

УДК 621.4 : 629.114.2
ББК 31.365 я 7
К 27

Одобрено методической комиссией факультета механизации сельского хозяйства
27.02.2007 г. и рекомендовано к изданию научно-методическим советом БГСХА
28.02.2007 г., протокол №6

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
1. Основные термины и определения	4
2. Методы проведения испытаний двигателей внутреннего сгорания	7
2.1. Виды испытаний	7
2.2. Проведение испытаний	11
2.3. Требования к измерительным средствам и точности измерений	13
2.4. Обработка экспериментальных данных, получаемых при испытаниях	
ДВС	15
2.5. Формулы подсчетов основных показателей работы двигателя	17
3. Характеристики ДВС	18
3.1. Скоростные характеристики	19
3.2. Нагрузочные характеристики	23
3.3. Регулировочные характеристики	25
Литература	30

Карташевич А. Н., Рудашко А. А.

К 27 Испытания двигателей внутреннего сгорания: Лекция. – Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия, 2007. 31 с.

Изложены основы испытаний автомобильных и тракторных двигателей внутреннего сгорания. Рассмотрены назначение и виды испытаний, методы их проведения, описаны основные характеристики двигателей, получаемых при испытаниях.

Для студентов специальностей 1-74 06 01 – техническое обеспечение сельскохозяйственного производства, 1-74 06 06 – материально-техническое обеспечение АПК, 1-74 06 04 – техническое обеспечение мелиоративных и водохозяйственных работ.

Рисунков 9. Библиогр. 7.

Рецензенты: доктор техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Двигатели внутреннего сгорания» БНТУ Г. М. КУХАРЕНОК, канд. техн. наук, зав. кафедрой «ТО и ремонт машин» БГСХА А. К. ТРУБИЛОВ.

УДК 621.4 : 629.114.2
ББК 31.365 я 7

© А. Н. Карташевич, А. А. Рудашко, 2007
© Учреждение образования
«Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия», 2007

ВВЕДЕНИЕ

Стремление повысить эффективность современных автомобилей и тракторов, снизить токсичность отработавших газов и улучшить основные эксплуатационные свойства машин требует дальнейшего совершенствования существующих двигателей внутреннего сгорания (ДВС).

Одновременно с развитием двигателей непрерывно обновляются как методы, так и техника испытаний. Широкое применение находят электронные приборы, вычислительная техника и различные автоматические устройства, уменьшающие затраты времени на проведение испытаний и обработку получаемых результатов.

Работа автотракторных двигателей протекает в условиях взаимно независимого изменения мощности и частоты вращения. На любом из скоростных режимов нагрузка может изменяться от нуля до максимального значения. При этом важно установить количественные показатели рабочего процесса двигателя и закономерности изменения этих показателей.

Зависимости мощностных, экономических, температурных, экологических, износных и других показателей, определяемых при испытании двигателя, от тех или иных параметров обычно представляют графически. Подобного рода связи одних параметров с другими называются характеристиками двигателя. К основным показателям работы двигателя относятся мощность, частота вращения, крутящий момент или среднее эффективное давление, а также часовой и удельный расходы топлива.

Назначение характеристики заключается в выявлении зависимости какого-либо основного показателя (показателей) работы двигателя от другого показателя или фактора. Характеристики определяют при испытаниях двигателей, программа которых зависит от поставленной задачи, и используют для подбора оптимальных значений отдельных регулировочных параметров; контроля качества вновь выпускаемых и отремонтированных двигателей; определения конструктивных, динамических свойств и экономических показателей как новых, так и модернизированных двигателей.

Характеристики двигателей дают также исходный материал для изучения динамических и экономических качеств тракторов и автомобилей. Требуемые параметры двигателя оцениваются по его регулярной характеристике. Для подбора оптимальных регулировок двигателя изучают его регулировочные характеристики.

Опытные данные для построения характеристик получают в условиях установившегося режима работы. Испытываемые двигатели должны быть укомплектованы в соответствии с требованиями к определению тех или иных характеристик, иметь нормальное техническое состояние и эксплуатационные регулировки.

Перед изучением характеристик двигателей следует рассмотреть обозначения основных терминов, а также виды и содержание испытаний двигателей.

1. ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В соответствии с ГОСТ 18509-88 приняты следующие определения и обозначения основных показателей работы тракторных и комбайновых дизелей. Назначаемая предприятием-изготовителем эффективная мощность дизеля при номинальной частоте вращения, положении агрегатов управления регулятора частоты вращения, соответствующем полной подаче топлива, стандартных атмосферных условиях, температуре и плотности топлива в зависимости от комплектации дизеля, называется соответственно **номинальной мощностью** и обозначается $N_{ен}$, или **эксплуатационной мощностью** и обозначается $N_{эз}$. При определении $N_{ен}$ дизель, установленный на испытательном стенде, должен быть без вентилятора, воздухоочистителя, глушителей шума выпуска и впуска, искрогасителя, выпускной трубы и нейтрализатора отработавших газов, а также без оборудования, потребляющего мощность дизеля, но его не обслуживающего. При определении $N_{эз}$ дизель, установленный на испытательном стенде, должен быть укомплектован всем оборудованием, его обслуживающим, независимо от того, установлено оно на дизеле или тракторе, сельскохозяйственном комбайне или другой сельскохозяйственной машине, для которой этот дизель предназначен; оборудование, не обслуживающее дизель, но потребляющее его мощность, должно быть отключено или снято, а в том случае, если это не предусмотрено конструкцией, должно работать без нагрузки.

Частота вращения коленчатого вала дизеля, при которой предприятием-изготовителем дизеля назначается номинальная и эксплуатационные мощности, называется **номинальной частотой вращения** и обозначается n_n . Наибольшее значение эффективной мощности дизеля, установленного на испытательном стенде, при положении органов управления регулятора частоты вращения, соответствующем полной

подаче топлива, называется **максимальной мощностью** и обозначается $N_{e\max}$.

Эффективная мощность установленного на испытательном стенде дизеля при положении органов управления регулятора частоты вращения, соответствующем полной подаче топлива, называется **мощностью нетто** N_e^{net} (рис. 1). При определении N_e^{net} дизель должен быть укомплектован всем оборудованием, его обслуживающим (в том числе радиатором системы охлаждения), независимо от того установлено оно на дизеле или тракторе (комбайне, другой сельскохозяйственной машине), для которого этот дизель предназначен. Оборудование, не обслуживающее дизель, должно быть отключено или снято, а в случае, если это не предусмотрено конструкцией, должно работать без нагрузки; капот должен быть снят.

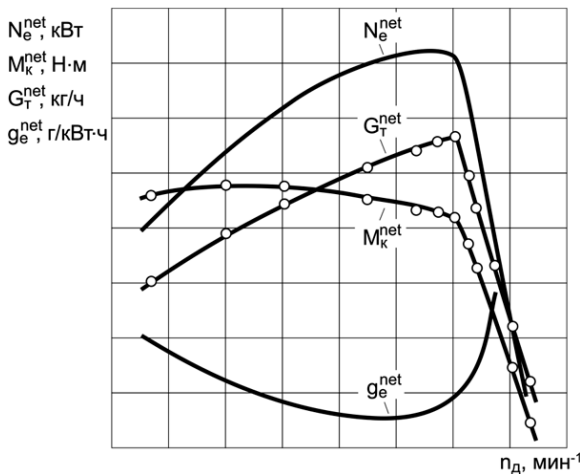


Рис. 1. Скоростная характеристика дизеля нетто.

В соответствии с ГОСТ 14846-81 эффективная мощность, снятая с коленчатого вала (или его эквивалента) двигателя, изготовленного, отрегулированного и обкатанного в соответствии с технической документацией, при полностью открытом дросселе у двигателя с искровым зажиганием и при полной подаче топлива у дизеля (в зависимости от их укомплектованности по обязательным перечням серийным оборудованием и устройствами) называется **мощностью нетто** N_e^{net} или **мощностью брутто** $N_e^{\text{б}}$.

Мощность нетто при давлении сухого воздуха 99 кПа и температуре окружающего воздуха 25°C называется **приведенной мощностью нетто** и обозначается N_{e0}^{net} .

Наибольшее значение мощности нетто, полученное во время испытаний, называется **максимальной мощностью нетто** и обозначается $N_{\text{емах}}^{\text{нет}}$.

Установленный техническими условиями на двигатель максимальный крутящий момент при указываемой частоте вращения коленчатого вала (или его эквивалента) двигателя при полностью открытом дросселе у двигателя с искровым зажиганием и при полной подаче топлива у дизеля в зависимости от их укомплектованности по обязательным перечням серийным оборудованием и устройствами называется **максимальным крутящим моментом нетто** и обозначается $M_{\text{кмак}}^{\text{нет}}$, или **максимальным крутящим моментом брутто** и обозначается $M_{\text{кмак}}^0$.

Частота вращения коленчатого вала, установленная техническими условиями на двигатель для номинальной мощности, называется **номинальной частотой вращения** и обозначается $n_{\text{н}}$. Наименьшая частота вращения коленчатого вала при полностью открытом дросселе у двигателя с искровым зажиганием и при полной подаче топлива у дизеля, при которой двигатель работает устойчиво не менее 10 мин, называется **минимальной рабочей частотой вращения** и обозначается $n_{\text{мин}}$.

Наибольшая частота вращения коленчатого вала при полностью открытом дросселе у двигателя с искровым зажиганием и при полной подаче топлива у дизеля, установленная в технических условиях на двигатель, называется **максимальной рабочей частотой вращения** и обозначается $n_{\text{мак}}$.

Частота вращения коленчатого вала, при которой двигатель развивает максимальный крутящий момент, называется **частотой вращения, соответствующей максимальному крутящему моменту двигателя**, и обозначается $n_{\text{м}}$.

Наибольшая частота вращения холостого хода, установленная в технических условиях на двигатель, называется **максимальной частотой вращения холостого хода** и обозначается $n_{\text{хмак}}$.

Минимальная частота вращения холостого хода, установленная в технических условиях на двигатель и обеспечивающая устойчивую работу двигателя на холостом ходу не менее 10 мин, называется **минимальной частотой вращения холостого хода** и обозначается $n_{\text{хмин}}$.

Номинальной мощностью нетто ($N_{\text{сн}}^{\text{нет}}$) называется установленная техническими условиями на двигатель мощность нетто при работе двигателя с номинальной частотой вращения.

Номинальной мощностью брутто ($N_{\text{сн}}^0$) называется установленная техническими условиями на двигатель мощность брутто при работе двигателя с номинальной частотой вращения.

Масса топлива, расходуемого в 1 ч на заданном режиме работы двигателя, называется **часовым расходом топлива** и обозначается $G_{\text{р}}$.

Масса топлива, расходуемого в двигателе в 1 ч, отнесенная к соответствующей приведенной мощности, развиваемой двигателем, называется **удельным расходом топлива** и обозначается g_e .

2. МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Испытания составляют заключительный этап сложного процесса создания и совершенствования двигателей внутреннего сгорания.

Проектирование двигателя начинают с определения основных его размеров, т. е. с выбора диаметра цилиндра и хода поршня. Учитывая сложившиеся статистические нормы на проектирование данного типа двигателей и результаты теплового расчета, определяют также размеры других элементов конструкции и выполняют общую ее компоновку. На последующем этапе проводят динамический расчет, находят величины нагрузок на основные элементы разрабатываемой конструкции и уточняют их размеры путем расчета на износ и усталостную прочность. Расчетным путем определяют также размеры всех вспомогательных систем двигателя.

Однако действительные нагрузки на элементы создаваемой конструкции и общая эффективность ее могут быть определены только в результате натурных испытаний комплектного двигателя, его механизмов, систем и отдельных деталей. Как правило, объявляемые мощность, экономичность, токсичность и другие оценочные показатели двигателя, его надежность и долговечность устанавливают путем испытаний в стендовых и эксплуатационных условиях.

Различным видам испытаний в этой связи подвергают все вновь создаваемые, модернизируемые и серийные двигатели тракторов и автомобилей. При этом каждый вид испытаний проводят со вполне определенной целью, например для изучения процессов в механизмах и системах, выбора и уточнения регулировок, подбор топлив и масел, выполнения поисковых и других специализированных исследований.

2.1. Виды испытаний

В зависимости от назначения различают испытания: исследовательские, доводочные, граничные, приемочные (государственные), контрольные, прямо-сдаточные и эксплуатационные. Сообразно с характером испытаний их разделяют на две большие группы: научно-исследовательские и типовые, причем к типовым относят испытания, регламентируемые ГОСТами на испытания двигателей.

Программы научно-исследовательских, доводочных и граничных испытаний не регламентируются стандартами и устанавливаются

предприятием-изготовителем двигателя или организацией, проводящей испытания.

Содержание периодических и приемочных испытаний автомобильных поршневых и роторно-поршневых двигателей внутреннего сгорания регламентированы ГОСТ 14846-81 «Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний».

Содержание приемо-сдаточных, предъявительских, периодических кратковременных, периодических длительных и типовых испытаний тракторных и комбайновых дизелей регламентировано ГОСТ 18509-88 «Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний».

Научно-исследовательские испытания проводят с целью совершенствования существующих двигателей, перехода на иную компоновку или тип двигателя, при разработке принципиально новых силовых агрегатов, отдельных систем, узлов и деталей, а также в случаях апробирования новых конструктивных материалов, износостойких покрытий, при изменении условий работы двигателя, его форсировании, переводе на другие виды топлив, смазок и т. д.

Научно-исследовательские испытания проводят как в стендовых, так и в эксплуатационных условиях в полном соответствии с детально разработанной методикой. В методике четко формулируются цели и задачи исследования, фиксируются исходные параметры испытуемого объекта, обосновывается выбор испытательной установки и необходимой аппаратуры. В отдельных случаях проводят предварительную теоретическую разработку исследуемого вопроса.

Результаты таких испытаний используют для уточнения методов расчета элементов, механизмов и систем двигателя или выбора для них оптимальных вариантов конструкции. При необходимости и в интересах экономии средств, уменьшения объема работ и повышения точности результатов прибегают к методам моделирования, проводят испытания на безмоторных установках, одноцилиндровых отсеках двигателей и т. д.

Научные исследования ведут лаборатории конструкторско-экспериментальных отделов заводов-изготовителей, специализированные отраслевые научно-исследовательские институты или конструкторские бюро и лаборатории соответствующих высших учебных заведений.

Доводочные испытания проходят все вновь создаваемые или модернизируемые двигатели, отдельные их механизмы и системы. Цель испытаний состоит в проверке соответствия выбранных размеров двигателя и основных его оценочных параметров расчетным, выявления истинного взаимовлияния отдельных систем на развернутом двигателе, доводке двигателя в целом и всех его элементов до уровня требований, установленных техническим заданием на проектирование. Доводочные испытания отдельных систем часто носят характер исследовательских испытаний.

При доводочных испытаниях проверяют правильность выбора конструкционных материалов и технологии изготовления деталей в связи с требованиями прочности, надежности или безотказности и долговечности построенного объекта. Испытания проводят в лабораторных и, как правило, эксплуатационных условиях на шасси, для которого предназначен двигатель. При этом выявляют фактический моторесурс двигателя, уточняют регулировки систем и определяют его эксплуатационные свойства, как-то: расход топлива и масла, приемистость, легкость пуска в холодном и горячем состояниях, устойчивость работы в различных условиях (отсутствие провалов при разгонах и т. д.), токсичность, дымность и другие показатели.

Доводочные испытания планирует завод-производитель перед ведомственными (заводскими), междуведомственными и государственными испытаниями. По результатам доводочных испытаний завод вносит изменения в последующую серию опытных образцов создаваемого двигателя.

Граничные испытания проводят с целью определения зависимостей между предельными значениями параметров дизелей и режимов эксплуатации.

Приемочные испытания двигателей новых и модернизированных конструкций проводят после завершения всех доводочных работ, включая регулировочные испытания. Двигатели, предъявляемые к приемочным (государственным) испытаниям, должны соответствовать чертежам, иметь техническую характеристику (паспорт) и пройти предварительную обкатку по программе завода-изготовителя.

Перед началом испытаний двигатель разбирают, проводят установленный ГОСТом микрометраж его основных деталей, собирают и обкатывают в течение 5...10 ч. Определяют наибольшие габариты комплектного двигателя, его массу, заправочные емкости систем охлаждения и смазки.

В процессе испытаний снимают характеристики с целью определения мощностных и экономических показателей, минимальных частот вращения вала под нагрузкой и на холостом ходу, расхода топлива на холостом ходу, механического КПД и равномерности работы цилиндров. Определяют также устойчивость работы двигателя, его пусковые качества, токсичность и надежность.

Мощностные и экономические показатели определяют при полных и частичных нагрузках. Скоростные характеристики для бензиновых двигателей, снабженных ограничителем оборотов вала, снимают с включенным и выключенным ограничителем. Нагрузочные характеристики снимают не менее чем на трех частотах вращения вала, включая обороты, соответствующие $M_{к\max}$. При наличии всережимного регулятора регуляторные характеристики определяют для тракторных двига-

телей при $n_{\text{хmax}}$ и $(0,85 \dots 0,7) n_{\text{хmax}}$, а для автомобильных – дополнительно при $0,5 n_{\text{хmax}}$.

Испытания на надежность (безотказность) регламентируются ГОСТами и состоят из последовательно повторяющихся циклов – трехчасовых для автомобильных и четырехчасовых для тракторных двигателей.

В процессе испытаний на надежность строго учитывают расход топлива и масла, а технический уход за двигателем проводит согласно заводской инструкции по эксплуатации. В протоколе испытаний фиксируют все замеченные неполадки в работе двигателя, замену и ремонт отдельных деталей, узлов.

По данным испытаний на определение мощностных и экономических показателей и результатам микрометража, проводимого перед началом и по окончании испытаний на надежность, определяют износ основных деталей и выявляют стабильность параметров двигателя.

Двигатель считается не выдержавшим испытаний на безотказность (надежность) в случае поломок, аварийных заеданий или задиrow и опасных стуков, для устранения которых требуется разборка и ремонт или замена основных деталей двигателя или его агрегатов в процессе испытаний или по окончании их, а также вследствие снижения мощности и ухудшения экономичности более чем на 5% от первоначально замеренных, угара масла, превышающего нормы завода-изготовителя, или снижения давления масла против установленного нижнего предела и повышенного износа деталей. Новые автомобильные и тракторные двигатели не должны потреблять более 1% масла от расхода топлива.

Контрольные испытания серийных двигателей проводят в комплексе с генератором, воздухоочистителем и другими агрегатами, необходимыми для работы их в условиях эксплуатации, но без вентилятора, глушителя шума выпуска и оборудования, предназначенного для обслуживания шасси (компрессора и т. д.), ГОСТ 18508-88 разделяет контрольные испытания на периодические кратковременные и длительные. ГОСТ 14846-81 не предусматривает такого деления, но в случае необходимости проверки качества изготовления и сборки серийных двигателей допускает испытания на безотказность по описанной выше программе.

Двигатели, поступающие на контрольные испытания, должны соответствовать техническим условиям и иметь документы о приемке ОТК завода-изготовителя. Периодичность этих испытаний определяется техническими условиями.

Кратковременные контрольные испытания серийных двигателей проводят с целью проверки соответствия технико-экономических показателей их утвержденным техническим условиям. При испытании определяют мощностные и экономические показатели путем снятия скоростных и нагрузочных характеристик для автомобильных бензи-

новых двигателей и регуляторной характеристики для тракторных и автомобильных дизелей. Определяют степень неравномерности регулятора, равномерность работы цилиндров, механический КПД, расход топлива на минимальной частоте холостого хода и угар масла.

Длительные контрольные испытания серийных двигателей проводят с целью проверки качества изготовления двигателей и одновременно установления соответствия их показателей техническим условиям. Кроме выполнения программы кратковременных испытаний при длительных контрольных испытаниях определяют устойчивость работы двигателя, его пусковые качества, токсичность и надежность с обязательной разборкой двигателя для повторного микрометража основных деталей по ГОСТу. Перед повторным определением мощностных и экономических показателей допускается удаление нагара с поверхностей камер сгорания, прочистка сопловых отверстий форсунок (в дизелях) и притирка клапанов.

Считается, что двигатель не выдержал контрольных испытаний, если оценочные показатели его не соответствуют утвержденной технической характеристике или в процессе работы обнаружены дефекты, устранение которых связано с заменой основных деталей.

Приемо-сдаточные испытания проходят все серийные двигатели, выходящие с завода. Испытания проводят на испытательной станции моторного цеха, куда двигатели поступают непосредственно со сборки. Двигатели устанавливают на стенды, подключают к общим коммуникациям станции и обкатывают по установленной программе. Если в процессе обкатки и последующей контрольной проверки двигателя обнаруживают неполадки, то его направляют на устранение дефектов, а затем повторно испытывают.

Эксплуатационные испытания двигателей проводят специализированные научно-исследовательские организации и соответствующие лаборатории заводов-изготовителей с целью определения износа деталей двигателя и выявления его долговечности в различных климатических и дорожных условиях, а также уточнения эксплуатационных регулировок и норм расхода горюче-смазочных материалов.

По результатам эксплуатационных испытаний определяют коэффициенты сменности деталей, что необходимо для правильной организации производства запасных частей, уточняют пробеги до капитальных ремонтов и т. д.

2.2. Проведение испытаний

Двигатели, принятые ОТК завода, перед началом любых из названных испытаний предварительно обкатывают по программе завода-изготовителя, но не более 60 ч.

Типовые испытания, как правило, проводят на прогретом двигателе с регулировкой, выполненной по инструкции завода. Испытания проводят на топливе и масле, рекомендуемых заводом-изготовителем при наличии на эти эксплуатационные материалы паспорта, удостоверяющего соответствие их физико-химических параметров заданным.

В научно-исследовательских испытаниях регулировку механизмов и систем двигателя, тепловой режим его, выбор эксплуатационных материалов и прочие условия оговаривают в программе работ. Если необходимо, условия испытаний изменяют в нужных пределах и корректируют в процессе выполнения программы. Обязательно уточняют комплектность испытуемого двигателя, поскольку на привод его вспомогательных агрегатов затрачивается часть мощности. Стендовые испытания в большинстве случаев проводят со снятыми лопастями вентилятора, отключенным компрессором и т. д.

При определении характеристик двигателя количество точек замера должно быть не менее 6...8, если это в полной мере позволяет выявить закономерность протекания экспериментальной взаимосвязи обследуемых параметров. Показатели двигателя рекомендуется определять при установившемся режиме работы, а регистрируемые данные должны быть средними устойчивыми значениями, непрерывно наблюдаемыми не менее 1 мин, без каких-либо значительных измерений в течение этого времени.

Измеряемые величины вносят в протокол или журнал испытаний сразу же по окончании наблюдения и обязательно нумеруют записи. Нумерация замеров особенно важна, когда работу одновременно выполняют несколько испытателей (например, группа студентов), ведущих отдельные записи, которые затем переносятся в общий протокол. Последнему, как правило, присваивают свой порядковый номер. Большинство записей используют для последующей обработки протокола испытаний, по результатам которой составляют таблицы и строят графики, необходимые для анализа экспериментальных материалов.

Кроме всего, в протоколе фиксируют все неполадки или отклонения от обычных норм, наблюдавшиеся во время проведения испытания, отмечают вынужденные перерывы в работе и т. д. Без этого трудно воссоздавать истинную картину испытания и объективно оценивать его по завершении программы.

Чтобы повысить объективность и точность замеров, обеспечить оперативное наблюдение за определяющими показателями и сократить затраты времени на обработку результатов, в лабораториях применяют автоматизированные системы испытания двигателей, позволяющие фиксировать показатели в цифровом виде, записывать сигналы на магнитные носители информации, воспроизводить их на экране осциллографа или на дисплее компьютера. С помощью компьютера выполняют также обработку результатов наблюдений.

Перед началом испытаний, в процессе проведения и по окончании, их обязательно определяют и фиксируют следующие исходные данные и наблюдаемые величины: характерные параметры или тип испытуемого двигателя и испытательной установки; сорт и плотность масла и топлива; давление, температуру и влажность окружающего воздуха; температуру охлаждающей жидкости на выходе из системы охлаждения двигателя; температуру и давление масла; показания, динамометра; скорость (частоту) вращения вала и суммарное его количество оборотов за принятое время измерения; среднее давление во впускном трубопроводе; расходы топлива и воздуха; угол опережения зажигания или подачи топлива (в дизелях).

В случае необходимости количество измеряемых величин не ограничивают перечисленными. В ряде случаев возникает необходимость измерять температуру отработавших газов, химический состав газов, расход охлаждающей жидкости, масла, а также вибрации отдельных деталей, линейные или угловые перемещения их, тепловое состояние и прочие параметры, знание которых необходимо при изучении процессов в двигателях.

Для получения исчерпывающей информации о перечисленных параметрах необходимо не только большое количество различных измерительных устройств, но также самые разнообразные способы и методы измерений. Поэтому испытатель должен обладать определенными сведениями из областей измерений и измерительных приборов, уметь оценивать качества и возможности последних и т. д. Без знания этого трудно рассчитывать на правильный выбор и рациональное использование мерительных средств в конкретных условиях проведения испытаний двигателя.

2.3. Требования к измерительным средствам и точности измерений

Испытатели автомобильных и тракторных двигателей имеют дело не только с большим количеством экспериментально определяемых величин и исследуемых факторов, но также должны учитывать, что скорости изменения многих из них охватывают диапазон от быстротекущих до медленно изменяющихся. Например, протекание рабочих процессов в цилиндрах двигателя характеризуется почти мгновенным изменением наблюдаемых величин, а тепловое состояние двигателя, наоборот, медленно или вовсе не изменяется при установившемся режиме работы. Однако сравнимость получаемых результатов и достоверность их в любом случае зависят от правильного выбора соответствующей измерительной аппаратуры, которая должна обеспечивать:

- 1) заданную точность измерения обследуемых параметров;

2) стабильность показаний в реальных условиях испытаний при наличии неизбежного действия вибрации вследствие работы поршневого двигателя, возможных колебаний напряжения в электрической сети лаборатории или изменения температуры в окружающей среде и других внешних возмущающих факторов;

3) необходимое быстродействие при одновременном исключении возможности появления помех протеканию обследуемых процессов или искажения измеряемых параметров;

4) необходимую чувствительность действия, позволяющую надежно измерять физические величины в соответствии с заданной точностью.

Кроме того, желательно, чтобы измерительные устройства и приборы имели возможно малые габариты, простую и удобную для наблюдений, регулировок и обслуживания конструкцию, допускали дистанционные измерения, когда наблюдатель и пульт управления удалены от объекта испытаний.

Наиболее полно этим требованиям отвечают современные электро-механические и электронные измерительные устройства. Применительно к исследованиям двигателей последние практически безинерционны, допускают регулирование пределов измерений и автоматическое введение поправок в получаемые результаты, а также позволяют автоматизировать и запись, и обработку результатов измерений.

Основными критериями при выборе средств измерения обычно служат точность и быстродействие. Приборы, обладающие большой точностью, т. е. малой относительной погрешностью, и соответствующей этому высокой чувствительностью, в тяжелых условиях работы могут быстро утратить стабильность и преждевременно выйти из строя. Поэтому выбор средств измерительной техники следует тщательно увязывать с требованиями точности измерений и характером проводимых испытаний, не ужесточая их без необходимости.

При типовых испытаниях по ГОСТу достаточной считают, например, точность $\pm 0,5\%$ при измерении крутящего момента, частоты вращения вала двигателя и расхода топлива (весовым способом). Температуру окружающего воздуха измеряют с точностью $\pm 0,5^\circ\text{C}$; давление до ± 1 мм рт.ст.; относительную влажность его – с точностью $\pm 2\%$; расходы воздуха – с точностью $\pm 2\%$, а картерных газов – $\pm 3\%$; температуры жидкости в системе охлаждения и масла в картере – с точностью $\pm 1^\circ\text{C}$; температуру отработавших газов до $\pm 20^\circ\text{C}$ и давление последних – с точностью $\pm 3\%$.

В научно-исследовательских испытаниях требования к точности измеряемых параметров соответственно повышаются в зависимости от целей исследования.

При соблюдении указанных рекомендаций на измерения точность определения величины эффективной мощности двигателя составляет

примерно $\pm 2\%$ для типовых и менее $\pm 1\%$ в научно-исследовательских испытаниях; удельный расход топлива – приблизительно $\pm 3\%$ и $\pm 1\%$ соответственно.

Работа измерительной аппаратуры и пользование ею осложняются тем, что вследствие действия случайных внешних факторов, а также перебоев в питании, зажигании и прочих причин всегда возможны отклонения от принятого режима испытаний. Чтобы повысить точность измерений, испытательные стенды снабжают специальной контрольной аппаратурой, позволяющей быстро и уверенно выходить на заданный режим испытаний и непрерывно следить за правильным соблюдением его. Приборы такого назначения не отличаются большой точностью, но значительно уменьшают вспомогательное время, затрачиваемое на проведение стендовых испытаний, и в конечном итоге повышают качество испытаний. К таким приборам относятся различные тахометры, расходомеры и аналогичные им устройства.

Все измерения следует выполнять приборами и устройствами, предварительно проверенными или протарированными в соответствии с существующими положениями о контроле измерительных приборов.

2.4. Обработка экспериментальных данных, получаемых при испытаниях ДВС

Конечная цель измерений заключается в нахождении наиболее вероятной числовой величины объекта измерения или изучаемого параметра и, если возможно, в установлении математических зависимостей, которые наилучшим образом описывают закономерности изменения исследуемых факторов в данных условиях опыта.

Вероятное значение измеряемой величины x определяют как среднюю арифметическую величину из всех выполненных n отдельных равноточных измерений одного и того же численного значения физической величины. Следовательно, наиболее вероятное значение измеряемой физической величины

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n}$$

где x_i – результат i -го измерения физической величины.

Точность и надежность измерений оценивают по значениям относительных ошибок путем сопоставления абсолютной величины ошибки измерения с самой измеряемой величиной, с учетом доверительной вероятности.

Абсолютные ошибки Δx , представляющие в общем случае разность между искомой величиной и результатами ее измерения, действительно не могут исчерпывающе характеризовать точность измерений, поскольку зависят от численного значения самой измеряемой ве-

личины. А поскольку истинное значение измеряемой величины вообще остается неизвестным, то для практических расчетов принимают во внимание ее вероятное значение

$$\Delta x_i = \bar{x} - x_i.$$

При этом учитывают, что возможности получения ошибок со знаком плюс и со знаком минус одинаковы и сумма всех случайных ошибок, следовательно, близка к нулю.

Показателями точности измерений служат величины средней квадратичной, вероятной и средней ошибок.

Средняя квадратичная ошибка σ отдельного измерения

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum \Delta x_i^2}{n-1}},$$

где $\sum \Delta x_i^2$ – сумма квадратов отклонений результатов отдельных измерений от их среднего арифметического значения.

Относительную величину средней квадратичной ошибки, выраженную в процентах, называют **коэффициентом вариации**:

$$v = \frac{\sigma}{x} 100\%.$$

Функциональная зависимость между исследуемыми величинами может быть выражена графически при условии, что экспериментальные данные позволяют построить вполне четкое графическое изображение результатов измерений. Взаимосвязь величин находят в форме алгебраических выражений, которые принято называть эмпирическими формулами.

Практически задачу сводят к построению графиков по экспериментальным данным и нахождению математической формулы, наилучшим образом описывающей полученную закономерность. Чаще всего определение коэффициентов предполагаемой функции осуществляют по способу наименьших квадратов, имеющему преимущества и большую точность по сравнению с другими приемами.

Стремление провести кривую обязательно через все нанесенные на поле графика экспериментально полученные точки чаще всего дает ломаную линию, что затрудняет выявление функциональной связи между исследуемыми величинами. Способ наименьших квадратов основан на том, что в оптимальном случае сумма квадратов отклонений Δx должна быть наименьшей: $\sum \Delta x_i^2 = \min$. В этом случае искомая расчетная кривая расположится наиболее близко ко всем экспериментальным точкам.

Построение характеристик выполняют так, чтобы плавная линия, а если допустимо – прямая, проходила через возможно большее число точек. Чем меньше при этом «выпадает» точек, тем, следовательно, тщательнее было проведено испытание, обеспечившее минимальный

«разброс» точек. Построение характеристики не допускается путем соединения точек прямыми отрезками, образующими ломаную линию, если для этого нет особых причин. Линия не должна также закрывать собой экспериментально полученные точки. Наоборот, графики производных величин, определяемых методом расчета по формулам, строят в виде сплошной линии так, чтобы линия в этом случае полностью закрывалась расчетными точками, по которым строят графическую зависимость.

Масштабы по возможности выбирают кратными числу клеток миллиметровой бумаги стандартного формата, на которой удобнее всего строить графики. При этом следует рациональнее использовать поле формата, не допускать скученности кривых и по возможности избегать излишних пересечений линий. В каждом конкретном случае принятый масштаб должен способствовать возможно полному выявлению действительной взаимосвязи между обследуемыми величинами, иначе графическое изображение не достигает цели.

2.5. Формулы подсчетов основных показателей работы двигателя

Крутящий момент двигателя M_k (Н·м) при длине плеча весового механизма торозной машины 0,7162 м рассчитывается по зависимости

$$M_k = 7,02 P_T,$$

где P_T — показания измерительного устройства тормоза, кг.

Если между двигателем и балансирной машиной установлен редуктор с передаточным числом i_p и КПД η_p , то крутящий момент подсчитывают по формуле (Н·м)

$$M_k = \frac{7,02 P_T}{i_p \eta_p}.$$

Среднее эффективное давление P_e (Мпа) вычисляется как

$$P_e = \frac{3,14 \cdot 10^{-3} \tau M_k}{i V_h}.$$

где τ — тактность двигателя;

i — число цилиндров;

V_h — рабочий объем цилиндра, л.

Эффективная мощность N_e (кВт) определяется по зависимостям

$$N_e = \frac{M_k n_d}{9550} \quad \text{или} \quad N_e = 7,35 \cdot 10^{-4} P_T n_d,$$

где n_d — частота вращения коленчатого вала, мин⁻¹.

Часовой расход топлива G_T (кг/ч) вычисляется по формуле

$$G_T = \frac{3,6 \Delta G_T}{t},$$

где ΔG_T — масса навески топлива, г;

t — время расхода навески топлива, с.

Удельный расход топлива g_e (г/кВт·ч) рассчитывается как

$$g_e = \frac{10^3 G_T}{N_e},$$

Коэффициент избытка воздуха определяется по формуле

$$\alpha = \frac{G_B}{14,3G_T},$$

где G_B – расход воздуха, кг/ч.

Коэффициент наполнения цилиндров двигателей без наддува и с наддувом вычисляются соответственно по зависимостям

$$\eta_v = \frac{33,6G_B}{i V_h n_d \rho_B} \text{ и } \eta_v = \frac{33,6G_B}{i V_h n_d \rho_K},$$

где ρ_B – плотность окружающего воздуха, кг/м³;

ρ_K – плотность воздуха после компрессора, кг/м³.

3. ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВС

Мощностные и топливно-экономические показатели двигателя оценивают по характеристикам, получаемым при тормозных испытаниях двигателя. **Характеристикой двигателя** называют графическое изображение зависимости одного или нескольких показателей работы двигателя от показателя, принятого за основу. К типовым характеристикам относятся регуляторные, скоростные, нагрузочные, внутренних потерь, холостого хода и др.

Скоростная характеристика представляет собой зависимость мощности, крутящего момента, часового и удельного расхода топлива от частоты вращения двигателя и предназначена для определения соответствия полученных показателей паспортным данным. Снимается она в начале и в конце испытаний, причем первые тормозные испытания должны проводиться не ранее чем через 150...200 моточасов работы двигателя.

Регулировочные характеристики двигателя дают возможность оценивать его мощность и топливную экономичность при изменении регулируемых параметров, определяющих протекание теплового процесса двигателя. К регулировочным относятся характеристики по углу опережения подачи топлива, по его расходу, по давлению впрыска топлива форсунками и др. Выбор оптимальных регулировок и установление номинальных параметров двигателя производится обычно при первичных исследованиях экспериментального образца двигателя. Во время государственных приемочных испытаний отдельные регулировочные характеристики снимают для оценки правильности предложенных заводом оптимальных регулировок, а также для проверки их устойчивости при длительной эксплуатации. Такие регулировки двигателей тракторов, проходящих испытания, проводятся в случаях, когда

мощность, развиваемая двигателем, меньше номинальной; максимальная мощность двигателя превышает номинальную более чем на 3%; частота вращения коленчатого вала двигателя при номинальной мощности отличается от заданной более чем на 1,5%; удельный расход топлива при номинальной мощности превышает гарантированный заводом более чем на 2%.

3.1. Скоростные характеристики

Характеристики этого вида представляют собой графическое изображение закономерности изменения исследуемых параметров двигателя от частоты вращения коленчатого вала. Основными них являются внешняя и частичные скоростные характеристики, характеристики холостого хода и условных внутренних потерь.

Внешней скоростной называют характеристику, получаемую при полном открытии дроссельной заслонки (заслонок в многокамерных карбюраторах) в карбюраторных двигателях или при крайнем предельном положении рычага управления рейкой насоса высокого давления, соответствующем полной подаче топлива в дизелях. Действующие ГОСТы рекомендуют принимать предельное положение рычага управления насосом по инструкции завода-изготовителя.

Понятие внешней скоростной характеристики предполагает получение предельно возможных энергетических показателей двигателя. Для дизелей такие показатели, как известно, лежат за пределом дымления, когда коэффициент избытка воздуха $\alpha \rightarrow 1,0$. Однако с регулировкой насоса высокого давления на такую подачу топлива работать нельзя из-за обильного дымления и опасности выхода двигателя из строя вследствие повышенного нагарообразования в камере сгорания. Также на всех скоростных режимах сложно обеспечивать работу дизеля на пределе дымления. Поэтому крайнее положение рейки насоса, устанавливаемое заводом-изготовителем для полной подачи топлива, следует принимать как рациональный предел такой подачи. Следовательно, рассматриваемую скоростную характеристику в применении к дизелям можно лишь условно считать внешней.

С некоторыми оговорками этот термин применим и к двигателям с искровым зажиганием, поскольку упомянутая характеристика не является именно внешней характеристикой, ниже которой располагаются все другие скоростные характеристики. Дело в том, что предельно высокие энергетические показатели двигателя с искровым зажиганием можно получить только при оптимальных составах смеси и наиболее благоприятных моментах подачи искры в цилиндры, что далеко не всегда может быть обеспечено в широком диапазоне скоростных режимов.

Типичная внешняя скоростная характеристика двигателей с искровым зажиганием показана на рис. 2. Прежде всего она позволяет оце-

нивать энергетические и экономические показатели двигателя, определяют минимальной устойчивой частотой вращения n_{\min} , и частотами вращения, соответствующие максимальным величинам мощности и крутящего момента (n_n и n_m соответственно), минимальному удельному расходу топлива $g_{e\min}$, а также дают представление о закономерности изменения других его оценочных параметров при заводской регулировке приборов питания и зажигания.

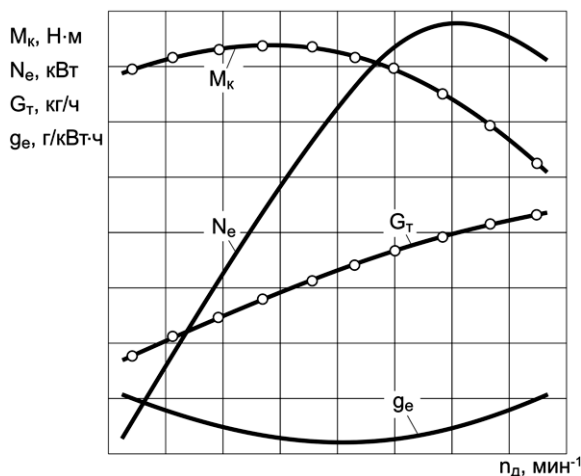


Рис. 2. Внешняя скоростная характеристика карбюраторного двигателя.

Кроме графического изображения мощности, крутящего момента часового и удельного расходов топлива, характеристику дополняют иногда графиками угла опережения зажигания или подачи топлива, расхода воздуха G_b , состава смеси и т. д. (рис. 3).

Согласно действующим ГОСТам, внешнюю скоростную характеристику снимают в диапазоне частот $n_{\min} \dots 1,1 n_n$ для двигателей с искровым зажиганием, работающих без ограничителя, и $n_{\min} \dots n_{\max}$ для дизелей. При наличии регулятора (или ограничителя) числа оборотов внешняя характеристика позволяет также определять момент включения регулятора (ограничителя) и судить о степени неравномерности работы регулятора.

Снятие внешней скоростной характеристики заключается в следующем. При прогревом работающем двигателе увеличивают подачу горючей смеси (при внешнем смесеобразовании) или топлива (при внутреннем смесеобразовании) и одновременно нагружают его с помощью тормозного устройства так, чтобы на режиме полной подачи коленчатый вал двигателя развивал минимальную устойчивую частоту вращения (n_{\min}).

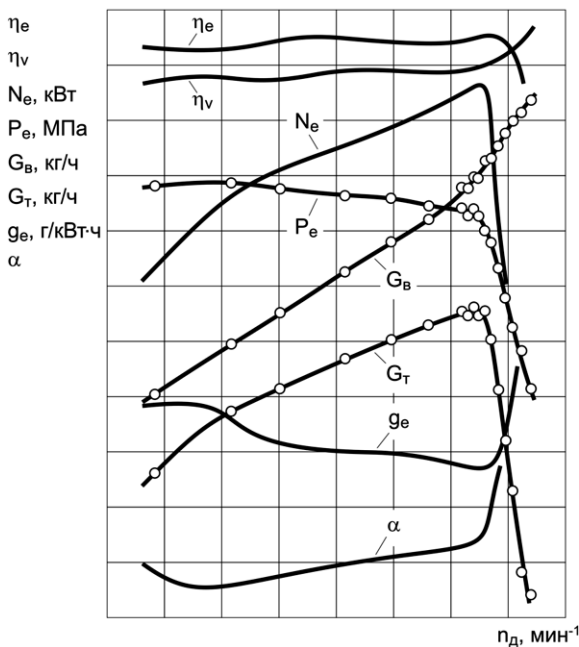


Рис. 3. Внешняя скоростная характеристика дизеля.

После необходимого корректирования теплового состояния двигателя и выдержки его на стабильном режиме работы не менее 5 мин снимают требуемые показатели, т. е. производят замеры нужных параметров. Далее нагрузку постепенно снижают, добиваясь возрастания частоты вращения на 250 или 500 мин⁻¹, и по выходе на установившийся режим работы снова делают замеры и т. д., пока частота вращения не достигнет указанных ранее пределов.

Для выявления более достоверной закономерности протекания внешней характеристики замеры повторяют в обратной последовательности, постепенно нагружая двигатель и уменьшая частоту вращения до n_{\min} .

Минимально устойчивую частоту вращения коленчатого вала двигателя при полной нагрузке, т. е. в случае работы по внешней скоростной характеристике, определяют путем торможения двигателя до наступления заметного колебания частоты вращения, после чего нагрузку уменьшают до получения устойчивой работы в течение 10 мин.

При снятии внешней скоростной характеристики следует учитывать, что получаемые эффективные показатели определенным образом зависят от состояния окружающей среды (давления, температуры и влажности воздуха), поэтому сравнивать между собой данные различ-

ных испытаний и характеристики отдельных двигателей можно только после приведения результатов к стандартным атмосферным условиям.

Частичной скоростной называют характеристику, получаемую при некоторых промежуточных положениях дроссельной заслонки (заслонок), постоянных для каждой характеристики, или неизменном промежуточном положении рычага управления, соответствующем неполной подаче топлива насосом высокого давления в дизелях.

Особенности протекания частичных скоростных характеристик поршневых двигателей можно проследить по графикам, представленным на рис. 4. Так же, как и внешние скоростные, эти характеристики позволяют оценивать основные параметры двигателей, но в случае работы с частичными нагрузками.

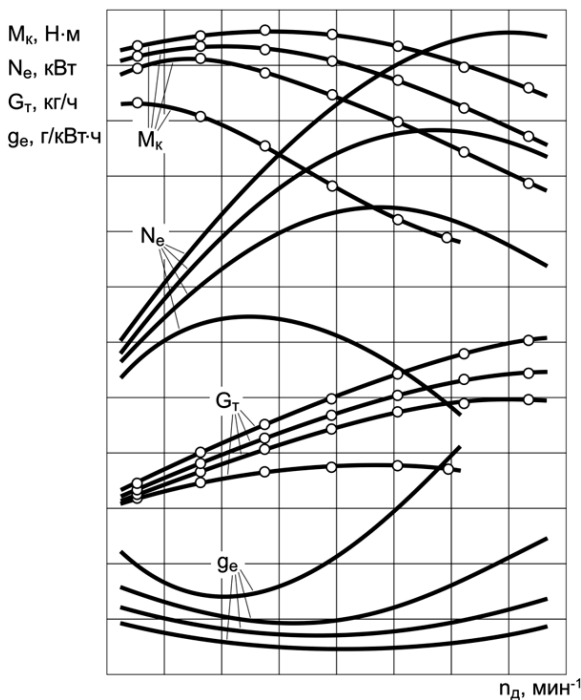


Рис. 4. Частичные скоростные характеристики карбюраторного двигателя.

Метод получения частичных скоростных характеристик в принципе не отличается от определения внешней характеристики двигателя. Разница состоит лишь в выборе любого фиксированного положения для дроссельной заслонки или рейки насоса, отличного от полного их открытия или предельного перемещения.

3.2. Нагрузочные характеристики

Характеристики, выявляющие закономерность изменения ряда параметров двигателя в зависимости от изменения нагрузки при заданной постоянной частоте вращения коленчатого вала, называют **нагрузочными**. При снятии нагрузочных характеристик двигатель прогревают до нормального теплового состояния, выводят его на заданный скоростной режим и постепенно увеличивают открытие дросселя для двигателей с внешним смесеобразованием или перемещают рейку топливного насоса в дизелях от положения, соответствующего холостому ходу на данном скоростном режиме, до полного их открытия или предельного положения, сохраняя заданный скоростной режим путем нагружения (разгружения) двигателя с помощью тормоза

В качестве независимого переменного параметра ГОСТы рекомендуют в этом случае принимать мощность, развиваемую двигателем. Однако независимыми переменными могут служить среднее эффективное давление p_e , показание динамометра тормоза P , часовой расход воздуха G_B , относительное открытие дросселя (в карбюраторных двигателях) или перемещение рейки насоса (в дизелях) и другие параметры, характеризующие загруженность двигателя.

Для двигателей с искровым зажиганием удобным параметром является, например, давление во впускном трубопроводе $p_{вп}$, пропорционально которому изменяется наполнение цилиндров. Типичная нагрузочная характеристика дизеля показана на рис. 5. При необходимости характеристику дополняют графиками коэффициента наполнения η_v , коэффициента избытка воздуха α , угла опережения зажигания $\theta_{зж}$ и другими параметрами.

Нагрузочные характеристики, снятые для ряда частот вращения коленчатого вала, позволяют судить о закономерности часового расхода топлива по мере увеличения нагрузки, выявляют минимальные удельные расходы топлива, момент включения экономайзера в карбюраторных двигателях и величину максимальной мощности на этих скоростных режимах. Кроме того, представляется возможным определять начало видимого дымления дизелей, строить регулировочные характеристики по давлениям на впуске и выпуске.

Наглядность графического изображения характерных параметров двигателя несколько утрачивается, когда приходится иметь дело с большой серией характеристик. С целью устранения этого недостатка целесообразно строить многопараметровые характеристики.

Многопараметровые, или универсальные, характеристики в общем случае строят в координатах x и y по результатам обработки серии исходных характеристик, выявляющих зависимость обследуемого параметра z от переменного x при различных постоянных значениях.

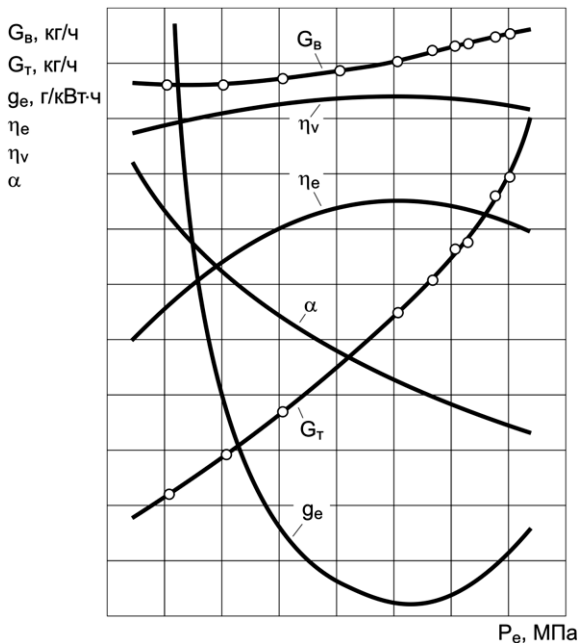


Рис. 5. Нагрузочная характеристика дизеля.

Поскольку каждая точка многопараметровой характеристики соответствует лишь одной паре значений x и y , ей можно приписать определенное значение, взятое из вспомогательных характеристик. Многопараметровая характеристика, получающаяся тогда соединением точек, имеющих одинаковые значения z , наглядно показывает характер изменения и величину z при любых возможных значениях x и y .

На рис. 6 многопараметровая характеристика дизеля обобщает серию нагрузочных характеристик, снятых на нескольких скоростных режимах двигателя. Линии удельного расхода топлива g_e , нанесенные на характеристику, дают полное представление об экономичности двигателя во всем диапазоне его возможных скоростей и нагрузок и выявляют зону режимов наибольшей экономичности.

На многопараметровую характеристику наносят также линии постоянных значений дополнительных показателей. Такими в рассматриваемом случае являются графики мощности и начала видимого дымления (последний показан штриховой линией и определяет предельно допустимые значения p_e). Таким образом, многопараметровые характеристики позволяют определить тот или иной показатель работы двигателя по значениям двух других, закономерности изменения которых представлены в характеристике.

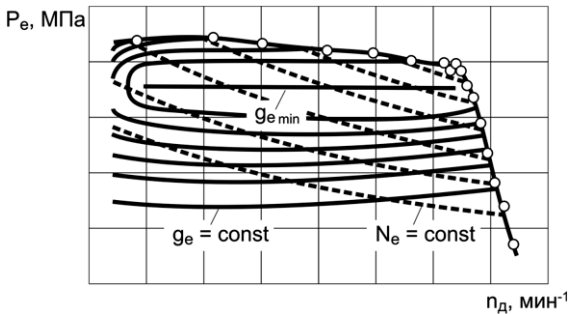


Рис. 6. Многопараметровая характеристика дизеля.

С помощью многопараметровых характеристик можно также установить область режимов, где исследуемый параметр не превышает определенного значения. Например, можно установить область режимов, в которой дымность отработавших газов не превышает регламентированных значений.

Регуляторные характеристики снимают при скоростном режиме, соответствующем максимальному постоянному положению органа управления регулятором путем постепенного увеличения нагрузки от холостого хода до полной. Если орган управления регулятором устанавливают в определенные промежуточные положения, то получают частичные регуляторные характеристики.

Регуляторная характеристика выявляет зависимость частоты вращения коленчатого вала двигателя от развиваемой им мощности при неизменном положении рычага управления регулятором. На характеристику наносят также графики часового G_r и удельного g_e расходов топлива. По данным этой характеристики определяют степень неравномерности регулятора.

3.3. Регулировочные характеристики

Соотношение между топливом и воздухом в горючей смеси существенно влияет на протекание рабочего процесса, динамические и температурные показатели цикла, токсичность и износостойкость двигателя. При сгорании горючей смеси разных составов изменяются скорость и продолжительность сгорания; тепловыделение; число молекул, характеризующее коэффициент молекулярного изменения; теплоемкость продуктов сгорания. При этом соответственно изменяются максимальные температуры и давления цикла.

Выбор регулировок систем питания и зажигания двигателей, обеспечивающих их длительную работу в тяжелых условиях без перегрева и детонации, проводят, как правило, экспериментальным путем, методом снятия характеристик, называемых регулировочными.

Для определения зависимости мощности, топливной экономичности и других показателей работы двигателя от соотношения между топливом и воздухом в горючей смеси служат регулировочные характеристики по составу смеси. Они дают возможность установить нормальные эксплуатационные регулировки состава смеси, а также их целесообразные пределы с точки зрения достижений заданной эффективности, топливной экономичности, токсичности и износостойкости двигателя.

В основу таких характеристик обычно положен расход топлива и угол опережения зажигания или момент подачи топлива в цилиндры, а также расход воздуха при неизменной нагрузке или пропорциональное расходу воздуха давление в определенной зоне впускного тракта, например, в диффузоре или в задрессельном пространстве.

Характеристики позволяют выявлять составы рабочей смеси и оптимальные моменты ее воспламенения, при которых на заданном режиме наиболее полно можно использовать тепло, вносимое топливом в цилиндры, или обеспечить получение возможно большей литровой мощности.

Независимо от способа подачи топлива в цилиндры регулировочные характеристики снимают при доводке новых двигателей и аппаратуры питания, а также в целях уточнения регулировок, изучения распределения смеси по цилиндрам и т. д.

Регулировочная характеристика карбюраторного двигателя по составу смеси – это зависимость эффективных мощности N_e , удельного расхода топлива g_e , а также других показателей от состава смеси, характеризуемого коэффициентами избытка воздуха α , при постоянной частоте вращения коленчатого вала и постоянной степени открытия дроссельной заслонки карбюратора (рис. 7).

При испытании двигателя с целью определения его регулировочной характеристики по составу горючей смеси угол опережения зажигания подбирают наиболее выгодным для каждого режима по наибольшим значениям показаний весового механизма тормозной установки.

Желаемое изменение состава горючей смеси достигается путем регулирования количества подаваемого топлива или воздуха. В первом случае дозирование топлива достигается сменой жиклеров в карбюраторе или установкой в нем специальной иглы для регулирования проходного сечения жиклера. Во втором случае дозирование воздуха достигается путем изменения его подачи на впуске в карбюратор.

В процессе снятия характеристики по составу смеси путем дозирования топлива при постоянных частоте вращения коленчатого вала и степени открытия дроссельной заслонки расход воздуха остается приблизительно постоянным, незначительно увеличиваясь при работе двигателя на богатой смеси. Это объясняется некоторым повышением коэффициента наполнения.

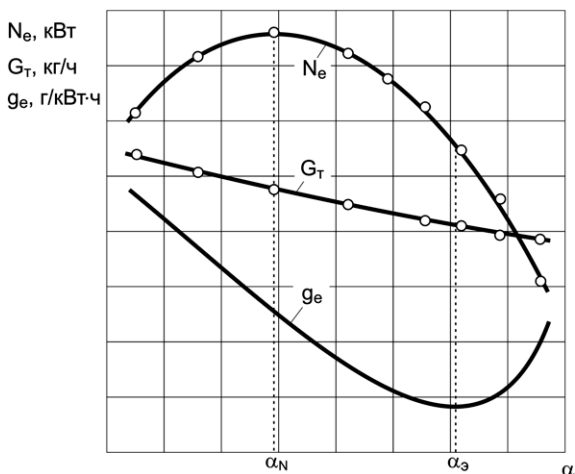


Рис. 7. Регулировочная характеристика дизеля карбюраторного двигателя по составу смеси: α_N — регулировка на наибольшую мощность, $\alpha_э$ — регулировка на наибольшую экономичность.

При изменении состава горючей смеси для поддержания постоянной частоты вращения регулируют нагрузку двигателя с помощью тормозной установки.

Регулировочная характеристика дизеля по составу смеси — это зависимость часового G_T и удельного g_e расходов топлива и других показателей от нагрузки (среднего эффективного давления p_e , эффективного крутящего момента M_k и эффективной мощности N_e) при постоянной частоте вращения коленчатого вала двигателя.

В дизеле мощность при постоянной частоте вращения коленчатого вала регулируют изменением подачи топлива насосом высокого давления. Поэтому регулировочная характеристика по составу смеси дизеля совпадает с его нагрузочной характеристикой.

При снятии регулировочной характеристики по составу смеси ограничитель хода рейки топливного насоса убирают. Цель снятия характеристики — определение оптимального положения ограничителя хода рейки (максимальной подачи топлива) топливным насосом высокого давления. Состав смеси для каждого режима изменяют перемещением рейки топливного насоса высокого давления (изменением количества подаваемого топлива).

При изменении состава смеси для поддержания постоянной частоты вращения коленчатого вала регулируют нагрузку дизеля с помощью тормозной установки. Характеристику снимают при постоянном или наивыгоднейшем угле опережения впрыскивания топлива. По этой характеристике, снятой при постоянной частоте вращения, могут быть установлены режимы наибольшей возможной мощности, наименьшего

удельного расхода топлива, а также оптимальное сочетание эффективности и экономичности, эффективности и износостойкости.

Регулировочная характеристика по установочному углу опережения зажигания – это зависимость эффективной мощности N_e , часового G_T и удельного g_e расходов топлива и других показателей работы двигателя от угла опережения зажигания $\theta_{\text{заж}}$ в градусах поворота коленчатого вала относительно ВМТ при неизменной частоте вращения и постоянной степени открытия дроссельной заслонки карбюратора.

Угол опережения зажигания для каждого режима изменяют поворачиванием корпуса прерывателя-распределителя с помощью винтового регулировочного устройства. При этом для поддержания постоянной частоты вращения регулируют нагрузку двигателя с помощью тормозной установки.

Характеристики по установочному углу опережения зажигания необходимо определять на топливе, которое может детонировать в двигателе на исследуемом режиме только после достижения максимума мощности.

Основную характеристику по установочному углу опережения зажигания снимают при номинальной частоте вращения коленчатого вала двигателя и полном открытии дроссельной заслонки карбюратора. Кроме основной, могут быть сняты характеристики по опережению зажигания и на других скоростных и нагрузочных режимах.

Снятие характеристик по углу опережения зажигания имеет своей конечной целью определение двух зависимостей: влияния изменяющихся режимных или конструктивных факторов на оптимальные углы опережения зажигания и влияния угла опережения зажигания на показатели работы двигателя. Решение первой задачи необходимо для выбора характеристик автоматического регулятора, при которых достигаются наилучшие мощностные и экономические показатели двигателя. Решение второй задачи позволяет оценить возможные ухудшения в показателях двигателя в случае, если по каким-либо причинам нельзя установить оптимальный угол опережения зажигания.

Обработка характеристик по углу опережения зажигания – это в основном определение зависимости оптимальных характеристик углов опережения зажигания от других режимных параметров (например, частоты вращения, нагрузки и т. д.). Оптимальные углы опережения зажигания могут быть определены из графиков как углы, соответствующие максимальным значениям показателей весов тормозной установки, крутящего момента или мощности.

Регулировочная характеристика по установочному углу опережения впрыска топлива – это зависимость эффективной мощности N_e , часового G_T и удельного g_e расходов топлива и других показателей работы дизеля от угла опережения впрыса $\theta_{\text{впр}}$ при постоянной частоте

вращения коленчатого вала и неизменном положении рейки топливного насоса.

Основную характеристику по углу опережения впрыска топлива снимают при номинальной частоте вращения коленчатого вала дизеля и полной подаче топлива. Кроме основной, могут быть сняты характеристики по опережению впрыска топлива и на других скоростных (рис. 8) и нагрузочных режимах при установках рейки топливного насоса в положениях для частичных подач топлива.

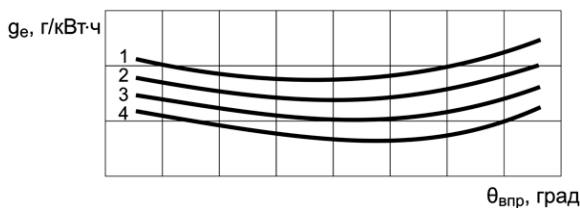


Рис. 8. Регулировочная характеристика дизеля по установочному углу опережения впрыска топлива: 1, 2, 3, 4 – g_e при различных $n_d = \text{const}$.

Для построения регулировочной характеристики следует снять нагрузочные характеристики при различных установочных углах опережения впрыска топлива, но не реже чем через каждые 4° угла поворота коленчатого вала. Регулировочную характеристику строят при постоянном расходе топлива.

Установочный угол опережения впрыска топлива следует изменять, если это позволяет конструкция дизеля, в таких пределах, чтобы при крайних его значениях удельный расход топлива был не менее чем на 5 % выше, чем при оптимальном угле по удельному расходу топлива. Если конструкция дизеля не позволяет изменять установочный угол опережения впрыска топлива в указанных пределах, изменение его следует ограничить допускаемой конструкцией.

Характеристика позволяет установить влияние режимных или конструктивных факторов на оптимальные углы опережения впрыска топлива и влияние угла опережения впрыска на показатели работы дизеля. При этом можно определить наиболее выгодные установочные углы опережения впрыска или характеристики автоматов, служащих для получения наилучших мощностных и экономических показателей дизеля.

При снятии характеристики установочный угол опережения подачи топлива изменяют с помощью регулировочной муфты привода топливного насоса высокого давления, а для поддержания постоянной частоты вращения регулируют нагрузку дизеля с помощью тормозной установки.

Регулировочная характеристика по давлению на впуске – это зависимость эффективной мощности N_e , часового G_T и удельного g_e расходов топлива, коэффициента избытка воздуха α и других показате-

телей работы двигателя от давления во впускном трубопроводе $p_{вп}$ (рис 9а).

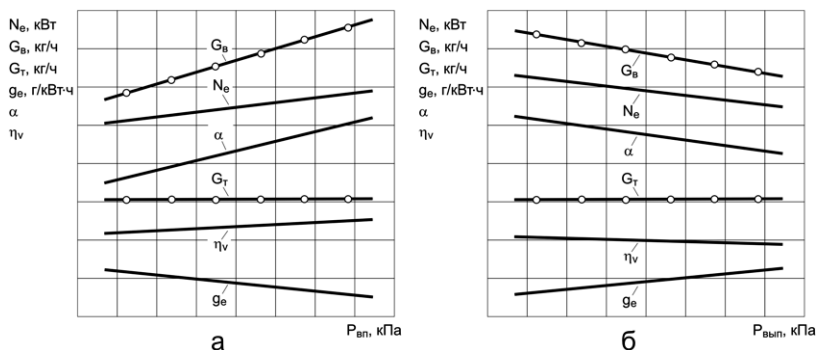


Рис. 9. Регулировочная характеристика дизеля по давлению: а – на впуске; б – на выпуске.

Для построения регулировочной характеристики следует снять нагрузочные характеристики при различных давлениях на выпуске.

Характеристику строят при постоянном расходе топлива. Допускается снимать регулировочную характеристику путем последовательно уменьшения давления на выпуске при постоянных расходе топлива и частоте вращения.

Регулировочная характеристика по давлению на выпуске– это зависимость эффективной мощности N_e , часового G_t и удельного g_e расходов топлива, коэффициента избытка воздуха α и других показателей работы двигателя от давления в выпускном трубопроводе $p_{вып}$ (рис 9б).

Для построения регулировочной характеристики следует снять нагрузочные характеристики при различных давлениях на выпуске.

Характеристику строят при постоянном расходе топлива. Допускается снимать регулировочную характеристику путем последовательно увеличения давления на выпуске при постоянных расходе топлива и частоте вращения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белов С.М., Солонский А.С. Тракторы: Ч. IV. Испытания. Мн.: Выш. шк., 1986. 182 с.
2. ГОСТ 14846-81. Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 1984. 55 с.
3. ГОСТ 18509-88. Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 1988. 57 с.
4. Лихачев И.Я. Испытания тракторов. М.: Машиностроение, 1974. 286 с.

5. Николаенко А.В. Теория, конструкция и расчет автотракторных двигателей. М.: Колос, 1992. 414 с.
6. Райков И.Я. Испытания двигателей внутреннего сгорания. М.: Высш. школа, 1975. 320 с.
7. Хитрюк В.А., Цехов Е.С. Практикум по автотракторным двигателям. Мн.: Ураджай, 1989. 143 с.