92x92	2,445	8,2	81,0	4500	196	2400-2600	279	180	АИ-92
3M3-505.10	БЖ	V8	100x88	5,53	8,5	143,0	4000	397	2000-2500	265	265	АИ-92
3M3-53-11	БЖ	V8	92x80	4,25	7,0	88,3	3200	284,4	2000-2500	300	262	АИ-80
ЗИЛ-508.10	БЖ	V8	100x95	6,0	7,1	110	3200	402	1800-2000	299	490	АИ-80
ЗИЛ-114	БЖ	V8	108x95	7,0	9,3	202,3	4000	559	2700-2900	292,4	265	АИ-95
ЗИЛ-645	ДЖ	V8	110x115	8,74	18,5	136	2800	509	1400-1600	217	650	ДТ
ЯМЗ-642.10	ДЖ	V6	120x120	8,14	17,0	117	2600	480	1600-1800	220	590	ДТ
КамАЗ-740.10	ДЖ	V8	120x120	10,85	17,0	154	2600	637	1600-1800	220	590	ДТ
КамАЗ-7403.10	ДЖТ	V8	120x120	10,85	16,0	191	2600	785	1600-1800	217,6	780	ДТ
ЯМЗ-236М	ДЖ	V6	130x140	11,15	16,5	132	2100	677	1600	216	890	ДТ
ЯМЗ-238М	ДЖ	V8	130x140	14,86	16,5	176	2100	883	1450-1600	216	1075	ДТ
ЯМЗ-238Б	ДЖТ	V8	130x140	14,85	15,2	220	2000	1180	1200-1400	204	1130	ДТ

Продолжение таблицы А.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ЯМЗ-240 ПМ	ДЖТ	V12	130x140	22,3	15,2	309	2100	1491	1500-1600	220	1770	ДТ
STEYR WD 615.42	ДЖТ	P6	126x130	9,726	15,5	200	2200	1100	1200-1400	-	-	ДТ
STEYR WD 815.72	ДЖТ	P8	126x130	11,97	16	306	2200	1650	1300-1500	-	-	ДТ
Volkswagen 1,8J90	БЖ	P4	81x86,4	1,781	9	66	5500	-	-	-	-	АИ-95
Ford Granada EFI	БЖ	V6	93x72	2,935	9,7	143	5750	275	-	-	-	АИ-95
Audi V8	БЖ	V8	81x86,4	3,56	10,6	184	5600	340	4000	-	-	АИ-95
Toyota 1G-GTE	БЖ	P6	75x75	1,988	8,5	136	6200	240	3200	-	-	АИ-95
Volvo B230ET	БЖ	P4	96x80	2,316	9	134	5800	260	3400	-	-	АИ-95
BMW-525d	ДЖ	P6	80x81	2,497	22	63	4600	152	2500	-	-	ДТ
Daimler-Benz OM603	ДЖ	P6	87x84	2,443	22	80	4600	185	2800	-	-	ДТ
Д12А	ДЖ	V12	150x180	38,8	14,5	220	1500	1475	1100-1200	217	-	ДТ
AVIA 712.18	ДЖ	P4	102x110	3,596	17,5	61	3000	213	1800	-	368	ДТ
RAVA-MAN D2156 HM6U	ДЖ	P6	121x150	10,35	17	142	2100	697	1300	-	980	ДТ
RAVA-MAN D2156 HM6UT	ДЖТ	P6	121x150	10,35	17	162	2100	815	1300	-	980	ДТ
Mercedes-Benz OM422 482.9	ДЖ	V8	128x142	14,618	16,5	206	2300	1040	1200	-	900	ДТ
Mercedes-Benz OM442A	ДЖТ	V8	128x142	14,618	16,3	269	2100	1619	1500	-	-	ДТ
MIDR 06.35.40 H	ДЖТ	P6	135x140	12,0	16,3	283	2000	1700	1200	-	-	ДТ
ТД-122FH	ДЖТО	P6	130x150	12,0	15,0	262	1900	1570	1200	-	-	ДТ
TAM F8L413F	ДЖ	V8	125x130	12,763	17	188	2500	817	1400-1600	-	820	ДТ
MS640	ДЖТО	P6	135x150	11,94	-	235	2000	1290	1250	-	-	ДТ
IVECO-8210.42	ДЖТО	P6	137x156	13,798	17,1	2775	1800	1800	1000	-	-	ДТ
T3A-929-13	ДВ	V10	120x140	15,825	16,5	210	2200	1030	1400	-	-	ДТ
Deutz BF8L513	ДВТ	V8	125x130	12,763	-	225	2300	1120	1400	-	-	ДТ

Условные обозначения: Б - бензиновый; Д - дизельный; Ж - жидкостное охлаждение; В - воздушное охлаждение; Т - турбонадув; ТО - турбонадув с промежуточным охлаждением; Р - рядное расположение цилиндров; V - V-образное

Приложение Б
(обязательное)

Таблица Б.1 - Протокол проведения испытаний

		Частота вращения коленчатого вала, мин ⁻¹											
xx		1000		1300		1600		1900		2200		2500	
$\alpha_{др}, ^\circ$	нач.	нач.		нач.		нач.		нач.		нач.		нач.	
	$G, л/ч$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
CO													
CH													

Примечание: $\alpha_{др}$ – угол открытия дроссельной заслонки, °;
G – мгновенный расход топлива во время одного замера ($\Delta T=30$ с), определяемый мотор-тестером, л/ч.

Приложение В (обязательное)

Таблица В.1 – Протокол проведения испытаний

		Частота вращения коленчатого вала, мин ⁻¹					
		1600	1800	2000	2200	2400	2600
P _y , кгс	нач.						
	1		нач.	нач.	нач.	нач.	нач.
	2		1	1	1	1	1
	3		2	2	2	2	2
G, л/ч			3	3	3	3	3
CO							
CH							

Пр и м е ч а н и е: $\alpha_{\text{реост}}$ – угол опускания пластин реостата в раствор, °. При проведении испытаний составляет $\alpha_{\text{реост}} = 40^\circ$

G – мгновенный расход топлива во время одного замера ($\Delta T = 30$ с), определяемый мотор-тестером, л/ч.

Приложение Г (обязательное)

Таблица Г.1 – Протокол проведения испытаний

$\alpha_{др}, ^\circ$	5°			20°			35°			50°			65°			80°		
	нач.			нач.			нач.			нач.			нач.			нач.		
P_{y3} , кгс	-																	
G, л/ч	1			1			1			1			1			1		
	2			2			2			2			2			2		
	3			3			3			3			3			3		
CO																		
CH																		

Пр и м е ч а н и е: $\alpha_{др}$ – угол открытия дроссельной заслонки, °;
 G – мгновенный расход топлива за время одного замера ($\Delta T=30$ с), определяемый мотор-тестером, л/ч.
 Частота вращения коленчатого вала при испытаниях устанавливается $n=2500$ мин⁻¹.

