

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
ФГБОУ ВПО «Красноярский государственный аграрный университет»

Н.И. Селиванов

ИСПЫТАНИЯ АВТОТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Рекомендовано научно-методическим советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Красноярский государственный аграрный университет» в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению 110800 «Агроинженерия»

Красноярск 2014

ББК 40.721я 73

С29

Рецензенты:

В.А. Зеер, канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой транспортных и технологических машин Сибирского федерального университета

А.И. Хорош, канд. техн. наук, доцент кафедры автомобилей, тракторов и лесных машин Сибирского государственного технологического университета

С29 Селиванов, Н.И.

Испытания автотракторных двигателей: учеб. пособие / Н.И. Селиванов; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2014. – 220 с.

Изложены основы теории и практики стендовых испытаний автотракторных двигателей. Рассмотрены назначение и виды испытаний, методы их проведения и обработки материалов с учетом требований соответствующих стандартов. Приведены технические характеристики электрических обкаточно-тормозных стендов и других устройств для испытаний двигателей, а также методы обкатки и снятия основных характеристик двигателей, включающие определение токсичности и дымности отработавших газов. Отражены новые и перспективные направления улучшения топливно-экономических и экологических показателей поршневых двигателей на основе использования и развития систем и методов автоматического управления их работой.

Представлены перечень, содержание, техническое обеспечение, рассмотрена методика выполнения лабораторных работ по испытаниям двигателей.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению 110800 «Агроинженерия». Может быть полезным для инженерно-технических работников агропромышленного комплекса.

ББК 40.721я 73

© Селиванов Н.И., 2014

© ФГБОУ ВПО «Красноярский государственный аграрный университет», 2014

ВВЕДЕНИЕ

Поршневые двигатели внутреннего сгорания являются одним из наиболее распространенных видов тепловых машин. За последние годы резко возросла их литровая мощность и экономичность, улучшились экологические показатели. Поэтому стремление улучшить основные эксплуатационные свойства современных тракторов и автомобилей требует дальнейшего совершенствования поршневых двигателей и поддержания их в работоспособном состоянии в течение всего амортизационного срока службы.

Современные автотракторные двигатели имеют высокую тепловую и механическую напряженность, наиболее требовательны к режимам технологической обкатки, поддержанию нормальных установочных регулировок и режимов работ функциональных систем, качеству топлива и моторного масла. Поэтому на ведущее место выдвигаются задачи совершенствования технологической обкатки и стендовых испытаний двигателей, контроля основных параметров и режимов их работы для достижения заданных мощностных, топливно-экономических, износных и экологических показателей в эксплуатации.

В учебном пособии систематизированы и обобщены собственные и имеющиеся в специальной литературе материалы по определению основных параметров и обработке результатов стендовых испытаний автотракторных двигателей.

Приведены характеристики, устройство, режимы работы, содержание технического обслуживания, поверки электрических обкаточно-тормозных стендов, изложено содержание технической обкатки и приемочных испытаний автотракторных двигателей отечественного производства после ремонта.

Особое внимание в пособии уделено вопросам испытания автотракторных двигателей на токсичность. Рассмотрены основные пути и методы снижения токсичности отработавших газов двигателей с искровым зажиганием и дизелей.

Для оценки работы и определения оптимальных регулировок рассмотрены методы и техника снятия регулировочных и основных характеристик двигателей. Изложены основные требования и прин-

ципы автоматического управления двигателем с использованием электронных систем.

Стендовые испытания автотракторных двигателей предусмотрены рабочими программами дисциплины «Тракторы и автомобили» учебного плана основной образовательной программы бакалавров профилей «Технические системы в агробизнесе» и «Технический сервис в агропромышленном комплексе», а также дисциплины «Испытание и регулирование автотракторных двигателей» учебного плана основной образовательной программы «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» магистров направления подготовки «Агроинженерия».

В заключительной части пособия рассмотрены вопросы организации и технического обеспечения стендовых испытаний двигателей. Представлено содержание и методика выполнения лабораторных работ для практического усвоения изложенного в пособии материала с приобретением навыков и умений в области стендовых испытаний и регулирования автотракторных двигателей.

В конце основных разделов сформированы контрольные вопросы по теме, позволяющие на конкретных примерах проанализировать и закрепить изложенный материал.

1 ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ, ВИДЫ И МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ АВТОТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

1.1 Основные параметры двигателей

Испытания составляют заключительный этап сложных процессов создания, совершенствования и ремонта двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Действительные нагрузки на элементы создаваемой или модернизируемой конструкции и общая ее эффективность могут быть определены 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 устанавливаются путем испытаний в стендовых и эксплуатационных условиях.

Различным видам испытаний в этой связи подвергают все вновь создаваемые, модернизируемые, серийные и отремонтированные двигатели тракторов и автомобилей. При этом каждый вид испытаний проводят с вполне определенной целью.

Модель двигателя – характеризуется совокупностью следующих признаков: тактность, диаметр, число и расположение цилиндров, ход поршня, наличие турбонаддува, вид охлаждения и схема коленчатого вала. Отличие хотя бы по одному из перечисленных признаков определяет принадлежность двигателя к другой модели. Последняя может иметь модификации, которые включают двигатели, отличающиеся от базовой модели частотой вращения коленчатого вала, мощностью, а также комплектацией.

В соответствии с ГОСТ 18509-88 [1] приняты следующие определения и обозначения основных показателей работы тракторных и комбайновых дизелей.

Номинальная мощность N_n – назначаемая предприятием-изготовителем эффективная мощность дизеля при номинальной частоте вращения, полной подаче топлива и стандартных атмосферных условиях, температуре и плотности топлива; дизель, установленный на испытательном стенде, должен быть без вентилятора, воздухоочистителя, глушителей шума впуска и выпуска, искрогасителя, выпускной трубы и нейтрализатора отработавших газов, а также без оборудования, потребляющего мощность дизеля, но его не обслуживающего.

Эксплуатационная мощность N_{e3} – назначаемая предприятием-изготовителем эффективная мощность дизеля при номинальной частоте вращения, полной подаче топлива и стандартных атмосферных условиях, температуре и плотности топлива; дизель, установленный на испытательном стенде, должен быть укомплектован всем оборудованием, его обслуживающим, независимо от того, установлено оно на дизеле или на тракторе, или комбайне, для которого 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.

Максимальная мощность $N_{e \max}$ – наибольшее значение эффективной мощности установленного на испытательном стенде дизеля, снятая при полной подаче топлива.

Предельная мощность $N_{e \text{ пр}}$ – наибольшее значение эффективной мощности установленного на испытательном стенде дизеля, снятая при безотказной работе в течение 15 мин при постоянной частоте вращения со стабильными мощностью и расходом топлива. При определении $N_{e \text{ пр}}$ дизель должен иметь комплектацию, как при определении $N_{e \text{ эн}}$. Регулятор частоты вращения и ограничитель подачи топлива должны быть сняты или отключены.

Мощность нетто N_e^{Net} – эффективная мощность установленного на испытательном стенде дизеля, снятая при полной подаче топлива; дизель, установленный на испытательном стенде должен быть укомплектован только оборудованием, его обслуживающим (в том числе радиатором системы охлаждения). Мощность нетто при давлении сухого воздуха 99 кПа и температуре окружающего воздуха 20°C называется **приведенной мощностью нетто** N_e^{Net} .

Максимальная мощность нетто $N_e^{\text{Net} \max}$ – наибольшее значение мощности нетто, полученное во время испытаний.

Номинальная частота вращения n_n – частота вращения коленчатого вала дизеля, при которой предприятием-изготовителем назначаются номинальная и эксплуатационная мощности.

Расход масла на угар m_y – масса масла, безвозвратно расходующегося дизелем за единицу времени и удаляемого из цилиндров вместе с отработавшими газами и продувочным воздухом.

В соответствии с ГОСТ 14846-81 [2] приняты следующие определения и обозначения основных показателей работы автомобильных двигателей.

Мощность нетто N_n – эффективная мощность, снятая с коленчатого вала 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 с укомплектованностью по обязательному перечню серийным оборудованием их обслуживающим.

Мощность брутто N_b – эффективная мощность, снятая с коленчатого вала двигателя без установки серийного оборудования, его обслуживающего.

Номинальная мощность нетто $N_{ном.н}$ – установленная техническими условиями на двигатель мощность нетто при работе двигателя с номинальной частотой вращения.

Номинальная мощность брутто $N_{ном.б}$ – установленная техническими условиями на двигатель мощность брутто при работе двигателя с номинальной частотой вращения.

Номинальная частота вращения n_n – частота вращения коленчатого вала, установленная техническими условиями на двигатель для номинальной мощности.

Минимальная рабочая частота вращения n_{min} – наименьшая частота вращения коленчатого вала при полностью открытом дросселе (полной подаче топлива), при которой двигатель работает устойчиво не менее 10 мин.

Максимальная рабочая частота вращения n_{max} – наибольшая частота вращения коленчатого вала при полностью открытом дросселе (полной подаче топлива), установленная в технических условиях на двигатель.

Для автотракторных двигателей всех типов приняты следующие определения.

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

Минимальная частота вращения холостого хода $n_{xx\ min}$ – минимальная частота вращения холостого хода, установленная в тех-

нических условиях на двигатель и обеспечивающая устойчивую работу двигателя на холостом ходу не менее 10 мин.

Частота вращения n_M – частота вращения, при которой двигатель развивает максимальный крутящий момент M_k max, установленный техническими условиями.

Расход топлива G_T – масса топлива, расходуемого двигателем за единицу времени на заданном режиме.

Удельный расход топлива g_e – масса топлива, расходуемого двигателем за единицу времени, отнесенная к соответствующей мощности, развиваемой двигателем.

Крутящий момент M_k – средний за цикл момент, передаваемый от коленчатого вала двигателя силовой передаче машины.

1.2 Виды и методы испытаний автотракторных двигателей

В зависимости от назначения различают следующие виды стендовых испытаний ДВС: научно-исследовательские, доводочные, граничные, приемочные, предъявительские, приемо-сдаточные, периодические кратковременные, периодические длительные и типовые.

Научно-исследовательские испытания проводят с целью совершенствования существующих двигателей, перехода на иную компоновку или тип двигателя, при разработке принципиально новых силовых агрегатов, отдельных систем и узлов. Чтобы подчеркнуть целевое назначение, выделяют испытания износные, пусковые, регулировочные на токсичность и дымность, на надежность.

Доводочные испытания проводят в процессе разработки двигателя для оценки влияния вносимых в него изменений с целью достижения требуемых параметров и проверки их соответствия расчетным значениям.

Граничные испытания проводят для определения предельных значений параметров двигателя и возможности их реализации в эксплуатации.

Программы научно-исследовательских, доводочных и граничных испытаний не регламентируются стандартами и устанавливаются предприятием-изготовителем двигателя или организацией, проводящей испытания.

Остальные виды испытаний автомобильных и тракторных двигателей предусматриваются соответственно ГОСТ 14846-81 и 18508-88.

Содержание периодических и приемочных испытаний автомобильных поршневых и роторно-поршневых ДВС регламентировано ГОСТ 14846-81 «Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний» [2].

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» [1].

Этими стандартами также регламентированы: подготовка испытаний и условия их проведения; определяемые параметры; условия измерений и погрешности средств измерений; методы и правила определения основных параметров и характеристик; обработка, оформление и оценка результатов испытаний с учетом приведения параметров двигателей к стандартным условиям (атмосферное давление $P_0=101,3$ кПа, температура воздуха $t_0=20^\circ\text{C}$, относительная влажность воздуха 50%, температура топлива $t_0=20^\circ\text{C}$, плотность дизельного топлива $\rho_{\text{дтго}}=0,830$ т/м³, плотность бензина $\rho_{\text{бо}}=0,740$ т/м³ при 20°C); требования безопасности и производственной санитарии при стендовых испытаниях двигателей.

1.3 Определяемые параметры и обработка результатов испытаний двигателей

1.3.1 Определяемые параметры и погрешности измерений

При стендовых испытаниях двигателей в зависимости от их вида должны определяться параметры, указанные в таблице 1.1.

Атмосферное давление и влажность окружающего воздуха следует измерять в помещении, в котором находится испытательный стенд и двигатель.

Температура окружающего воздуха должна измеряться в потоке всасываемого воздуха перед входом в воздухозаборник или в устройство для измерения расхода воздуха на расстоянии не более 0,15 м от входа.

Пробы для определения выбросов вредных веществ с отработавшими газами и дымности отработавших газов следует отбирать газоотводными устройствами, присоединенными к выпускной трубе.

Таблица 1.1 – Определяемые параметры двигателей и погрешности их измерения

Наименование и обозначение параметров	Размерность	Средство измерения	Погрешность измерения
Крутящий момент M_k	Н*м	Динамометрические устройства	$\pm 0,5\%$
Частота вращения коленчатого вала n	мин ⁻¹	Тахометры по ГОСТ 21339-82	-«-
Расход топлива G_T	кг/ч (г/с)	Расходомеры топлива электронные КИ-13967, АИР-50	$\pm 0,5-1,5\%$
Атмосферное давление P_0	кПа	Барометр-анероид метеорологический	$\pm 1,0\%$
Давление наддува P_k	МПа	Манометры, показывающие по ГОСТ 8.302-78	$\pm 0,5\%$
Давление масла в системе смазки P_k	МПа	-«-	$\pm 0,2\%$
Температура окружающего воздуха, топлива t_0 (t_T)	°С	Термометры ртутные ГОСТ-2823-73	$\pm 1^\circ\text{C}$
Температура охл. жидкости и масла $t_{ож}$ (t_M)	°С	Термопары с электронными потенциометрами ГОСТ 6617-74	$\pm 3^\circ\text{C}$
Температура отработавших газов t_T	°С	-«-	$\pm 10^\circ\text{C}$
Относительная влажность воздуха δ_0	%	Психрометры аспирационные	$\pm 3,0\%$
Концентрация вредных выбросов в отработавших газах	г/м ³	Газоанализатор, дымометр	$\pm 3,0\%$
Продолжительность работы двигателя τ	с	Секундомер СОСпр-2Б-3 ГОСТ 5072-79	$\pm 1,0\%$

1.3.2 Обработка результатов испытаний

Параметры двигателя должны определяться в соответствии с формулами или условиями, приведенными ниже.

Эффективная мощность двигателя

$$N_e = M_k * n / 9550, \quad (1.1)$$

где n – частота вращения коленчатого вала, мин^{-1} ; M_k – крутящий момент, Нм.

Среднее эффективное давление

$$P_e = 0,00314 \tau_{gb} M_k / (i * V_h), \quad (1.2)$$

где τ_{gb} – коэффициент тактности двигателя; i – число цилиндров; V_h – рабочий объем цилиндра, л.

Удельный расход топлива

$$g_e = 3,6 * 10^3 * G_T / N_e, \quad (1.3)$$

где G_T – расход топлива, г/с.

Крутящий момент

$$M_k = 7,024 P_y i_{pc} / \eta_{pc}, \quad (1.4)$$

где P_y – нагрузка на циферблате динамометра, кг; i_{pc} – передаточное число редуктора согласования между стендом и двигателем; η_{pc} – КПД редуктора согласования.

Номинальный коэффициент запаса крутящего момента

$$\mu_k \rightarrow \mu_k = 100 (M_{k \max} - M_H) / M_H, \quad (1.5)$$

где $M_{k \max}$ и M_H – соответственно максимальное значение крутящего момента и крутящий момент на режиме номинальной мощности.

Эффективный КПД дизеля

$$\eta_e = 84,3 / g_e, \quad (1.6)$$

двигателя с искровым зажиганием

$$\eta_e = 82,7 / g_e. \quad (1.7)$$

Условная мощность механических потерь

$$N_M = 0,7355 * 10^{-3} * P_y * n * i_{pc} / \eta_{pc}. \quad (1.8)$$

где P_y – нагрузка на циферблате динамометра при вращении коленчатого вала от электродвигателя с частотой n и выключенной подачей топлива, кг.

Относительный расход масла на угар

$$g_{\text{м уГ}} = 100 \Delta G_{\text{м уГ}} / \Delta G_{\text{Т}}, \quad (1.9)$$

где $\Delta G_{\text{Т}}$ – расход топлива за время определения расхода масла на угар $\Delta G_{\text{м}^* \text{уГ}}$, кг.

Выброс вредных веществ с отработавшими газами

$$G_{\text{ВВ}} = G_{\text{В}} V_{\text{О}} W_{\text{ВВ}}, \quad (1.10)$$

где $G_{\text{В}}$ – расход воздуха, поступающего в цилиндры двигателя, кг/ч; $V_{\text{О}}$ – удельный объем отработавших газов при стандартных атмосферных условиях, м³/кг; $W_{\text{ВВ}}$ – концентрация вредных веществ в отработавших газах, м³/кг.

Расход воздуха с достаточной достоверностью можно определить как

$$G_{\text{В}} = \frac{i \cdot V_{\text{h}} \cdot n \cdot 3480 P_{\text{к}}}{\tau (t_{\text{о}} + 273)}, \quad (1.11)$$

где V_{h} – рабочий объем цилиндра, м³; $P_{\text{к}}$ – давление наддува (для двигателя без наддува $P_{\text{к}} = P_{\text{о}}$), МПа; $t_{\text{о}}$ – температура окружающей среды, °С.

Расчет остальных параметров двигателя при стендовых испытаниях производится по приведенным ниже зависимостям.

Условный механический КПД

$$\eta_{\text{м}} = \frac{N_{\text{е}}}{N_{\text{е}} + N_{\text{м}}}. \quad (1.12)$$

Степень неравномерности регулятора частоты вращения

$$\delta = \frac{200(n_{\text{xmax}} - n_{\text{р}})}{n_{\text{xmax}} + n_{\text{р}}}. \quad (1.13)$$

Индикаторная мощность

$$N_{\text{и}} = N_{\text{е}} + N_{\text{м}}. \quad (1.14)$$

Индикаторный КПД

$$\eta_i = \frac{84,3}{g_i}. \quad (1.15)$$

Коэффициент избытка воздуха

$$\alpha = \frac{G_B}{14,3G_T}. \quad (1.16)$$

Плотность окружающего воздуха

$$\rho_o = \frac{3480P_o}{t_o+273}. \quad (1.17)$$

Коэффициент наполнения двигателя без наддува

$$\eta_v = \frac{33,6G_B}{iV_{hn}\rho_o}. \quad (1.18)$$

Плотность воздуха после компрессора дизеля с наддувом

$$\rho_k = \frac{3480\rho_k}{t_k+273}. \quad (1.19)$$

Коэффициент наполнения дизеля с наддувом

$$\eta_{v_k} = \frac{33,6G_B}{iV_{hn}\rho_k}. \quad (1.20)$$

1.3.3 Приведение параметров двигателя к стандартным условиям

Расход топлива (массовый и удельный), приведенный к стандартным условиям:

$$G_{TO} = K_1 * G_T, \quad (1.21)$$

$$g_{eo} = K_2 * g_e, \quad (1.22)$$

для дизелей с газотурбинным наддувом

$$g_{eo} = K_3 * g_e, \quad (1.23)$$

где K_1 – поправочный коэффициент, учитывающий отклонение температуры и плотности топлива от стандартных условий; K_2 , K_3 – по-

правочные коэффициенты, учитывающие давление и температуру окружающей среды.

Мощность и крутящий момент, приведенные к стандартным условиям, рассчитывают по следующим формулам:

для двигателей со свободным впуском

$$N_{eo} = \frac{K_1}{K_2} N_e, \quad (1.24)$$

$$M_{ko} = \frac{K_1}{K_2} M_k, \quad (1.25)$$

для дизелей с газотурбинным наддувом

$$N_{eo} = \frac{K_1}{K_3} N_e, \quad (1.26)$$

$$M_{ko} = \frac{K_1}{K_3} M_k. \quad (1.27)$$

Значения коэффициентов K_1 , K_2 , K_3 приведены в таблицах 1.2–1.6 [3].

Таблица 1.2 – Значения поправочного коэффициента K_1 при приведении расхода топлива к стандартной температуре и плотности топлива

Температура топлива в расходомере, С°	Плотность топлива, кг/л			
	0,80	0,82	0,84	0,86
0	1,01	0,98	0,96	0,94
10	1,02	1,00	0,97	0,95
20	1,04	1,01	0,99	0,96
30	1,05	1,03	1,00	0,98
40	1,07	1,04	1,02	1,00
50	1,09	1,06	1,03	1,01

Таблица 1.3 – Значения поправочного коэффициента K_2 при приведении мощности дизеля со свободным впуском к стандартным атмосферным условиям

Барометрическое давление, КПа	Температура окружающей среды, °С					
	0	10	20	30	40	50
87,9	0,97	0,96	0,94	0,92	0,90	0,88
88,8	0,98	0,97	0,95	0,93	0,91	0,82
91,8	0,99	0,98	0,96	0,94	0,92	0,89
93,2	1,00	0,98	0,97	0,95	0,93	0,90
95,8	1,01	0,99	0,98	0,96	0,94	0,91
97,8	1,02	1,00	0,99	0,97	0,94	0,92
99,8	1,03	1,01	0,99	0,98	0,95	0,93
101,8	1,04	1,02	1,00	0,89	0,96	0,94
103,8	1,05	1,03	1,01	0,99	0,97	0,94
105,8	1,06	1,04	1,02	1,00	0,98	0,95

Таблица 1.4 – Значения поправочного коэффициента K_3 при приведении мощности дизеля с газотрубным наддувом к стандартным атмосферным условиям

Барометрическое давление, КПа	Температура окружающей среды, °С					
	0	10	20	30	40	50
87,9	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94
88,8	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	0,94
91,8	1,01	1,00	0,99	0,98	0,96	0,95
93,2	1,01	1,00	0,99	0,98	0,97	0,95
95,8	1,01	1,00	0,99	0,98	0,97	0,95
97,8	1,02	1,01	1,00	0,98	0,97	0,96
99,8	1,02	1,01	1,00	0,99	0,98	0,96
101,8	1,02	1,01	1,00	0,99	0,98	0,96
103,8	1,02	1,01	1,00	0,99	0,98	0,97
105,8	1,03	1,02	1,01	1,00	0,98	0,97

**Таблица 1.5 – Значения поправочного коэффициента K_1
для двигателей с искровым зажиганием**

Температура топлива в баке, °С	0	10	20	30	40	50
K_1	0,98	0,99	1,0	1,01	1,02	1,02

**Таблица 1.6 – Значения коэффициента K_2 для двигателей
с искровым зажиганием**

Барометр давление, КПа	Температура окружающего воздуха, °С				
	10	20	30	40	50
89	0,97	0,95	0,93	0,91	0,89
93	0,98	0,97	0,95	0,93	0,90
96	1,0	0,99	0,97	0,94	0,92
102	1,02	1,0	0,98	0,96	0,94
106	1,04	1,02	1,0	0,98	0,95

1.4 Требования безопасности и производственной санитарии

При стендовых испытаниях должны выполняться требования безопасности производственной санитарии, предусмотренные стандартами, техническими условиями и технической документацией предприятий-изготовителей на двигатели, испытательные стенды, измерительные приборы, топлива, масла и охлаждающие жидкости.

Шум, микроклимат и содержание вредных веществ в воздухе зоны рабочих мест испытателей, а также вибрация на рабочих местах и на органах управления двигателем, испытательным стендом и измерительными приборами не должны превышать предельно допустимых значений, предусмотренных санитарными нормами.

Вращающиеся детали двигателя, испытательного стенда и измерительных приборов должны иметь защитные ограждения.

Выпускные трубопроводы стенда и выпускной ресивер должны иметь тепловую защиту; температура их наружных поверхностей не должна превышать 70 °С.

Не допускается применять этилированные бензины для питания двигателей и для промывки деталей.

Контрольные вопросы

1. На какую величину отличаются номинальная и эксплуатационная мощности дизеля?
2. В чем отличие мощности нетто от мощности брутто автомобильного двигателя?
3. Что называется удельным расходом топлива и как он определяется?
4. Каким показателем оцениваются динамические качества двигателя?
5. Назовите основные виды испытаний автотракторных двигателей.
6. Как определяется количество выброса вредного вещества с отработавшими газами?
7. Как определяется мощность двигателя при стендовых испытаниях?
8. Какими показателями оцениваются механические потери в двигателе?
9. Как определяется расход масла на угар?
10. Как рассчитываются индикаторные показатели двигателя?
11. Что характеризуют коэффициент наполнения и коэффициент избытка воздуха?

2 СТЕНДОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОБКАТКИ И ИСПЫТАНИЙ АВТОТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

2.1 Устройство и режимы работы обкаточно-тормозных стендов

Для обкатки и испытаний автомобильных и тракторных двигателей обычно применяют электрические тормозные стенды. При всем многообразии тормозов основу их конструкции составляют ротор, вращающийся вместе с валом двигателя, и статор, совершающий угловое перемещение около оси ротора при балансирной подвеске его.

Главными определяющими параметрами тормозных стендов служат тормозной момент M_T , допускаемая n_T и синхронная n_c частота вращения ротора, тормозная мощность N_T .

Неотъемлемой частью тормозного устройства является динамометр для измерения окружного усилия или крутящего момента, развиваемого двигателем.

Наибольшее применение для обкатки и испытаний двигателей при ремонте нашли обкаточно-тормозные стенды, состоящие из асинхронных балансирных электрических машин трехфазного тока с фазовыми обмотками ротора, жидкостного регулирующего реостата, весового (измерительного) устройства, пусковой аппаратуры, установочных и соединительных устройств, системы измерения расхода топлива (рис. 2.1).

Особенность асинхронных машин заключается в том, что они могут работать на обкаточно-тормозных стендах в двух режимах: двигательном и генераторном, с изменениями частоты вращения ротора и крутящего момента (рис. 2.2).

Для обкаточно-тормозных стендов применяют асинхронные двигатели с синхронной частотой вращения ротора $n_c = 750$ и 1500 мин^{-1} .

Двигательный режим. На этом режиме асинхронный двигатель питается от электрической сети при интервале частоты вращения ротора от нуля до синхронной n_c . Максимальный крутящий момент достигается при коэффициенте скольжения $0,15-0,25$ [3] и может превышать номинальный в $1,8-2,3$ раза. Номинальное значение мощности и

крутящего момента в указанном режиме отмечается при частоте вращения $n_H = (0,95-0,97)n_c$.

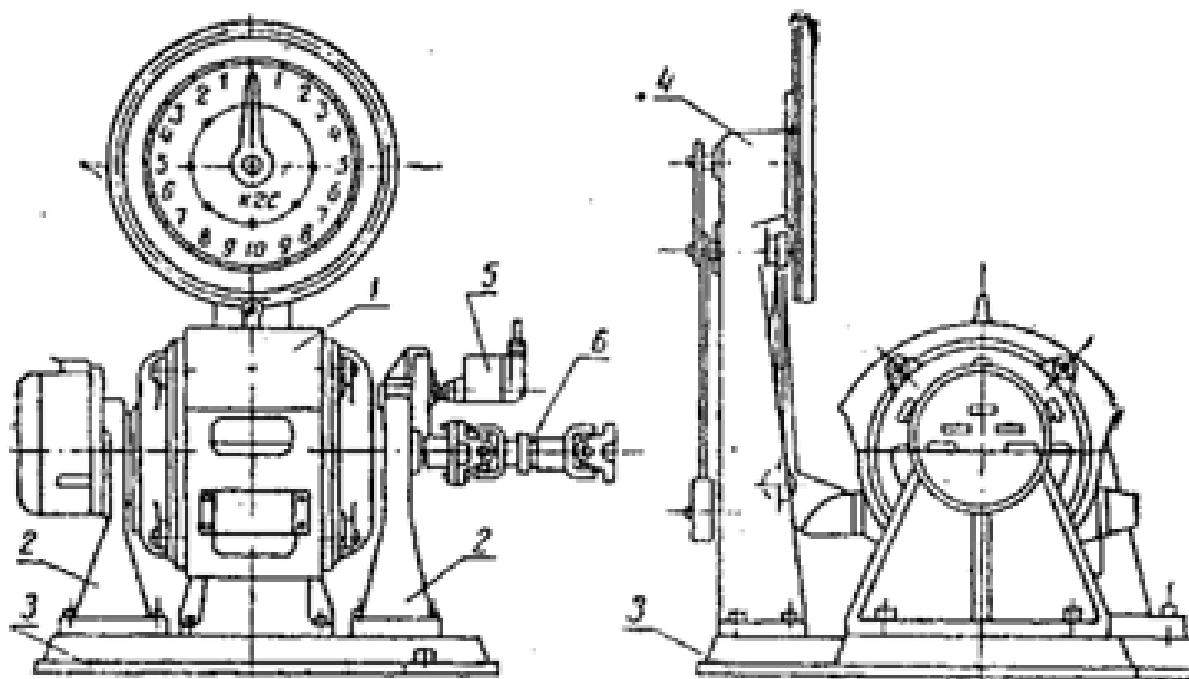


Рисунок 2.1 – Электрический стенд с асинхронной машиной:

- 1 – асинхронная машина; 2 – стойка; 3 – плита; 4 – весовой механизм; 5 – датчик электрического тахометра; 6 – карданный вал

Пусковой момент электромашин достигает максимального значения при включении дополнительного сопротивления в обмотку ротора. Это свойство асинхронного двигателя используется в обкаточно-тормозных стендах для преодоления момента сопротивления троганию коленчатого вала испытываемого двигателя.

При работе электромашин вращающий момент ротора создает равный по величине реактивный момент на статоре, который стремится поворачивать корпус электромашин в противоположном направлении. По реактивному моменту с помощью весового механизма определяется тормозной момент, или момент сопротивления.

Генераторный режим. В генераторном режиме электромашин начинает работать автоматически, если частота вращения ротора превышает синхронную частоту. При этом обкаточно-тормозной стенд загружает испытываемый двигатель. Регулирование нагрузки достигается за счет изменения добавочного сопротивления, присоединенного к обмотке ротора, посредством жидкостного регулировочного

реостата стенда (рис. 2.3). В этом случае электрическая машина значительную часть мощности испытываемого двигателя преобразует в электрическую энергию, которую отдает в сеть. Реактивный момент на статоре электромашины равен крутящему моменту испытываемого двигателя. Его численное значение показывает стрелка циферблата весового механизма.

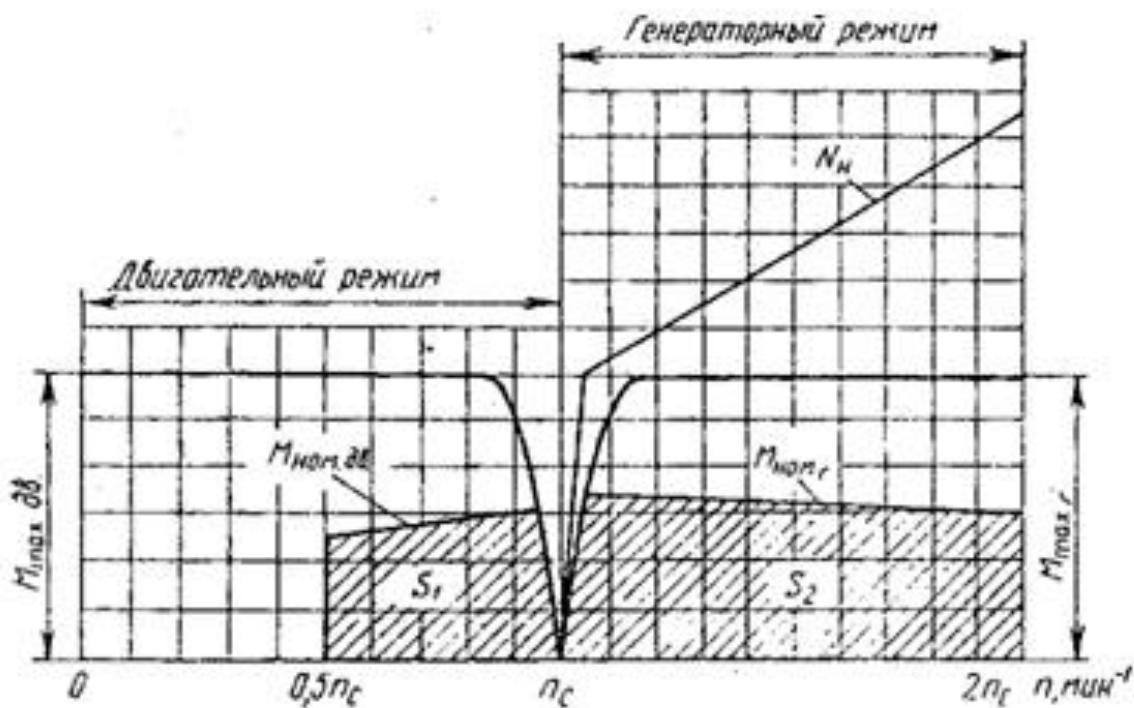


Рисунок 2.2 – Характеристика обкаточно-тормозных стендов:

$M_{\max \text{ дв}}$ – максимальный крутящий момент; $M_{\text{ном дв}}$ – номинальный крутящий момент; S_1 – номинальное поле двигательных режимов; S_2 – номинальное поле тормозных режимов; N_n – номинальная тормозная мощность; $M_{\text{ном г}}$ – номинальный тормозной момент; $M_{\max \text{ г}}$ – максимальный тормозной момент; n_c – синхронное число оборотов

Для контроля частоты вращения коленчатого вала испытываемого двигателя на крышке задней (левой) стойки электромашины смонтирован датчик дистанционного тахометра ТМиЗ, измеритель которого находится на приборной стойке.

Для измерения частоты вращения коленчатого вала на приборной стойке имеется цифровой тахометр, бесконтактный датчик которого установлен также на крышке стойки. Зазор между датчиком и шестерней должен находиться в пределах 0,5-1,5 мм.

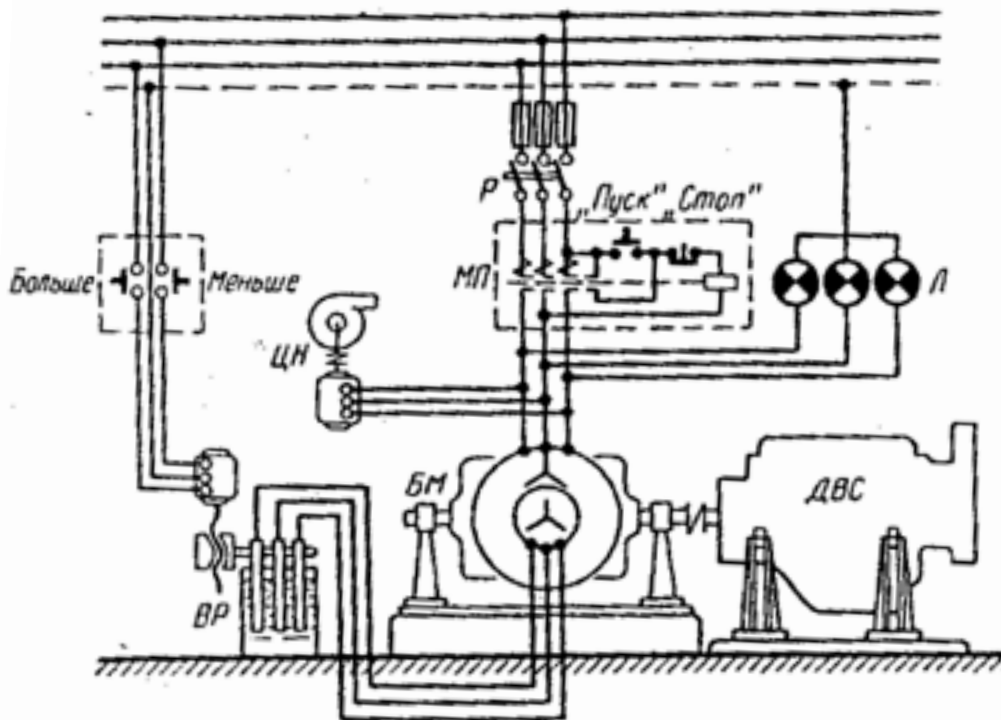


Рисунок 2.3 – Электрическая система тормозного стенда:

Р – рубильник; МП – магнитный пускатель; Л – сигнальные лампы; БМ – балансирная машина – асинхронный электродвигатель с фазовым ротором; ДВС – испытуемый двигатель внутреннего сгорания; ВР – водяной реостат в цепи ротора; ЦН – циркулярный насос системы охлаждения водяного реостата

Ротор электромашины соединяется с испытуемым двигателем посредством карданного вала, позволяющего устанавливать двигатель относительно электромашины с допустимым смещением ± 5 мм. Карданный вал закрыт ограждением, имеющим откидной люк.

Устройство для измерения крутящего момента кронштейном связано со статором электромашины. При повороте статора электромашины через передаточный механизм отклоняется стрелка циферблата. Для уравновешивания момента на статоре установлен рычаг с грузом (маятником). Шкала циферблата протарирована в обе стороны от нулевого значения для контроля момента сопротивления обкатываемого двигателя и тормозного момента.

Для гашения колебаний маятника, возникающих при резком изменении нагрузки или напряжения в цепи, служит демпфер, представляющий собой цилиндр, внутри которого находится поршень

с двумя отверстиями и залито 0,85 л индустриального масла. При колебании маятника поршень демпфера перемещается, а находящееся в цилиндре масло по отверстиям в поршне перетекает из одной полости в другую, создавая определенное сопротивление движению поршня и качанию маятника.

Реостат жидкостный служит для пуска электромашины, регулирования частоты вращения ее ротора при холодной обкатке двигателя и регулирования тормозного момента в процессе горячей обкатки и испытания двигателя. Реостат (рис. 2.4) состоит из бака емкостью 300-640 л, наполненного водой с растворенной в ней кальцинированной содой. Раствор должен иметь концентрацию $2\pm 1\%$. Температура раствора в пределах $50-60^{\circ}\text{C}$ обеспечивается его перемешиванием центробежным насосом и подключением рубашки охлаждения реостата через регулятор температуры к водопроводу. Уровень раствора должен быть не ниже 100 мм от верхнего края бака.

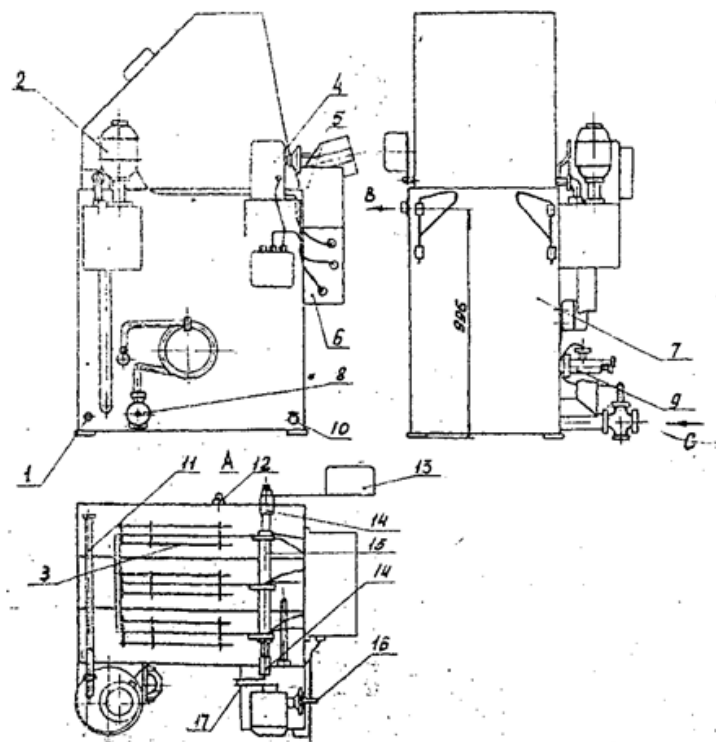


Рис. 2.4 – Реостат:

1 – патрубок; 2 – насос центробежный; 3 – секторы; 4 – механизм исполнительный; 5 – ограждение; 6 – коробка распределительная; 7 – бак; 8 – регулятор температуры; 9 – датчик регулятора; 10 – болт заземления; 11 – труба сливная; 12 – патрубок сливной; 13 – груз; 14 – кронштейн; 15 – вал; 16 – рукоятка; 17 – рычаг; А – кожух снят; В – отвод воды; С – подвод воды

В комплект стенда входят топливный бак емкостью 300 л, устройство для определения расхода топлива с циферблатными весами (рис. 2.5).

Для размещения аппаратуры дистанционного управления, сигнализации и контрольно-измерительных приборов служит приборная стойка (рис. 2.6).

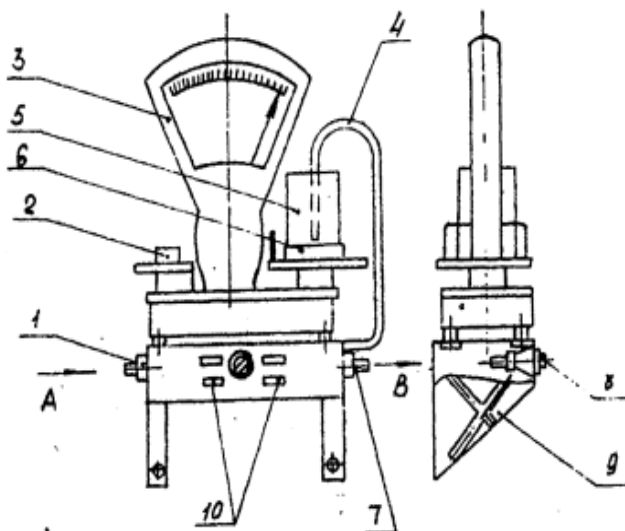


Рисунок 2.5 – Расходомер топлива:

1 – трубопровод; 2 – гиря и груз уравнивающий; 3 – весы; 4 – трубка бака; 5 – сосуд стеклянный; 6 – обод; 7 – трубопровод; 8 – кран трехходовой; 9 – полка; 10 – таблички; А – из бака; В – к двигателю

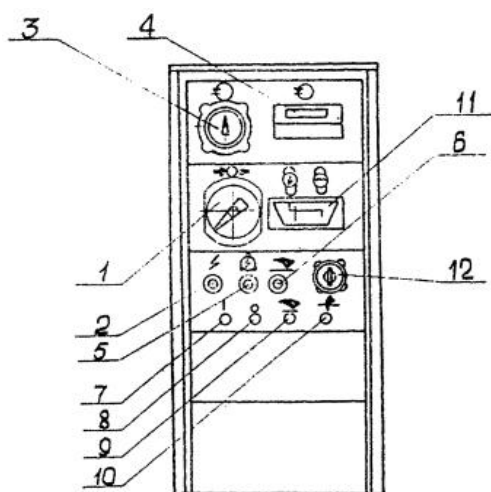


Рисунок 2.6 – Стойка приборная:

1 – манометр; 2,5,6, – лампы сигнальные; 3,4, – тахометры; 7–10 – кнопки; 11 – милливольтметр; 12 – переключатель

2.2 Обоснование параметров стенда

Асинхронные двигатели могут воспринимать кратковременные, в течение 3-5 мин, перегрузки до 20% номинального значения крутящего момента. Это свойство можно использовать при испытаниях автотракторных двигателей, мощность которых превышает мощность электрической машины в генераторном режиме. Мощность электрической машины в генераторном режиме примерно в два раза выше, чем в двигательном режиме.

При работе стенда с частотой вращения $2 n_c$ или близкой к ней не рекомендуется допускать величину крутящего момента испытуемого двигателя более 90% величины предельного тормозного момента электромашины.

В России серийно выпускается несколько моделей обкаточно-тормозных стендов на базе асинхронных электромашин для обкатки и испытаний автотракторных двигателей. Технические характеристики основных стендов приведены в таблице 2.1, а на рисунке 2.7 показаны графически возможные поля их тормозной мощности, которой может быть загружен испытываемый двигатель.

Для увеличения тормозной мощности и расширения скоростного интервала работы электротормозного стенда на его базе создают комбинированные стенды с применением догрузателей или мультипликаторов (редукторов).

При выборе модели обкаточно-тормозного стенда надо исходить из того, чтобы номинальный крутящий момент электромашины в двигательном режиме был не менее номинального крутящего момента двигателя, а номинальная частота вращения коленчатого вала двигателя превышала синхронную частоту вращения ротора электромашины n_c не менее чем на 30% [4] и не более чем в два раза.

Максимальные крутящий момент и частота вращения коленчатого вала испытуемого двигателя не должны превышать предельных значений тормозного момента и частоты вращения ротора электромашины по технической характеристике стенда. Максимальная частота вращения коленчатого вала двигателя в режиме холодной обкатки должна быть ниже синхронной частоты n_c не менее чем на 5% [5].

Догружатели используют при испытаниях автотракторных двигателей с номинальной мощностью, превышающей установленную тормозную мощность базового электростенда.

Для согласования скоростного режима испытываемого двигателя и электромашины, в случае, если номинальная частота вращения коленчатого вала незначительно (менее 30%) превышает синхронную частоту n_c , или наоборот, превышает ее более чем в два раза, применяют многоступенчатые повышающие или понижающие редукторы (мультипликаторы).

Кафедрой "Тракторы и автомобили" КрасГАУ разработан и внедрен ряд комбинированных обкаточно-тормозных стендов, общее устройство, характеристики и режимы работы некоторых из них показаны ниже.

Таблица 2.1 – Техническая характеристика стендов для обкатки и испытания автотракторных двигателей

Марка и мощность стенда, кВт	Синхр. частота вращения ротора, мин ⁻¹	Пределы регулирования частоты вращения при обкатке, мин ⁻¹		Макс. тормозной момент, Нм	Параметры двигателей при обкатке и испытаниях $N_{eэ}$, кВт, n_n , мин ⁻¹
		холодной	горячей с нагрузкой		
КИ-5274, 160	1500	600-1440	1700-3000	1050	100-280, 1700-2800
КИ-5540М, 90	1500	500-1400	1700-3000	700	70-150, 1700-2800
КИ-5541М, 55	750	300-720	800-1500	800	50-130, 1000-1350
КИ-5543, 54	1500	500-1400	1700-3000	360	15-100, 1700-2800

Комбинированный обкаточно-тормозной стенд (рис. 2.8) выполнен на базе серийного электрического обкаточно-тормозного стенда КМ-5543 и включает в себя базовый электротормозной стенд 14, гидравлический догрузатель, основную 10 и универсальную моторную 9 рамы, систему охлаждения 7 обкатываемого двигателя 8.

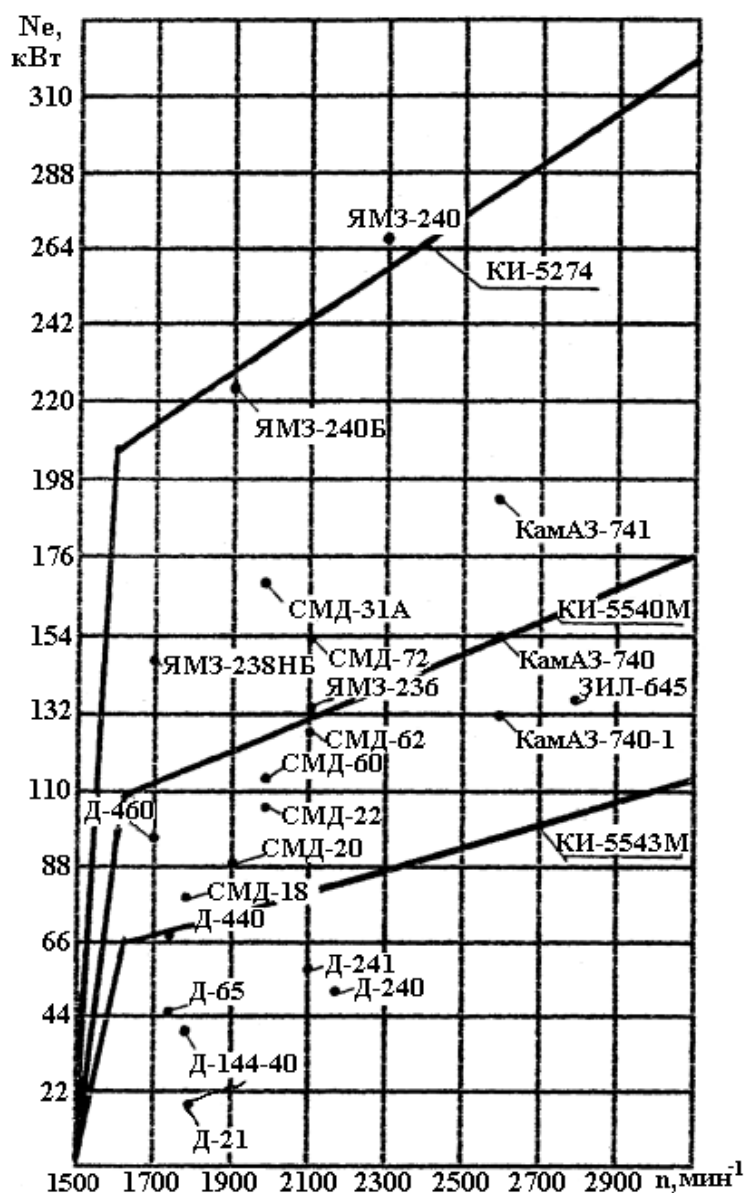


Рисунок 2.7 – Характеристики обкаточно-тормозных стендов

В комплект гидравлического догрузателя, предназначенного для создания дополнительного тормозного момента, входят гидро-насосы 13 с приводом от раздаточного редуктора 12, регулируемый дроссель 3 с манометром 4, охладитель масла 1 с вентилятором 2 и масляный бак 5.

В качестве раздаточного редуктора использован модернизированный редуктор привода насосов трактора К-701, установленный при помощи кронштейнов на основной раме между электротормозным стендом и обкатываемым двигателем. Редуктор обеспечивает постоянную связь стенда и двигателя посредством карданных валов 11 и позволяет отключать насосы гидравлического догрузателя.

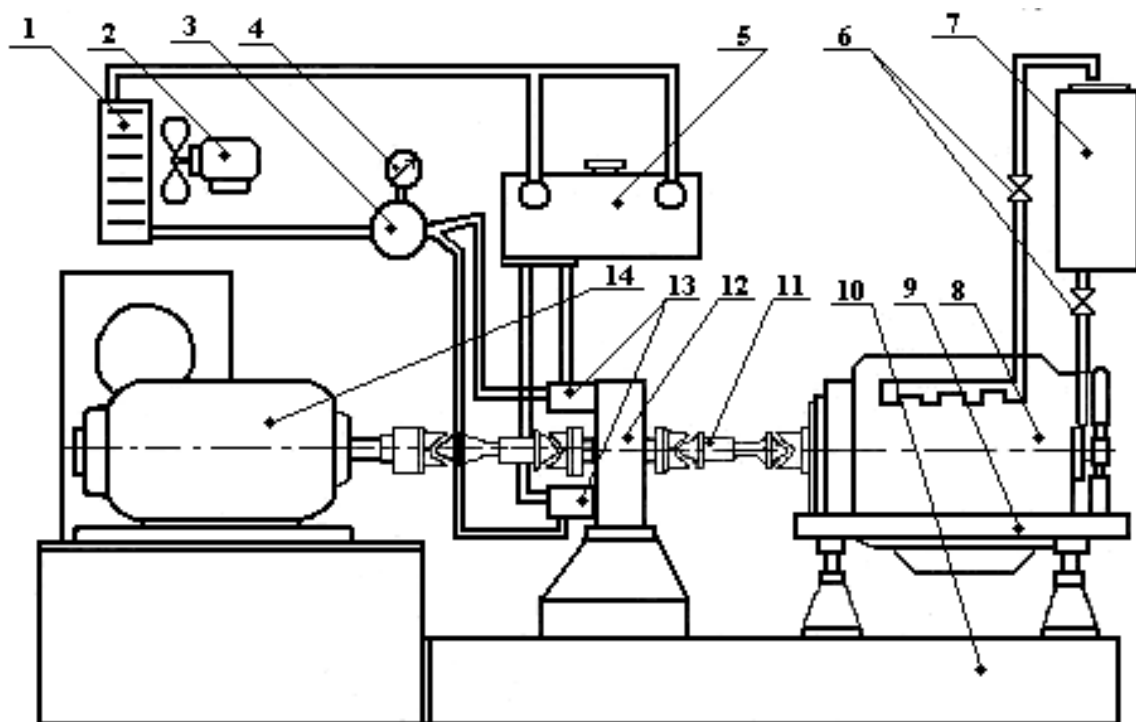


Рисунок 2.8 – Схема комбинированного обкаточно-тормозного стенда:
 1 – охладитель масла гидродогрузателя; 2 – вентилятор; 3 – регулируемый дроссель; 4 – манометр; 5 – масляный бак; 6 – запорные вентили; 7 – бак системы охлаждения двигателя; 8 – обкатываемый двигатель; 9 – универсальная моторная рама; 10 – основная рама; 11 – карданный вал; 12 – раздаточный редуктор; 13 – гидронасосы; 14 – электротормозной стенд

В качестве раздаточного редуктора использован модернизированный редуктор привода насосов трактора К-701, установленный при помощи кронштейнов на основной раме между электротормозным стендом и обкатываемым двигателем. Редуктор обеспечивает постоянную связь стенда и двигателя посредством карданного вала 11 и позволяет отключать насосы гидравлического догрузателя.

Универсальная моторная рама соединена неподвижно с регулирующими по высоте стойками, закрепленными на основной раме, и оснащена набором кронштейнов для установки основных моделей двигателей без существенной ее переналадки и регулирования расположения в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

Для обеспечения надлежащего теплового режима обкатываемого двигателя заборный и сливной трубопроводы бака системы охлаждения 7 оснащены регулирующими кранами 6.

Тормозная характеристика комбинированного стенда позволяет реализовать все режимы горячей обкатки под нагрузкой и проводить приемо-сдаточные испытания автотракторных двигателей с номинальной мощностью до 180 кВт (рис. 2.9).

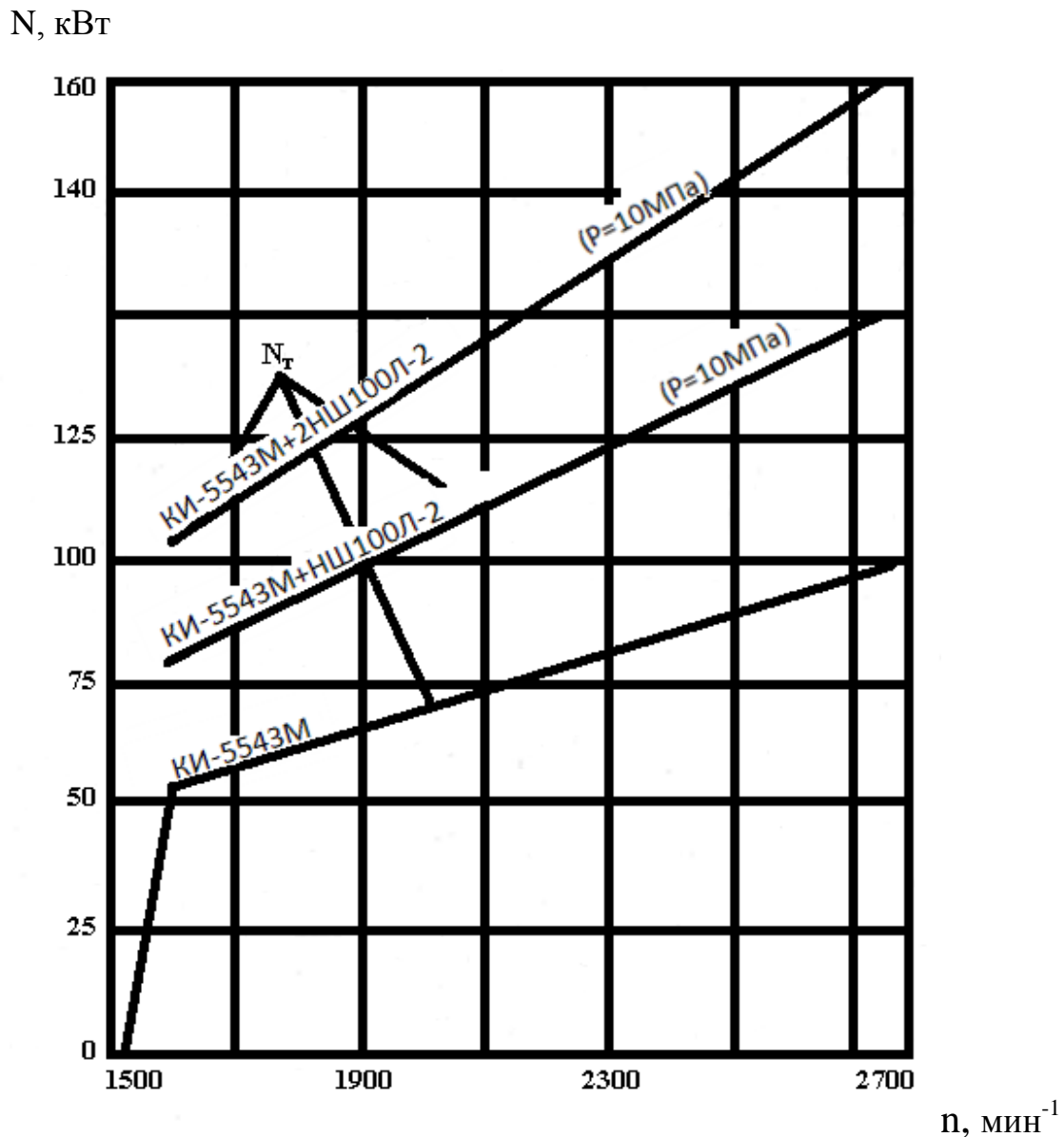


Рисунок 2.9 – Тормозная характеристика комбинированного стенда

Порядок обкатки и испытания двигателей на комбинированном стенде заключается в следующем. При холодной и горячей обкатке на холостом ходу, а также обкатке под нагрузкой на режимах, расположенных в зоне тормозной мощности электрического стенда, гидронасосы 13 отключаются. На режимах обкатки, при которых тормозной мощности стенда оказывается недостаточно для загрузки двигателя и приемо-сдаточных испытаниях, включают один или два гидронасоса

с настройкой соответствующего давления дросселирования масла. Дополнительная нагрузка двигателя для обеспечения требуемого режима производится электродвигателем.

Дополнительную тормозную мощность, которую обеспечивает гидродогружатель, подсчитывают по формуле

$$N_{\text{гт}} = \sum V_{\text{др}} * P_{\text{др}} 10^3 / \eta_{\text{пр}}, \quad (2.1)$$

где $\sum V_{\text{др}}$ – расход масла на входе через дроссель, м³/с; $P_{\text{др}}$ – давление масла на входе в дроссель, МПа; $\eta_{\text{пр}}$ – КПД привода гидронасосов.

При использовании в гидродогружателе моторного масла М-10-В₂ его температура должна поддерживаться в диапазоне 40-55 °С.

Мультипликатор к стенду КИ-5540М (рис. 2.10) представляет собой коробку передач 1 автомобиля ЗИЛ-130, установленную между стендом 2 и двигателем 3 на опорах 4 с помощью кронштейнов 5 и 6.

Ведущий вал коробки соединяется с валом тормозного стенда при помощи фланцев 7, 9. Ведомый вал коробки соединяется с двигателем карданом 10. Соединительная муфта и карданный вал защищаются кожухами 11 и 12.

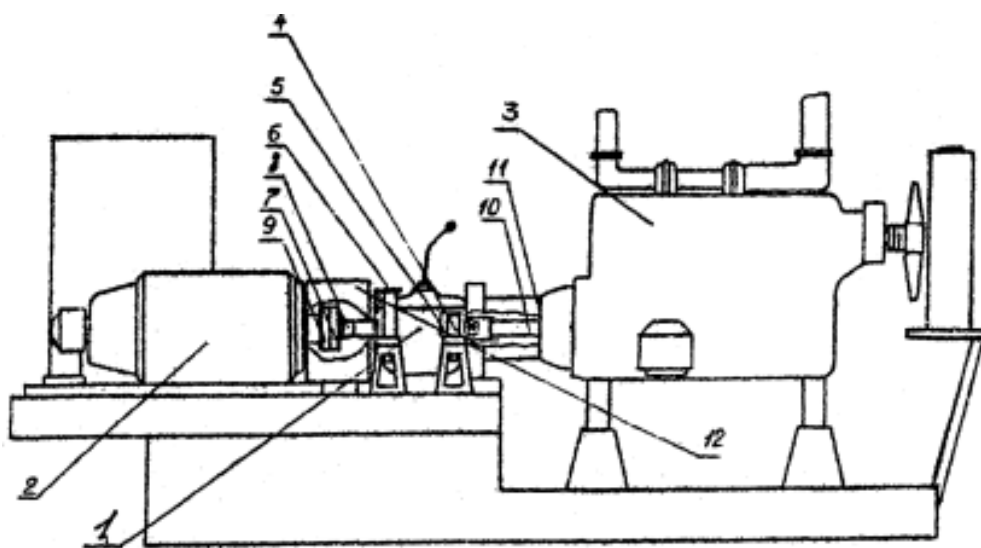


Рисунок 2.10 – Стенд для обкатки двигателей с мультипликатором:

- 1 – коробка передач; 2 – тормозной стенд; 3 – двигатель; 4 – опоры;
- 5,6 – кронштейны; 7,9 – фланец; 8 – ступица; 10 – карданный вал;
- 11,12 – защитные кожухи

При холодной обкатке двигателей в мультипликаторе включается прямая передача, а при горячей обкатке и испытании автотракторных дизелей мощностью до 150 кВт – четвертая передача с переда-

точным числом 1,471, что позволяет полностью загружать испытуемые дизели на всех нагрузочно-скоростных режимах работы.

На рисунке 2.11 приведена схема обкаточно-тормозного стенда КИ-35503 (КИ-5540), оснащенного двухступенчатым планетарным редуктором. Планетарный редуктор со смешанным зацеплением обеспечивает прямую передачу от ведущей солнечной шестерни (ротора электрической машины) до ведомого водила и карданной передачи, соединяющей редуктор и коленчатый вал обкатываемого двигателя с номинальной частотой вращения $n_n \geq 1700 \text{ мин}^{-1}$.

Для обкатки и испытания дизеля Д-180 и его модификаций с $n_n=1070-1250 \text{ мин}^{-1}$ используется пониженная передача редуктора с передаточным числом $i_p \approx 2,4$ (рис. 2.12).

Для снижения затрат при установке разных моделей двигателей стенд оснащен механизмами продольного и поперечного перемещения опорных стоек (рис. 2.11).

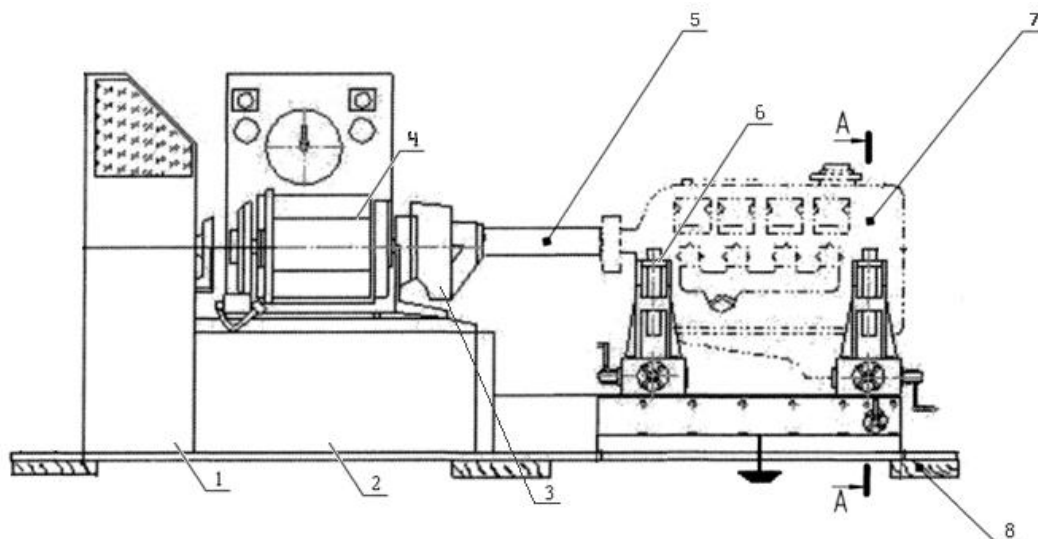


Рисунок 2.11 – Схема обкаточно-тормозного стенда с планетарным редуктором: 1 – реостат; 2 – рама стенда; 3 – редуктор планетарный; 4 – электрическая машина стенда; 5 – вал карданный; 6 – стойка; 7 – двигатель обкатываемый; 8 – вибропоры стенда

Процесс обкатки и испытания двигателей полностью автоматизирован. Нагрузка регулируется электронным блоком контрольно-измерительной системы на базе компьютера (рис. 2.13).

Это обеспечивает непрерывный контроль за процессом обкатки и испытания с удаленного рабочего места, полную автоматизацию работы стенда, мгновенную и безаварийную остановку испытания при превышении заданного значения измеряемых величин, а также

сбор измеряемых данных, их архивирование, обработку, печать протокола, запись на жесткий диск компьютера.

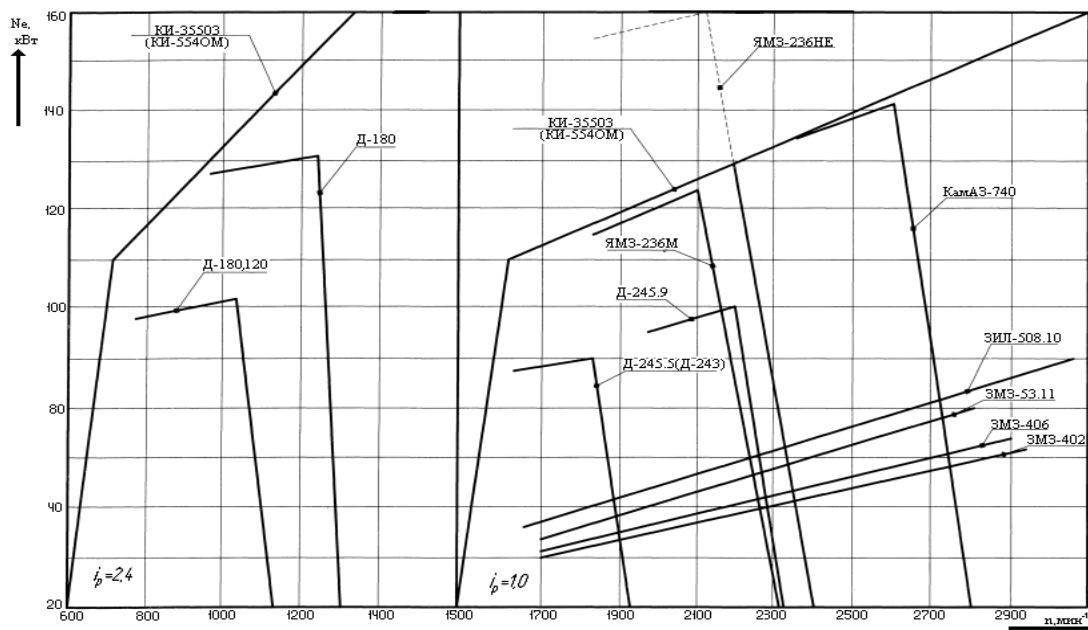


Рисунок 2.12 – Характеристика обкаточно-тормозного стенда с планетарным редуктором

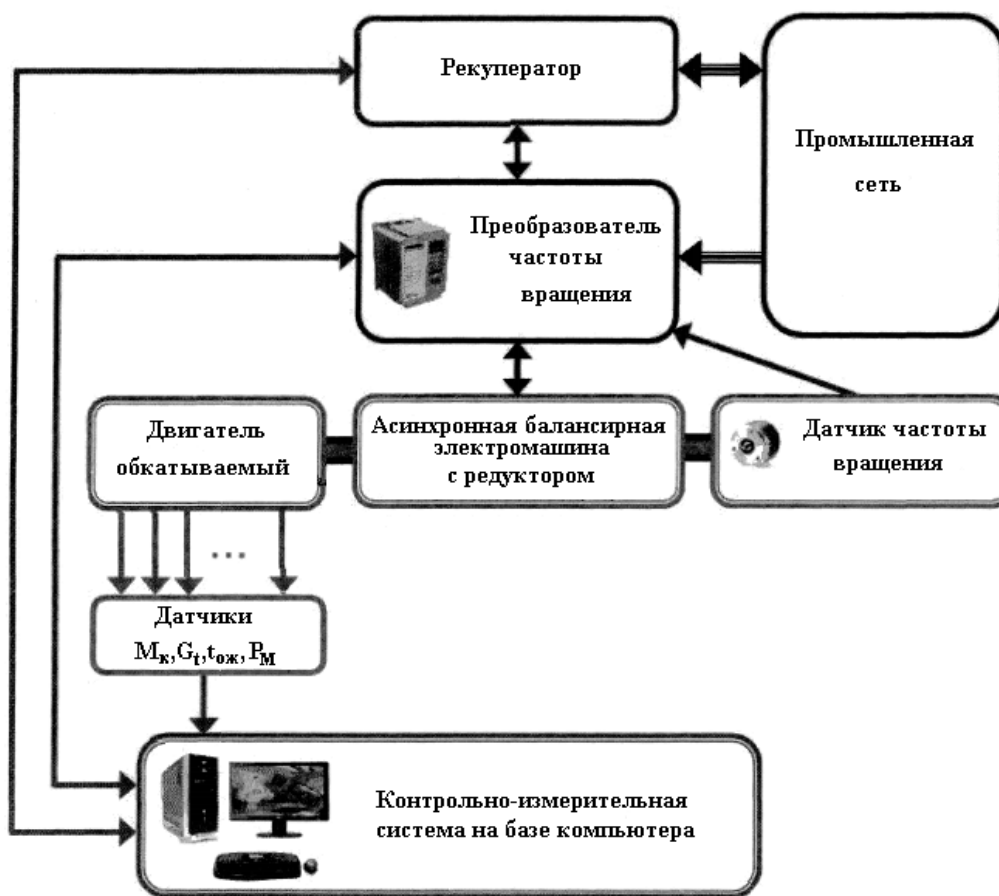


Рисунок 2.13 – Схема управления стендом

2.3 Техническое обслуживание обкаточно-тормозных стендов

Ежедневно необходимо выполнять следующие работы:

1. Очистить стенд от масла и грязи.

2. Проверить надежность крепления составных частей стенда, при необходимости подтянуть их.

3. Проконтролировать состояние приборов, щеток, контактных колец и щеткодержателей электромашины, состояние контактов электроаппаратуры, нагрев корпусов подшипников, надежность заземления стенда, герметичность трубопроводов и их соединений.

4. Проверить наличие смазки в узлах и произвести смазку при необходимости в соответствии с таблицей 2.2.

Один раз в два месяца (не реже при двухсменной эксплуатации стенда) производить следующие работы:

1. Продуть сухим сжатым воздухом электроаппаратуру стенда, контактные кольца ротора, щетки и щеткодержатели электромашины.

2. Проверить состояние щеток и контактных колец – щетки не должны быть смещены на край контактных колец и должны легко перемещаться в обоймах щеткодержателей (при износе щеток по высоте до 23 мм необходимо их заменить).

3. Проверить состояние контактных соединений, подтянуть ослабевшие соединения, удалить окислы и загрязнения.

4. Проверить наличие цепи между заземлением и заземляемыми элементами (обрывы и неудовлетворительные контакты недопустимы).

5. Очистить секторы реостата от налета соды, при их подгорании зачистить и выровнять носки. При износе средних секторов реостата, приводящих к заметному изменению нижних значений предела регулирования режимов электромашины, заменить на новые.

6. Проверить работу устройства для измерения крутящего момента (нагрузки). Для этого груз маятника отклонить на 26-30 град, и, отпустив его, дать свободно качаться. Механизм должен качаться без заеданий, а при его полном успокоении стрелка должна установиться против нулевой отметки на шкале циферблата. Если это условие не выполняется, необходимо произвести установку стрелки, выявив причину неисправности и устранив ее.

Один раз в шесть месяцев (не реже), а также перед проведением поверки, кроме операций, выполняемых один раз в два месяца, и необходимых ремонтных работ, произвести следующие операции:

1. Слить раствор из бака реостата, очистить и промыть бак, прочистить сливную трубу и корпус насоса, залить новый раствор.

2. Снять опорные стойки электромашины, вынуть подшипники, промыть их бензином и смазать.

3. Произвести испытание электрооборудования и аппаратов в соответствии с нормами, объемом и сроками, установленными действующими «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей» и «Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей».

Таблица 2.2 – Смазка узлов обкаточно-тормозного стенда

Место смазки	Кол-во точек смазки	Сорт масла или смазки	Периодичность смазки
Подшипники динамометра (верхний вал, эксцентриковый вал, тяга)	6	Масло И-20-А ГОСТ 20799-88	Через 50 ч
Подшипники опорных стоек	2	-«-	-«-
Зубья шестерен динамометра	2	-«-	-«-
Шарнирное соединение демпфера с рычагом	1	-«-	-«-
Демпфер	1	-«-	Один раз в год заменить, при необходимости доливать
Подшипники вала электромашины	2	ЦИАТИМ-203 ГОСТ 8773-73	Не реже одного раза в 6 месяцев
Шлицевое соединение и крестовины карданного вала		-«-	Через 200 ч

2.4 Поверка обкаточно-тормозных стендов

2.4.1 Операции, средства и условия поверки

При проведении поверки должны быть выполнены следующие операции: внешний осмотр, опробование, определение метрологических параметров. Средства поверки указаны в таблице 2.3.

К проведению поверки и обработке результатов допускаются лица, имеющие квалификацию слесаря по КИП V разряда или лаборанта измерительной лаборатории V разряда и удостоверение на право поверки динамометров.

Таблица 2.3 – Операции и средства поверки обкаточно-тормозного стенда

Наименование операции	Средства проверки и их нормативно-технические характеристики
1. Внешний осмотр	-
2. Опробование	-
3. Определение метрологических параметров	-
3.1. Определение отклонения указателя устройства для измерения крутящего (тормозного) момента от нулевой отметки шкалы	Лупа типа ЛИ-4, ГОСТ 8309-75; уровень рамный 200-0,02, ГОСТ 9392-75
3.2. Определение расстояния от оси вращения электромашины до линии действия силы, создающей крутящий (тормозной) момент при юстировке стенда	Штангенрейсмас ШР-1000-0, 1, ГОСТ 164-80; лупа типа ЛИ-4; приспособление для юстировки стенда; гири образцовые IV разряда по 1-5 кг, ГОСТ 7328-82; концевые меры 3-Н2, ГОСТ 9038-83
3.3. Определение относительной погрешности при измерении крутящего (тормозного) момента	Гири образцовые IV разряда; приспособление для юстировки стенда

При поверке должны быть соблюдены следующие условия: температура окружающего воздуха $20 \pm 5^\circ\text{C}$; относительная влажность воздуха 30-80%; атмосферное давление 84-106 кПа; отсутствие влияния вибраций и электромагнитных полей на показания измеритель-

ных приборов; стенд должен быть установлен на фундаменте или раме по уровню.

Перед проведением поверки выполнить следующие подготовительные работы: надежно заземлить стенд; поверяемый стенд и средства поверки подготовить к работе в соответствии с технической документацией на них; поверку стенда после настройки регулировки и технического обслуживания проводить не ранее чем через 30 мин; при поверке обеспечить соблюдение требований безопасности, установленных технической документацией на стенды данного типа.

2.4.2 Проведение поверки

Внешний осмотр

При внешнем осмотре должно быть установлено:

- 1) соответствие комплектности стенда требованиям технической документации на него;
- 2) отсутствие видимых повреждений составных частей стенда, приборов, электрооборудования, препятствующих проведению поверки;
- 3) наличие заземления стенда;
- 4) наличие приспособлений для юстировки и технической документации на средства измерения, встроенные в стенд;
- 5) наличие свидетельств (отметок) периодической поверки средств измерения, встроенных в стенд.

Опробование

Опробование проводят при одном любом значении воспроизводимой (измеряемой) величины в соответствии с требованиями документации на конкретный тип стенда.

При опробовании стенда проверить:

- 1) взаимодействие всех составных частей стенда;
- 2) правильность функционирования органов управления;
- 3) работоспособность средств измерения;
- 4) возможность осуществления операций по холодной и горячей обкатке двигателя.

После опробования масло из демпфера слить, а соединительный (карданный) вал отсоединить.

Определение отклонения указателя устройства для измерения крутящего (тормозного) момента от нулевой отметки шкалы

Отклонение указателя устройства для измерения крутящего момента от нулевой отметки шкалы определяют при ненагруженном стенде методом прямых измерений в последовательности, изложенной ниже.

1. Перевести маятник устройства в одно из крайних положений и отпустить его. После успокоения маятника указатель должен установиться против нулевой отметки. Отклонение указателя от нулевой отметки определяют с помощью лупы по шкале устройства в долях деления шкалы.

2. Перевести маятник в другое крайнее положение и отпустить его. Определить отклонение указателя от нулевой отметки.

Маятник приводят в колебательное движение не менее пяти раз, меняя поочередно его крайнее положение.

Предельное отклонение указателя от нулевой отметки не должно превышать 0,5 деления шкалы [6].

Допускается корректировать начальное положение указателя с помощью регулировочного приспособления на оси указателя, если указатель отклоняется от нулевой отметки шкалы на величину, превышающую допустимую. При этом серия измерений повторяется вновь.

Определение расстояния от оси вращения электромашины до линии действия силы, создающей крутящий (тормозной) момент при юстировке стенда

Расстояние от оси вращения электромашины до линии действия силы, создающей крутящий (тормозной) момент при юстировке стенда, определяют методом прямых измерений в последовательности, изложенной ниже.

1. Измерить штангенциркулем расстояние l_1 между центрами верхних установочных пальцев электромашины под тарировочные рычаги.

2. Измерить штангенрейсмасом расстояние L_1 между центром верхнего отверстия тарировочных рычагов и рабочим ребром призмы.

3. Подсчитать расстояние от оси вращения электромашины до линии действия силы, создающей крутящий (тормозной) момент по формуле

$$L = L_1 + \frac{l_1}{2} = (1019,7 \pm 0,5) \text{ мм.} \quad (2.2)$$

4. Установить на корпусе электромашины приспособление для юстировки (рис. 2.14) и откорректировать начальное положение указателя относительно нулевой отметки шкалы путем наложения технологических грузов или балласта на подвески приспособления для юстировки.

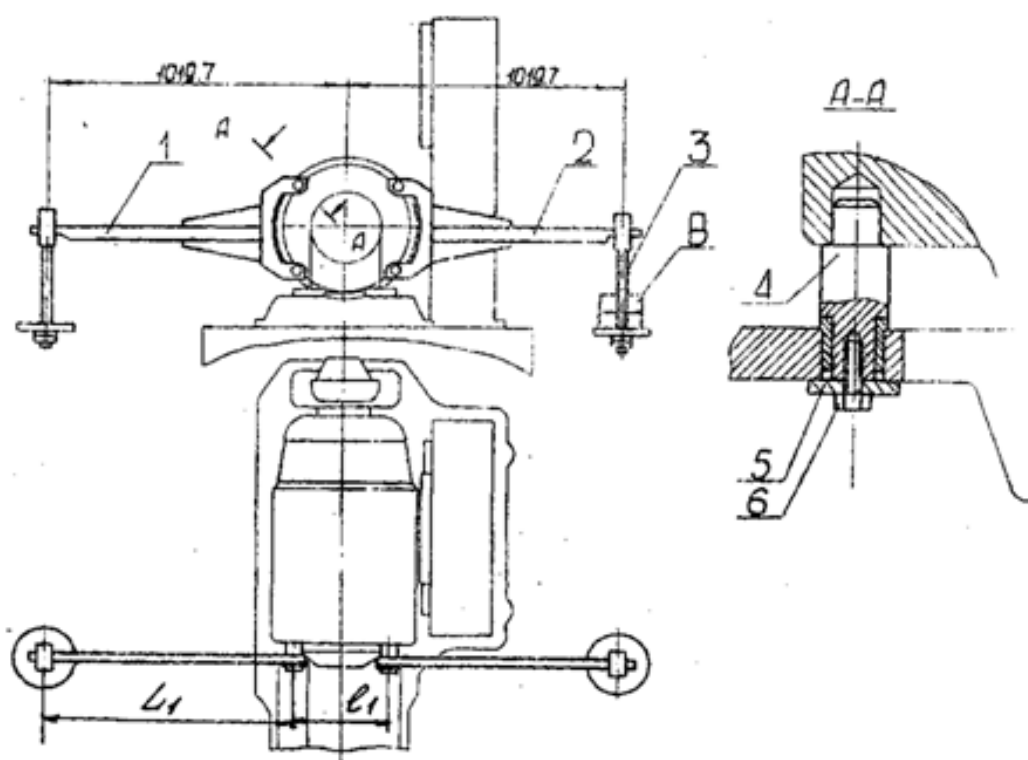


Рисунок 2.14 – Рычаги тарировочные:

1 – рычаг тарировочный левый; 2 – рычаг тарировочный правый;
3 – подвеска с диском; 4 – палец; 5 – шайба; 6 – болт М6Х16;
А-А повернуто; В – тарировочные грузы

5. На правую подвеску поместить гирию номинальной массы 1 кг. При этом указатель должен установиться на отметке 10 Нм (1 кг) основной (тормозного момента) шкалы. Конец указателя должен совпадать со штрихом или устанавливаться так, чтобы между ним и штрихом не было заметно просвета.

6. На левую подвеску поместить гирю номинальной массы 1 кг. При этом указатель должен установиться на нулевой отметке шкалы. Снять с правой подвески гирю. Указатель должен установиться на отметке 10 Нм (1 кг) дополнительной (крутящего момента) шкалы. Снять с левой подвески гирю. Указатель должен вернуться в нулевое положение.

Определение относительной погрешности стенда при измерении крутящего (тормозного) момента

Относительную погрешность стенда при измерении крутящего (тормозного) момента определяют методом прямых измерений момента силы тяги, воспроизводимого с помощью образцовых гирь IV разряда ГОСТ-7328-82 и приспособления для юстировки. Допускается использовать вместо гирь балластные грузы, взвешивание которых должно производиться с помощью лабораторных весов типа ВРЛ-50.

Погрешность стенда определяют для основной (тормозного момента) и дополнительной (крутящего момента) шкал при возрастающих и убывающих значениях момента на отметках шкалы, кратных 100 Нм, в диапазоне от нижнего до верхнего пределов измерения в следующей последовательности:

1. Определить погрешность на отметке шкалы (100 Нм), соответствующей нижнему пределу измерения. Для этого наложить гири на подвеску приспособления для юстировки до значения массы (10 кг), при которой стрелка установится против данной отметки шкалы. Затем осторожно снять с подвески гирю, например, массой 5 кг, подобрать массу гирь на подвеске таким образом, чтобы стрелки вновь установились против этой отметки. Операцию повторить не менее трех раз.

2. Определить действительное значение момента M_{bi} на всех последующих проверяемых отметках через 100 (50) Нм до верхнего предела измерения (400-600 Нм)

$$M_{bi} = m_{bi} * L * g. \quad (2.3)$$

3. Определить действительное значение момента M_{yi} на всех проверяемых отметках в обратной последовательности от верхнего до нижнего предела измерения

$$M_{yi} = m_{yi} * L * g, \text{ Нм}, \quad (2.4)$$

где m_i – номинальная масса гирь, соответствующая проверяемой i -й отметке шкалы при возрастающих (убывающих) значениях момента; g – ускорение свободного падения.

4. Вычислить относительную погрешность Δ_i стенда при измерении возрастающих и убывающих значений крутящего (тормозного) момента в проверяемых отметках

$$\Delta_i = \frac{M_i - M_{Bi}(y_i)}{M_{Bi}(y_i)} 100\%, \quad (2.5)$$

где M_i – показание устройства для измерения крутящего (тормозного) момента в проверяемой точке шкалы, Нм.

Относительная погрешность стенда в рабочем диапазоне измерения крутящего (тормозного) момента не должна превышать $\pm 1\%$. В процессе поверки ведется протокол.

2.4.3 Оформление результатов поверки

Стенд, прошедший поверку с положительными результатами, признают годным к выпуску в обращение и применению.

Положительные результаты поверки стенда должны быть оформлены: при первичной поверке – записью результатов поверки в паспорте стенда, заверенной подписью государственного или ведомственного поверителя;

при периодической государственной поверке – выдачей свидетельства о поверке по форме, установленной Госстандартом;

при периодической ведомственной поверке – выдачей свидетельства о поверке.

При отрицательных результатах поверки стенд запрещают к выпуску в обращение и применению, свидетельство предыдущей поверки аннулируют, и в паспорт вносят запись о непригодности.

Контрольные вопросы

1. Какие типы тормозных стендов применяются для испытания автотракторных двигателей?

2. В чем преимущество обкаточно-тормозных стендов на базе асинхронных электрических машин?
3. Какую роль выполняет жидкостный реостат стенда?
4. Объясните принцип действия устройства для измерения крутящего (тормозного) момента?
5. Какую роль выполняет демпфер устройства для измерения крутящего (тормозного) момента?
6. Что называется возможным полем тормозной мощности стенда?
7. Как производят выбор модели обкаточно-тормозного стенда?
8. С какой целью обкаточно-тормозные стенды оснащают редукторами и мультипликаторами?
9. Объясните назначение и принцип действия гидравлического догрузателя к обкаточно-тормозному стенду?
10. Как определить тормозную мощность, обеспечиваемую гидравлическим догрузателем?
11. Как определить крутящий момент испытываемого двигателя на стенде с мультипликатором?
12. Какие виды смазочных материалов используют при техническом обслуживании электрических тормозных стендов?
13. Назовите периодичность технического обслуживания электрических обкаточно-тормозных стендов.
14. Назовите основные операции и условия поверки обкаточно-тормозных стендов.
15. Назовите основные средства поверки и их назначение.
16. Как проводится внешний осмотр стенда при поверке?
17. Как осуществляется опробование стенда?
18. Как определить отклонение указателя устройства для измерения крутящего момента от нулевой отметки?
19. Последовательность определения расстояния от оси вращения электромашины до линии действия силы, создающей крутящий (тормозной) момент.
20. Как определить относительную погрешность стенда при измерении крутящего (тормозного) момента?

3 ОБКАТКА И ПРИЕМОЧНЫЕ ИСПЫТАНИЯ АВТОТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В соответствии с требованиями ГОСТ 18509-88 и 14846-81 каждый автотракторный двигатель, выпускаемый из капитального ремонта, должен быть обкатан и подвергнут приемочному контролю. Кроме того ремонтные предприятия обязаны выборочно проводить кратковременные испытания отремонтированных двигателей (один двигатель каждой из основных моделей в квартал).

3.1 Требования к двигателям, поступающим на обкатку

Двигатели, поступающие на обкатку и предъявляемые к приемосдаточным испытаниям, должны быть отремонтированы (собраны и отрегулированы) согласно действующей на предприятии технологии в соответствии с требованиями ГОСТ 18509-88 и техническими условиями на капитальный ремонт.

Двигатели должны быть приняты после ремонта ОТК предприятия, иметь заполненную карту сборки и паспорт результатов испытания с указанием номеров топливного насоса и пускового двигателя (при его наличии). В карте сборки должна быть отметка инженера-контролера о проверке операций, подлежащих контролю при сборке.

Двигатели поступают на обкатку без вентилятора, воздухоочистителя, глушителей шума выпуска, впускной трубы, с отключенными генератором (кроме двигателей с искровым зажиганием), гидронасосами и компрессором.

Стендовая обкатка двигателей воздушного охлаждения должна проводиться с вентилятором.

Горячая обкатка и приемосдаточные испытания дизелей с промежуточным охлаждением наддувочного воздуха (ОНВ) должны проводиться с вентилятором и радиатором для охлаждения наддувочного воздуха или автономным теплообменником, обеспечивающим снижение температуры воздуха на впуске в дизель (после турбокомпрессора) до 40-60°C.

Перед установкой двигателя на обкаточно-тормозной стенд необходимо проверить момент проворачивания коленчатого вала при

включенном декомпрессоре (при его наличии). Момент проворачивания не должен превышать значений, указанных в технических требованиях на капитальный ремонт двигателя соответствующей модели.

Должны быть проведены и при необходимости отрегулированы в соответствии с техническими условиями у непрогретого двигателя зазоры между бойками коромысел и торцами стержней клапанов механизма газораспределения.

Перед обкаткой двигателя следует проверить и при необходимости отрегулировать угол начала подачи топлива (опережения зажигания) согласно техническим условиям.

К установленному на испытательном стенде двигателю должны быть подсоединены устройства для отвода отработавших газов, трубопроводы охлаждения, смазки, питания топливом, ОНВ, измерительные приборы.

Масляный поддон двигателя необходимо заполнить моторным маслом соответствующей марки или обкаточным маслом до отметки «П» масломерного щупа. В картер топливного насоса, при автономной системе смазки, редуктор пускового двигателя моторное масло должно быть залито до уровня контрольных пробок (отверстий).

Для горячей обкатки и испытания дизелей следует использовать летнее дизельное топливо марки Л-0,2-40 (ГОСТ 305-82).

Перед началом холодной обкатки в каждый цилиндр двигателя необходимо залить 15-20 г масла.

3.2 Обкатка двигателей

Стендовая обкатка двигателей состоит из трех этапов; холодной, горячей на холостом ходу и горячей обкатки под нагрузкой. Во время обкатки не допускаются: подтекание топлива, масла и охлаждающей жидкости; подсасывание воздуха и пропуск газов; шумы и стуки в механизмах, не свойственные нормальной работе двигателя.

3.2.1 Холодная обкатка

Холодная обкатка проводится методом прокручивания коленчатого вала двигателя на различных скоростных режимах (табл. 3.1) электрической машиной обкаточно-тормозного стенда.

Таблица 3.1 – Режимы холодной обкатки двигателей

Модель двигателя	Общая продолжительность обкатки, мин	Ступени обкатки	
		Частота вращения коленвала, мин ⁻¹	Продолжительность, мин
Двигатели без наддува	30	600-700	15
		900-1000	10
		1200-1400	5
Двигатели с наддувом, кроме Д-180	40	600-700	20
		900-1000	15
		1200-1400	5
КамАЗ-740 и модиф.	40	600	10
		800	10
		1000	5
		1200	10
		1400	5
Д-180 и модиф.	35	400-450	15
		650-750	20
ЗИЛ-645 и модиф.	30	600-800	15
		1000-1200	10
		1300-1400	5
ЗИЛ-130, -131, -375, ЗМЗ-53/5233, -672/5234 и модиф.	30	600-800	15
		1000-1200	10
		1300-1400	5
ЗМЗ-24, -402, -405, -406, -409 и модиф.	30	800-1000	15
		1000-1200	10
		1300-1400	5

Холодная обкатка дизеля при снятых форсунках не допускается. Перед пуском электродвигателя стенда для обкатки дизелей СМД-60/62, 66/72 и др., а также ЯМЗ-240Б их смазочную систему заполняют маслом с помощью маслозакачивающего насоса под давлением не менее 0,05-0,15 МПа. При этом продолжительность непрерывной работы пускового двигателя дизелей СМД и электродвигателя насоса ЯМЗ-240Б допускается не более 3 мин.

Холодная обкатка двигателей с искровым зажиганием (ДсИЗ) производится с установленными свечами зажигания.

В процессе холодной обкатки работа систем смазки и охлаждения двигателя должна удовлетворять следующим требованиям:

давление масла в главной масляной магистрали при минимальной частоте вращения коленчатого вала должно быть не менее 0,08 МПа;

температура масла и охлаждающей жидкости должна быть не менее 50°C на входе в двигатель и не более 75-80°C на выходе из двигателя; масло должно поступать по всем каналам подвода к поверхностям трения.

При обнаружении неисправностей обкатку двигателя необходимо прервать, определить и устранить причины ненормальной работы механизмов.

После холодной обкатки проверяют и при необходимости регулируют зазоры в клапанном механизме. Проверяют и при необходимости подтягивают гайки крепления головок цилиндров.

3.2.2 Горячая обкатка на холостом ходу

Перед горячей обкаткой на холостом ходу двигателей необходимо проверить установку угла опережения подачи топлива или зажигания.

Пуск двигателя производят электрической машиной обкаточно-тормозного стенда при включенной подаче топлива (зажигании), сообщая коленчатому валу частоту вращения 400-500 мин⁻¹. После пуска двигателя выводят секторы реостата из раствора и рычагом управления регулятором или дросселем устанавливают минимальную для горячей обкатки на холостом ходу частоту вращения. С помощью стетоскопа прослушивают шумы и стуки распределительных шестерен, поршневых пальцев, проверяют отсутствие течи масла, воды и топлива, пропуска воздуха и отработавших газов в местах соединений.

Режимы обкатки на холостом ходу (табл. 3.2) изменяют ступенчато рычагом управления регулятором или дроссельной заслонкой соответственно от $n_{xx1} = (1,0-1,5) n_{xx} \text{ min}$, до $n_{xx2} = (1,5-2,1) n_{xx} \text{ min}$.

Работа двигателя в процессе обкатки на холостом ходу должна удовлетворять следующим требованиям:

температура охлаждающей жидкости, выходящей из двигателя, должна быть 70-90°C

температура масла в поддоне или на выходе из двигателя не должна превышать 100 °C;

давление масла в смазочной системе должно быть не менее 0,20-0,25 МПа.

После обкатки на холостом ходу рекомендуется проверить и при необходимости подтянуть крепление головок (головки) цилиндров, соблюдая последовательность и момент затяжки, рекомендуемые техническими требованиями.

3.2.3 Горячая обкатка под нагрузкой

После завершения горячей обкатки *тракторного дизеля* на холостом ходу рычаг регулятора устанавливают в положение, соответствующее полной подаче топлива и обкатывают дизель под нагрузкой на режимах, приведенных в таблице 3.2 (*).

В процессе обкатки под нагрузкой рекомендуется поддерживать температуру охлаждающей жидкости и масла в пределах, указанных в технических требованиях (75-95°C).

После завершения горячей обкатки на холостом ходу *автомобильный двигатель* обкатывают под нагрузкой на 5-7 режимах, от $n_{\min}(0,6-0,8)n_n$, $N_{\min}(0,13-0,15)N_n$ до $n_{\max}=(0,80-1,00)n_n$, $N_{\max}=(0,60-1,00)N_n$ при ступенчатом повышении нагрузочно-скоростного режима.

Для установления требуемых режимов обкатки выполняют после пуска последовательно следующие операции:

1) рычагом управления регулятором (дизель) или дросселем (ДсИЗ) устанавливают при выведенных секторах реостата требуемую частоту вращения на первой ступени (см. табл. 3.2).

2) рукояткой управления секторами реостата опускают их в раствор до получения заданной нагрузки (см. табл. 3.2).

3) при снижении частоты вращения коленвала ниже требуемой рычагом управления дросселем восстанавливают ее.

При переходе на вторую и последующие ступени обкатки нагрузку и скоростной режим двигателя изменяют аналогичным образом, соответственно погружая секторы реостата и регулируя подачу топлива (открывая дроссель) рычагом управления.

Не являются браковочными признаками обнаруженные при обкатке:

1) потение, образование масляных пятен и отдельных капель в местах сальниковых уплотнений, падение одной капли в течение 5 мин на любых режимах работы;

2) потение без каплеобразования в местах соединений;

3) выделение масла и конденсата через отводящую трубку системы вентиляции картера (не более двух капель в минуту при частоте вращения коленчатого вала 2000-2500 мин⁻¹);

4) выделение охлаждающей жидкости и смазки или их смеси из дренажного отверстия водяного насоса (не более одной капли в 3 мин).

При отклонении какого-либо из контролируемых параметров от нормы двигатель немедленно останавливается для обнаружения и устранения неисправности. После этого обкатка продолжается.

При замене хотя бы одного поршня, поршневого пальца, поршневого кольца, вкладышей коренного или шатунного подшипников проводится повторная обкатка на всех трех этапах.

При замене распределительных шестерен, масляного насоса, распределительного вала, втулок распределительного вала, клапанов или толкателей следует повторить горячую обкатку на холостом ходу и под нагрузкой.

Результаты обкатки заносят в контрольную карту, где записывают дату, время начала и конца обкатки, модель и номер двигателя, причины остановок, мощность на режимах горячей обкатки, фамилии обкатчика и контролера-механика (см. лаборатор. раб. № 2).

Обнаруженные в процессе стендовой обкатки двигателя неисправности необходимо устранить.

В случае переборки тракторного дизеля для устранения неисправностей без замены основных деталей дизель должен быть подвергнут дополнительной обкатке по сокращенным в два раза по продолжительности режимам.

В случае переборки дизеля для устранения неисправностей, сопровождаемой заменой распределительного вала, кривошипно-шатунного механизма, цилиндро-поршневой группы, головки блока, не менее двух пар коренных или шатунных подшипников, обкатка дизеля должна быть повторена в полном объеме.

3.2.4 Ускорение приработки двигателей

Ускорение приработки и улучшение качества приработанных поверхностей механизмов двигателя достигается обкаткой на холостом ходу и под нагрузкой на топливе с присадкой АЛП-4Д (АЛП-2) при концентрации присадки в дизельном топливе 1,0% (по массе). Для приготовления и автоматического долива в расходный бак смеси топлива с присадкой рекомендуется использовать смесительно-дозировочное устройство КИ-1138А. При условии тщательного перемешивания присадки в дизельном топливе допускается приготовление смеси вручную.

Режимы холодной и горячей обкатки двигателей с использованием присадки АЛП-4д назначают по данным таблиц 3.1 и 3.2 или сокращают продолжительность горячей обкатки в среднем на 25% [1].

Некоторые присадки для ускорения приработки двигателей вводят как в топливо, так и в моторное масло. При этом широко используют ремонтно-восстановительные составы (РВС).

Приработка деталей цилиндро-поршневой группы на топливе и масле с присадками ускоряется вследствие абразивного действия продуктов сгорания присадки (окислы алюминия). При соблюдении режимов обкатки и концентрации присадки в топливе и масле стабилизация эффективной мощности, удельного расхода топлива и расхода масла на угар обкатанного двигателя обеспечивается через 25-35 ч работы. У двигателя, обкатанного без присадок, стабилизация указанных параметров происходит через 40-60 ч [5].

3.2.5 Проверка качества пуска двигателей

После стендовой обкатки следует проверить качество пуска дизеля от пускового устройства.

Дизель должен пускаться пусковым двигателем не более чем за 2 мин от начала поворачивания коленчатого вала. Пуск должен проводиться двукратно. При пуске включение шестерен редуктора пускового двигателя с венцом маховика должно быть безударным. Пусковой двигатель должен легко включаться от стартера и устойчиво работать при минимальной частоте вращения холостого хода.

Двигатель должен пускаться электростартером не более чем за три включения продолжительностью не более 15 с каждое с перерывами между включениями в 1 мин.

Таблица 3.2 – Режимы горячей обкатки двигателей

Марка, модель двигателя	Частота вращения коленчатого вала, мин ⁻¹									
	Мощность, кВт (л.с.)									
	Продолжительность обкатки, мин, не менее									
	Ступени обкатки									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Д120, Д21А, Д21А1 и модиф. с n _н = 2000 мин ⁻¹	$\frac{1600 \rightarrow 1800}{0}$ 10	$\frac{*}{3,7(5)}$ 15	$\frac{*}{7(10)}$ 20	$\frac{*}{15(20)}$ 10	$\frac{*}{22(30)}$ 5					
с n _н = 1800 мин ⁻¹	$\frac{1600 \rightarrow 1800}{0}$ 10	$\frac{*}{3,7(5)}$ 15	$\frac{*}{7(10)}$ 20	$\frac{*}{11(15)}$ 10	$\frac{*}{18(25)}$ 5					
с n _н = 1500 мин ⁻¹	$\frac{1400 \rightarrow 1500}{0}$ 10	$\frac{*}{3,7(5)}$ 15	$\frac{*}{7(10)}$ 20	$\frac{*}{11(15)}$ 10	$\frac{*}{15,5(21)}$ 10					
Д144, Д37Е и модиф.:										
с N _н = 44 кВт (60 л.с.)	$\frac{1400 \rightarrow 1600}{0}$ 10	$\frac{*}{11(15)}$ 15	$\frac{*}{22(30)}$ 20	$\frac{*}{33(45)}$ 10	$\frac{*}{44(60)}$ 5					
с N _н = 37 кВт (50 л.с.)	$\frac{1400 \rightarrow 1600}{0}$ 10	$\frac{*}{9(12)}$ 15	$\frac{*}{18(25)}$ 20	$\frac{*}{28(38)}$ 10	$\frac{*}{37(50)}$ 5					

Продолжение табл. 3.2

49

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
с N _н = 29 кВт (40 л.с.)	<u>1400→1600</u> 0 10	* 7(10) 15	* 15(20) 20	* 22(30) 10	* 29(40) 5					
Д144-23-10, N _н = 27 кВт (37 л.с.)	<u>1400→1500</u> 0 10	* 7(10) 30	* 11(15) 30	* 18(25) 20	* 26(35) 20	* 27(37) 5				
Д130-00... Д130-10, N _н = 37 кВт (50 л.с.)	<u>1400→1600</u> 0 10	* 9(12) 15	* 18(25) 20	* 28(38) 10	* 37(50) 5					
Д130-12, N _н = 32 кВт (44 л.с.)	<u>1400→1600</u> 0 10	* 8(11) 15	* 16(22) 20	* 24(33) 10	* 32(44) 5					
Д130Т-00, Д130Т-02, N _н = 52 кВт (70 л.с.)	<u>1600→1800</u> 0 10	* 10(14) 15	* 20(28) 20	* 30(42) 15	* 40(56) 10	* 52(70) 5				
Д130Т-04, N _н = 55,5 кВт (75 л.с.)	<u>1600→1800</u> 0 10	* 11(15) 15	* 22(30) 20	* 33(45) 15	* 44(60) 10	* 55(75) 5				
Д145Т и модиф. N _н = 58,8 кВт (80 л.с.)	<u>1600→1800</u> 0 10	* 12(16) 15	* 24(32) 20	* 36(48) 15	* 48(64) 10	* 58,8(80) 5				

Продолжение табл. 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Д145Т-23.03, N _н = 43,5 кВт (59 л.с.)	<u>1400→1500</u> 0 10	* 11(15) 15	* 22(30) 20	* 33(40) 10	* 43,5(59) 5					
Д-65М и модиф.	<u>1100→1200</u> 0 10	* 11(15) 5	* 22(30) 5	* 44(60) 5						
Д-65АП	<u>1000→1200</u> 0 10	<u>1300→1500</u> 0 10	<u>1600→1500</u> 5(6,8) 10	<u>1600→1500</u> 10(13,6) 10	<u>1600→1500</u> 25(34) 15	<u>1600→1500</u> 40(54) 30				
Д-65АС	<u>1000→1200</u> 0 5	<u>1300→1500</u> 0 5	<u>1590→1500</u> 5(6,8) 5	<u>1590→1500</u> 10(13,6) 5	<u>1590→1500</u> 25(34) 5	<u>1590→1500</u> 40(54) 10				
Д-65МТ и модиф.	<u>1100</u> 0 10	* 11(15) 5	* 22(30) 5	* 44(60) 5	* 59(80) 5					
Д-75	<u>1100</u> 0 10	* 11(15) 5	* 22(30) 5	* 44(60) 5	* 59(80) 5	* 75(102) 5				
Д-75П1, -75ПС1	<u>1100→1200</u> 0 5	<u>1880→1750</u> 11(15) 5	<u>1880→1750</u> 22(30) 5	<u>1880→1750</u> 44(60) 5	* 54(73) 5					
Д-240, -240Л, -243, -243Л	<u>1200</u> 0 10	<u>1400</u> 0 10	<u>1600</u> 11(15) 10	<u>1700</u> 22(30) 10	<u>1900</u> 44(60) 5	<u>2100</u> 51(70) 5	<u>2200</u> 56(76) 10			

Продолжение табл. 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Д-241,-241Л	<u>1200</u> <u>0</u> 10	<u>1400</u> <u>0</u> 10	<u>1600</u> <u>11(15)</u> 10	<u>1700</u> <u>22(30)</u> 10	<u>1900</u> <u>33(45)</u> 5	<u>2000</u> <u>44(60)</u> 5	<u>2100</u> <u>49(67)</u> 10			
Д-242,-242Л	<u>1200</u> <u>0</u> 10	<u>1400</u> <u>0</u> 10	<u>1600</u> <u>11(15)</u> 10	<u>1700</u> <u>22(30)</u> 10	<u>1800</u> <u>44(60)</u> 10					
Д-244	<u>1200</u> <u>0</u> 10	<u>1400</u> <u>0</u> 10	<u>1600</u> <u>11(15)</u> 10	<u>1650</u> <u>22(30)</u> 10	<u>1700</u> <u>38(52)</u> 10					
Д-245,-245.1	<u>1200</u> <u>0</u> 10	<u>1400</u> <u>0</u> 10	<u>1600</u> <u>11(15)</u> 10	<u>1700</u> <u>22(30)</u> 10	<u>1850</u> <u>44(60)</u> 10	<u>2100</u> <u>55(75)</u> 10	<u>2200</u> <u>75(100)</u> 5			
Д-245.2,- 245.3	<u>1200</u> <u>0</u> 10	<u>1400</u> <u>0</u> 10	<u>1600</u> <u>11(15)</u> 10	<u>1700</u> <u>22(30)</u> 10	<u>1850</u> <u>44(60)</u> 10	<u>2100</u> <u>66(90)</u> 10	<u>2200</u> <u>85(115)</u> 5			
Д-245.4, -245.5	<u>1200</u> <u>0</u> 10	<u>1400</u> <u>0</u> 10	<u>1600</u> <u>11(15)</u> 10	<u>1700</u> <u>22(30)</u> 10	<u>1750</u> <u>44(60)</u> 10	<u>1800</u> <u>57(77)</u> 10				
Д-245.6, -245.7	<u>1200</u> <u>0</u> 10	<u>1400</u> <u>0</u> 10	<u>1600</u> <u>11(15)</u> 10	<u>1800</u> <u>22(30)</u> 10	<u>2000</u> <u>44(60)</u> 10	<u>2200</u> <u>66(90)</u> 10	<u>2400</u> <u>86(117)</u> 5			
Д-245.8, -245.9	<u>1200</u> <u>0</u> 10	<u>1400</u> <u>0</u> 10	<u>1600</u> <u>11(15)</u> 10	<u>1800</u> <u>22(30)</u> 10	<u>2000</u> <u>44(60)</u> 10	<u>2200</u> <u>66(90)</u> 10	<u>2400</u> <u>96(131)</u> 5			

Продолжение табл. 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Д-245.10, -245.11, -245.12	<u>1200</u> <u>0</u> 10	<u>1400</u> <u>0</u> 10	<u>1600</u> <u>11(15)</u> 10	<u>1800</u> <u>22(30)</u> 10	<u>2000</u> <u>44(60)</u> 10	<u>2200</u> <u>66(90)</u> 10	<u>2400</u> <u>75(102)</u> 5			
Д-246	<u>700</u> <u>0</u> 10	<u>900</u> <u>0</u> 10	<u>1100</u> <u>11(15)</u> 10	<u>1300</u> <u>22(30)</u> 10	<u>1500</u> <u>40(53)</u> 10					
Д-248	<u>1200</u> <u>0</u> 10	<u>1400</u> <u>0</u> 10	<u>1600</u> <u>11(15)</u> 10	<u>1800</u> <u>22(30)</u> 10	<u>2000</u> <u>44(60)</u> 10					
Д-248.1	<u>1200</u> <u>0</u> 10	<u>1400</u> <u>0</u> 10	<u>1600</u> <u>11(15)</u> 10	<u>1700</u> <u>22(30)</u> 10	<u>1800</u> <u>33(45)</u> 10					
Д-50,-50Л, -50Р	<u>1200</u> <u>0</u> 10	<u>1400</u> <u>0</u> 10	<u>1600</u> <u>11(15)</u> 10	<u>1650</u> <u>22(30)</u> 10	<u>1700</u> <u>44(60)</u> 10					
СМД-14Н, -14НГ, -14АН, -14БН,-15Н	<u>1450→1500</u> <u>0</u> 10	<u>1850→1900</u> <u>0</u> 10	<u>*</u> <u>11(15)</u> 15	<u>*</u> <u>22(30)</u> 20	<u>*</u> <u>33(45)</u> 20	<u>*</u> <u>44(60)</u> 20	<u>*</u> <u>55(75)</u> 5			
СМД- 17Н/18Н, -17КН/18КН	<u>1450→1500</u> <u>0</u> 10	<u>1950→2000</u> <u>0</u> 10	<u>*</u> <u>15(20)</u> 15	<u>*</u> <u>30(40)</u> 20	<u>*</u> <u>45(60)</u> 20	<u>*</u> <u>60(80)</u> 20	<u>*</u> <u>66(90)</u> 5			
СМД-19/20	<u>1450→1500</u> <u>0</u> 10	<u>1850→1900</u> <u>0</u> 10	<u>*</u> <u>15(20)</u> 15	<u>*</u> <u>30(40)</u> 20	<u>*</u> <u>45(60)</u> 20	<u>*</u> <u>60(80)</u> 20	<u>*</u> <u>75(100)</u> 5			

Продолжение табл. 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
СМД-21/22, -22А	$\frac{1550 \rightarrow 1600}{0}$ 10	$\frac{1950 \rightarrow 2000}{0}$ 10	$\frac{*}{18(25)}$ 15	$\frac{*}{37(50)}$ 20	$\frac{*}{55(75)}$ 20	$\frac{*}{74(100)}$ 20	$\frac{*}{92(125)}$ 5			
СМД-23/24	$\frac{800 \rightarrow 1100}{0}$ 10	$\frac{1950 \rightarrow 2000}{0}$ 10	$\frac{*}{22(30)}$ 15	$\frac{*}{44(60)}$ 20	$\frac{*}{66(90)}$ 20	$\frac{*}{88(120)}$ 20	$\frac{*}{110(150)}$ 5			
СМД-31/32, -31А/32А	$\frac{800 \rightarrow 1600}{0}$ 10	$\frac{1600 \rightarrow 2000}{0}$ 10	$\frac{*}{29(40)}$ 15	$\frac{*}{59(80)}$ 20	$\frac{*}{88(120)}$ 20	$\frac{*}{118(160)}$ 20	$\frac{*}{147(200)}$ 5			
СМД-62/63, -62Т, -68Д	$\frac{600 \rightarrow 2280}{0}$ 5	$\frac{*}{18(25)}$ 10	$\frac{*}{37(50)}$ 10	$\frac{*}{55(75)}$ 10	$\frac{*}{74(100)}$ 10	$\frac{*}{92(125)}$ 10	$\frac{*}{110(150)}$ 10			
СМД-60/61, -64/65, -66, -74	$\frac{600 \rightarrow 2080}{0}$ 5	$\frac{*}{15(20)}$ 10	$\frac{*}{30(40)}$ 10	$\frac{*}{45(60)}$ 10	$\frac{*}{60(80)}$ 10	$\frac{*}{75(100)}$ 10	$\frac{*}{90(120)}$ 10			
СМД-72/73	$\frac{600 \rightarrow 2230}{0}$ 5	$\frac{*}{22(30)}$ 10	$\frac{*}{44(60)}$ 10	$\frac{*}{66(90)}$ 10	$\frac{*}{88(120)}$ 10	$\frac{*}{110(150)}$ 10	$\frac{*}{132(180)}$ 10			
А-41,-41М	$\frac{700 \rightarrow 1930}{0}$ 10	$\frac{*}{11(15)}$ 10	$\frac{*}{22(30)}$ 10	$\frac{*}{33(45)}$ 20	$\frac{*}{44(60)}$ 30	$\frac{*}{55(75)}$ 10				
А-41Т, Д-440, Д-442 и модиф.	$\frac{700 \rightarrow 1930}{0}$ 10	$\frac{*}{15(20)}$ 10	$\frac{*}{30(40)}$ 10	$\frac{*}{45(60)}$ 20	$\frac{*}{60(80)}$ 30	$\frac{*}{75(100)}$ 10				

Продолжение табл. 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
А-01М и модиф.	$\frac{700 \rightarrow 1940}{0}$ 10	$\frac{*}{18(25)}$ 10	$\frac{*}{37(50)}$ 10	$\frac{*}{55(75)}$ 20	$\frac{*}{75(100)}$ 30	$\frac{*}{92(150)}$ 10				
А-01МЛ, -01МЕ, -01МГ	$\frac{700 \rightarrow 1800}{0}$ 10	$\frac{*}{15(20)}$ 10	$\frac{*}{30(40)}$ 10	$\frac{*}{45(60)}$ 20	$\frac{*}{60(80)}$ 30	$\frac{*}{75(100)}$ 10				
А-01Т, -11Т, Д-460 и модиф.	$\frac{700 \rightarrow 1950}{0}$ 10	$\frac{*}{22(30)}$ 10	$\frac{*}{44(60)}$ 10	$\frac{*}{66(90)}$ 20	$\frac{*}{88(120)}$ 30	$\frac{*}{110(150)}$ 10				
Д-108 и модиф.	$\frac{500 \rightarrow 550}{0}$ 10	$\frac{550 \rightarrow 1170}{0}$ 10	$\frac{*}{18(25)}$ 10	$\frac{*}{37(50)}$ 10	$\frac{*}{55(75)}$ 10	$\frac{*}{75(100)}$ 5				
Д-180	$\frac{500 \rightarrow 550}{0}$ 10	$\frac{550 \rightarrow 1350}{0}$ 10	$\frac{*}{29(40)}$ 10	$\frac{*}{59(80)}$ 15	$\frac{*}{88(120)}$ 15	$\frac{*}{117(160)}$ 5				
Д-180Б	$\frac{500 \rightarrow 550}{0}$ 10	$\frac{550 \rightarrow 1170}{0}$ 10	$\frac{*}{22(30)}$ 10	$\frac{*}{44(60)}$ 10	$\frac{*}{66(90)}$ 10	$\frac{*}{88(120)}$ 5				
ЯМЗ-236, -236М и модиф.	$\frac{1500}{0}$ 10	$\frac{1600}{22(30)}$ 10	$\frac{1700}{44(60)}$ 10	$\frac{1800}{66(90)}$ 5	$\frac{1900}{88(120)}$ 5	$\frac{2000}{110(150)}$ 5				
ЯМЗ-236А	$\frac{1500}{0}$ 10	$\frac{1600}{26(35)}$ 10	$\frac{1700}{52(70)}$ 10	$\frac{1800}{78(105)}$ 10	$\frac{1900}{104(140)}$ 10	$\frac{2000}{130(175)}$ 10				

Продолжение табл. 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
ЯМЗ-236Г	<u>1500</u> 0 10	<u>1600</u> <u>22(30)</u> 10	<u>1600</u> <u>44(60)</u> 10	<u>1700</u> <u>66(90)</u> 10	<u>1700</u> <u>88(120)</u> 10	<u>1700</u> <u>103(140)</u> 10					
ЯМЗ-236Б и модиф.	На дизельном топливе										
	<u>1500</u> 0 5	<u>1700</u> <u>29(40)</u> 5	<u>1800</u> <u>59(80)</u> 10	<u>1900</u> <u>88(120)</u> 5	<u>2000</u> <u>118(160)</u> 5						
	На дизельном топливе с 2% присадкой АЛП-4Д										
	<u>1600</u> <u>15(20)</u> 10	<u>1700</u> <u>29(40)</u> 10	<u>1800</u> <u>59(80)</u> 10	<u>1900</u> 0 10	<u>2000</u> <u>118(160)</u> 5						
ЯМЗ-236НВ и модиф.	<u>1500</u> 0 10	<u>1600</u> <u>22(30)</u> 10	<u>1700</u> <u>44(60)</u> 10	<u>1800</u> <u>66(90)</u> 10	<u>1900</u> <u>88(120)</u> 10	<u>2000</u> <u>110(150)</u> 5	<u>2000</u> <u>132(180)</u> 5				
ЯМЗ-236НД	<u>1500</u> 0 10	<u>1600</u> <u>22(30)</u> 10	<u>1700</u> <u>44(60)</u> 10	<u>1800</u> <u>66(90)</u> 10	<u>1900</u> <u>88(120)</u> 10	<u>1900</u> <u>110(150)</u> 5					
ЯМЗ-236ДК	<u>1500</u> 0 10	<u>1600</u> <u>22(30)</u> 10	<u>1700</u> <u>44(60)</u> 10	<u>1800</u> <u>66(90)</u> 10	<u>1900</u> <u>88(120)</u> 10	<u>2000</u> <u>110(150)</u> 10					
ЯМЗ-236ЕК	<u>1500</u> 0 10	<u>1600</u> <u>22(30)</u> 10	<u>1700</u> <u>44(60)</u> 10	<u>1700</u> <u>66(90)</u> 10	<u>1700</u> <u>88(120)</u> 10	<u>1750</u> <u>103(140)</u> 10					

Продолжение табл. 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ЯМЗ-238М и модиф.	<u>1500</u> <u>0</u> 10	<u>1600</u> <u>29(40)</u> 10	<u>1700</u> <u>59(80)</u> 10	<u>1800</u> <u>88(120)</u> 5	<u>1900</u> <u>118(160)</u> 5	<u>2000</u> <u>147(200)</u> 5				
ЯМЗ- 238АК, -238ЕК	<u>1500</u> <u>0</u> 10	<u>1600</u> <u>29(40)</u> 10	<u>1700</u> <u>59(80)</u> 10	<u>1800</u> <u>88(120)</u> 10	<u>1900</u> <u>118(160)</u> 10	<u>2000</u> <u>147(200)</u> 10				
ЯМЗ-238Б и модиф.	<u>1500</u> <u>0</u> 10	<u>1600</u> <u>51(70)</u> 10	<u>1800</u> <u>103(140)</u> 10	<u>1800</u> <u>154(210)</u> 10	<u>1900</u> <u>206(280)</u> 10	<u>2000</u> <u>220(300)</u> 10				
ЯМЗ- 238БК, -238ДК	<u>1500</u> <u>0</u> 10	<u>1600</u> <u>37(50)</u> 10	<u>1700</u> <u>74(100)</u> 10	<u>1800</u> <u>110(150)</u> 10	<u>1900</u> <u>147(200)</u> 10	<u>2000</u> <u>184(250)</u> 10				
ЯМЗ-238НД, -238НД2, -238НД3	<u>1500</u> <u>0</u> 10	<u>1600</u> <u>29(40)</u> 10	<u>1700</u> <u>59(80)</u> 10	<u>1700</u> <u>88(120)</u> 10	<u>1700</u> <u>118(160)</u> 10	<u>1700</u> <u>147(200)</u> 10				
ЯМЗ- 238НД4	<u>1500</u> <u>0</u> 10	<u>1600</u> <u>29(40)</u> 10	<u>1700</u> <u>59(80)</u> 10	<u>1800</u> <u>88(120)</u> 10	<u>1900</u> <u>118(160)</u> 10	<u>1900</u> <u>147(200)</u> 10				
ЯМЗ-238Г, -238ГМ, -238И	<u>1500</u> <u>0</u> 5	<u>1600</u> <u>22(30)</u> 5	<u>1700</u> <u>44(60)</u> 10	<u>1700</u> <u>66(90)</u> 10	<u>1700</u> <u>88(120)</u> 10	<u>1700</u> <u>103(140)</u> 10	<u>1700</u> <u>110(150)</u> 10			
ЯМЗ-238К и модиф.	<u>1500</u> <u>0</u> 10	<u>1600</u> <u>22(30)</u> 10	<u>1700</u> <u>44(60)</u> 10	<u>1800</u> <u>74(100)</u> 5	<u>1900</u> <u>110(150)</u> 5	<u>2000</u> <u>125(170)</u> 5				
ЯМЗ-238Л	<u>1500</u> <u>0</u> 10	<u>1600</u> <u>37(50)</u> 10	<u>1700</u> <u>74(100)</u> 10	<u>1800</u> <u>110(150)</u> 10	<u>1900</u> <u>0</u> 10	<u>2000</u> <u>184(250)</u> 5	<u>2100</u> <u>184(250)</u> 5			

Продолжение табл. 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ЯМЗ-238Н	На дизельном топливе									
	<u>1500</u> 0 5	<u>1700</u> 44(60) 5	<u>1800</u> 88(120) 10	<u>1900</u> 118(160) 5	<u>2000</u> 147(200) 5					
	На дизельном топливе с 2% присадкой АЛП-4Д									
	<u>1600</u> 29(40) 10	<u>1700</u> 59(80) 10	<u>1800</u> 88(120) 10	<u>1900</u> 0 10	<u>2000</u> 147(200) 5					
ЯМЗ-240БМ и модиф.	<u>1500</u> 0 10	<u>1600</u> 37(50) 10	<u>1700</u> 74(100) 10	<u>1800</u> 110(150) 10	<u>1900</u> 147(200) 10	<u>1900</u> 184(250) 10				
ЯМЗ-8423, -8423.10	<u>1500</u> 0 10	<u>1600</u> 65(90) 20	<u>1600</u> 90(120) 20	<u>1600</u> 110(150) 20	<u>1700</u> 130(180) 20	<u>1700</u> 145(200) 20	<u>1800</u> 170(230) 20	<u>1800</u> 185(250) 20	<u>1900</u> 205(280) 20	<u>1900</u> 220(300) 10
ЯМЗ-8481.10, -8481.10-01	<u>1500</u> 0 10	<u>1600</u> 70(95) 20	<u>1600</u> 92(125) 20	<u>1600</u> 118(160) 20	<u>1700</u> 140(190) 20	<u>1700</u> 154(210) 20	<u>1800</u> 177(240) 20	<u>1800</u> 191(260) 20	<u>1900</u> 217(295) 20	<u>1900</u> 232(315) 10
ЯМЗ-8482.10, -8482.10-01	<u>1500</u> 0 10	<u>1600</u> 55(75) 20	<u>1600</u> 74(100) 20	<u>1600</u> 88(120) 20	<u>1700</u> 107(145) 20	<u>1700</u> 118(160) 20	<u>1800</u> 136(185) 20	<u>1800</u> 147(200) 20	<u>1900</u> 165(225) 20	<u>1900</u> 177(240) 10
КамАЗ-740-190(л.с.)	<u>1350→1400</u> 0 10	<u>1600</u> 22(30) 10	<u>1800</u> 44(60) 10	<u>2000</u> 66(90) 10	<u>2200</u> 88(120) 10	<u>2400</u> 110(150) 5	<u>2600</u> 132(180) 5			
КамАЗ-740-210, -220	<u>1350→1400</u> 0 10	<u>1600</u> 22(30) 10	<u>1800</u> 44(60) 10	<u>2000</u> 66(90) 10	<u>2200</u> 88(120) 10	<u>2400</u> 110(150) 5	<u>2600</u> 147(200) 5			

Окончание табл. 3.2

58

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
КамАЗ-7408	<u>1350→1400</u> <u>0</u> 10	<u>1600</u> <u>22(30)</u> 10	<u>1700</u> <u>44(60)</u> 10	<u>1800</u> <u>66(90)</u> 10	<u>1900</u> <u>88(120)</u> 10	<u>2000</u> <u>110(150)</u> 5	<u>2200</u> <u>147(200)</u> 5			
КамАЗ-7403	<u>1350→1400</u> <u>0</u> 10	<u>1600</u> <u>22(30)</u> 10	<u>1800</u> <u>44(60)</u> 10	<u>2000</u> <u>66(90)</u> 10	<u>2200</u> <u>88(120)</u> 10	<u>2400</u> <u>110(150)</u> 5	<u>2600</u> <u>147(200)</u> 5			
ЗИЛ-6451, -6454	<u>1400</u> <u>0</u> 10	<u>1500</u> <u>15(20)</u> 5	<u>1800</u> <u>30(40)</u> 5	<u>2000</u> <u>45(60)</u> 10	<u>2200</u> <u>60(80)</u> 10	<u>2400</u> <u>75(100)</u> 10	<u>2600</u> <u>80(120)</u> 5	<u>2800</u> <u>105(140)</u> 5		
ЗИЛ-130, -131, -375 и модиф.	<u>1100→1200</u> <u>0</u> 5	<u>1200→1400</u> <u>0</u> 5	<u>1700</u> <u>15(20)</u> 5	<u>1700</u> <u>22(30)</u> 5	<u>1700</u> <u>29(40)</u> 10	<u>1700</u> <u>44(60)</u> 10	<u>1800</u> <u>52(70)</u> 15	<u>2000</u> <u>59(80)</u> 20	<u>2200</u> <u>66(90)</u> 15	<u>2400</u> <u>75(100)</u> 5
ЗМЗ- 53/5233, -672/5234 и модиф.	<u>1000→1200</u> <u>0</u> 10	<u>1200→1400</u> <u>0</u> 5	<u>1700</u> <u>15(20)</u> 10	<u>1700</u> <u>22(30)</u> 10	<u>1700</u> <u>29(40)</u> 15	<u>1800</u> <u>37(50)</u> 10	<u>2000</u> <u>44(60)</u> 10	<u>2200</u> <u>52(70)</u> 10	<u>2400</u> <u>55(75)</u> 10	
ЗМЗ-24,-402 и модиф.	<u>1000→1200</u> <u>0</u> 10	<u>1400→1600</u> <u>0</u> 5	<u>1800→2000</u> <u>0</u> 10	<u>2200→2600</u> <u>0</u> 5	<u>1700</u> <u>11(15)</u> 10	<u>1700</u> <u>15(20)</u> 10	<u>2200</u> <u>18(25)</u> 15	<u>2600</u> <u>22(30)</u> 10		
ЗМЗ-405, -406,-409 и модиф.	<u>1400→1600</u> <u>0</u> прогрев	<u>1700→1900</u> <u>0</u> 15-20	<u>1900→3000</u> <u>0</u> прогрев	<u>2200</u> <u>15(20)</u> 10	<u>2600</u> <u>22(30)</u> 10	<u>2800</u> <u>29(40)</u> 10				

3.3 Приемочный контроль

Приемочный контроль включает приемо-сдаточные испытания, технический осмотр и органолептический контроль.

3.3.1 *Приемо-сдаточные испытания дизелей*

Для контроля качества ремонта (сборки и регулировки) после обкатки двигатель должен быть подвергнут приемо-сдаточным испытаниям в течение 30 мин (не более).

За время приемо-сдаточных испытаний дизель должен быть проверен на соответствие техническим требованиям на капитальный ремонт и принят ОТК по параметрам, указанным в таблице 3.3. Испытания включают проверку следующих параметров дизеля:

максимальной и минимальной устойчивой частот вращения холостого хода;

давления масла в главной масляной магистрали при номинальной под нагрузкой и минимальной частоте вращения холостого хода;

мощности при номинальной частоте вращения и полной подаче топлива;

удельного расхода топлива при номинальной мощности (подача топлива полная).

Приемо-сдаточные испытания рекомендуется проводить в следующей последовательности:

прогрев дизеля до нормального теплового состояния;

измерение минимальной и максимальной частоты вращения холостого хода;

определение мощности и расхода топлива при номинальной частоте вращения;

измерение давления масла при номинальной, под нагрузкой и минимальной частоте вращения холостого хода.

Испытания должны начинаться после достижения дизелем установленного теплового режима, отсутствии дымления и следов масла на крышке выпускного тракта.

Давление наддува воздуха у дизелей с турбокомпрессором следует контролировать в случае неудовлетворительных показателей мощности и удельного расхода топлива с помощью образцового ма-

нометра. Минимальную устойчивую $n_{xx \text{ min}}$ и максимальную частоту вращения холостого хода $n_{xx \text{ max}}$ следует определять по тахометру при работе прогретого дизеля без нагрузки путем постепенного перевода рычага регулятора из положения минимальной подачи топлива в положение, соответствующее полной подаче.

Мощность дизеля N_n и расход топлива $G_{тн}$ на номинальном режиме следует определять при положении рычага регулятора, соответствующем полной подаче топлива путем последовательного увеличения крутящего момента M_k (нагрузки P_t), начиная с режима $n_{xx \text{ max}}$ при крутящем моменте (нагрузке), когда частота вращения достигнет номинального значения.

Величину крутящего момента M_k (нагрузки P_t) определяют по показаниям шкалы динамометрического устройства стенда, частоту вращения – по показаниям тахометра.

При использовании устройства для определения расхода топлива, которое входит в состав обкаточно-тормозного стенда, по показаниям секундомера определяют время $\tau_{оп}$, в течение которого дизель расходует контрольную массу топлива $G_{оп}$ с весов измерительного устройства.

Давление масла в главной масляной магистрали следует определять на режиме номинальной нагрузки и $n_{xx \text{ min}}$ по показаниям манометра.

Контролируемые параметры следует определять не менее двух раз после того, как дизель поработает на данном режиме не менее 5 мин. При этом в расчетах необходимо использовать средние результаты измерений крутящего момента и расхода топлива. Значения крутящего момента, частоты вращения и расхода топлива должны определяться одновременно с продолжительностью измерения расхода топлива не менее 60 с.

Результаты измерений должны заноситься в журнал испытаний, рекомендуемая форма которого приведена в лабораторной работе № 2.

Погрешности измерений параметров дизеля при проведении испытаний не должны превышать значений, указанных в таблице 1.1.

Дизель должен работать на всех режимах устойчиво, без перебоев. Небольшое дымление прогретого дизеля на режимах, превышающих 50% номинальной мощности, допускается при отсутствии следов масла на кромках выпускного патрубка.

Значение номинальной мощности, удельного расхода топлива, давления масла при номинальной частоте вращения, а также максимальная частота вращения холостого хода должны быть внесены в паспорт дизеля.

Если условия испытания дизеля отличаются от стандартных, то полученные значения мощности и удельного расхода топлива необходимо привести к стандартным атмосферным условиям с использованием формул, приведенных в подпункте 1.3.3. Приведенные значения указанных параметров должны соответствовать данным таблицы 3.3.

При необходимости в процессе испытаний допускается регулировка угла опережения впрыскивания, частоты вращения и цикловой подачи топлива, замена отдельных форсунок или всего комплекта и топливного насоса.

Дизель следует считать не выдержавшим приемо-сдаточные испытания, если фактические значения контролируемых параметров с учетом приведения их к стандартным атмосферным условиям не соответствуют хотя бы по одному контролируемому параметру данным таблицы 3.3.

После окончания испытаний необходимо слить масло из картера, жидкость из системы охлаждения и топливо пускового двигателя.

Если дизель по мощности превышает тормозную мощность стенда, то для определения номинальной мощности и расхода топлива можно использовать парциальный метод (испытание с отключением части цилиндров). Суть его заключается в следующем: после прогрева дизеля выключают часть цилиндров (выключением подачи топлива к форсункам), нагружают его при полной подаче топлива до номинальной частоты вращения, регистрируют показания динамометра и определяют мощность. Затем дополнительно отключают еще один цилиндр и снова определяют мощность. Окончательно формулы для подсчета мощности дизеля и массового расхода топлива имеют вид [4]

$$N_{\text{ен}} = (i - i' + 1)N_1 - (i - i')N_2; \quad (3.1)$$

$$G_{\text{ТН}} = \frac{3,6G_{\text{оп}1} i}{\tau_{\text{оп}1} i}, \quad (3.2)$$

где i – полное число цилиндров дизеля; i' – работавшее в первом случае число цилиндров; N_1 – измеренная тормозом мощность i' ра-

ботавших цилиндров; N_2 – то же, что и N_1 , но без одного цилиндра; $G_{оп1}$ – массовый расход топлива, г за время опыта $\tau_{оп(c)}$.

Указанный метод носит упрощенный характер, что повышает погрешность измерений в 2-3 раза.

Таблица 3.3 – Контрольные параметры и режимы приемо-сдаточных испытаний дизельных двигателей

Марка, модель, модификация двигателя	Проверка мощности N_H , расхода топлива g при номинальной частоте n_H : $\frac{N_H, \text{мин}^{-1}}{N_H, \text{кВт (л.с.)}}$, не менее $g, \text{г(кВт} \times \text{ч)}$ ($\text{г/л.с.} \times \text{ч}$) не более	Проверка работы на течь при частоте вращения, мин^{-1} мощности, кВт (л.с.)	Частота вращения, мин^{-1} , не более: $\frac{N_{xx \text{ max}}}{N_{xx \text{ min}}}$	Избыточное давление наддува при N_H , МПа (кгс/см^2)	Давление масла, МПа (кгс/см^2), при частоте вращения коленчатого вала, <u>номинальной n_H</u> , минимальной $n_{xx \text{ min}}$	
					в центральном канале	в турбокомпрессоре
1	2	3	4	5	6	7
Д120, Д21А и модиф: с $n_H = 2000 \text{ мин}^{-1}$	$\frac{2000 \pm 30}{20,6(28)}$ 281(207)	$\frac{2000}{18(25)}$	$\frac{2150}{800}$		0,15-0,40 (1,5-4,0) н.м. 0,080 (0,80)	
с $n_H = 1800 \text{ мин}^{-1}$	$\frac{1800 \pm 27}{17,4(23,7)}$ 279(205)	$\frac{1800}{15(20)}$	$\frac{1930}{800}$		—»—	
с $n_H = 1500 \text{ мин}^{-1}$	$\frac{1500 \pm 25}{14,5(19,7)}$ 272(200)	$\frac{1500}{11(15)}$	$\frac{1650}{800}$		—»—	
Д144-07, -09,12,-60, -64,-50-3, -50-4	$\frac{2000 \pm 30}{42,3(57,5)}$ 276(203)	$\frac{2000}{33(45)}$	$\frac{2150}{800}$		—»—	
Д144, Д37Е	$\frac{1800 \pm 27}{35(47,5)}$ 272(200)	$\frac{1800}{29(20)}$	$\frac{1930}{800}$		—»—	

Продолжение табл. 3.3

1	2	3	4	5	6	7
Д144-25, -80,-80-1, Д37Е-С3-1	$\frac{1600 \pm 25}{27,6(37,5)}$ 272(200)	$\frac{1600}{22(30)}$	$\frac{1750}{800}$		—»—	
Д130-0/10	$\frac{2000 \pm 30}{33,1(45)}$ 248(182)	$\frac{2000}{26(35)}$	$\frac{2150}{800}$		—»—	
Д130-12	$\frac{1800 \pm 27}{29,4(40)}$ 244(179)	$\frac{1800}{22(30)}$	$\frac{1930}{800}$		—»—	
Д130Т-00, -02	$\frac{2200 \pm 33}{47,8(65)}$ 242(178)	$\frac{2200}{37(50)}$	$\frac{2350}{800}$			
Д130Т-04	$\frac{2300 \pm 35}{51,5(70)}$ 245(180)	$\frac{2300}{40(55)}$	$\frac{2450}{800}$		—»—	
Д145Т, Д145Т- 02/11	$\frac{2000 \pm 30}{55,1(75)}$ 245(180)	$\frac{2000}{44(60)}$	$\frac{2150}{800}$		—»—	
Д145Т-23, -23-10	$\frac{1500 \pm 22}{42(57)}$ 245(180)	$\frac{1500}{33(45)}$	$\frac{1650}{800}$		—»—	
Д-65М,- 65М1,-65Н, -65Н1,- 65ЛС,-65Т	$\frac{1750 \pm 25}{42,3(57,5)}$ 258(190)	$\frac{1880}{0}$	$\frac{1880}{650}$		—»—	
Д-65МЛ,- 6М1Л	$\frac{2000 \pm 30}{38,2(52)}$ 258(190)	$\frac{2150}{0}$	$\frac{2150}{800}$		—»—	
Д-65АП,- 65АС	$\frac{1500 \pm 15}{38,2(52)}$ 258(190)	$\frac{1600}{0}$	$\frac{1600}{550}$		—»—	
Д-65МТ,- 65МТ1, -65НТ,- 65НТ-1	$\frac{1800 \pm 25}{56,6(77)}$ 252(185)	$\frac{1950}{0}$	$\frac{1950}{650}$	н.м. 0,04 (0,4)	—»—	
Д-75	$\frac{2000 \pm 25}{72(98)}$ 252(185)	$\frac{2200}{0}$	$\frac{2200}{650}$	н.м. 0,04 (0,04)	—»—	

Продолжение табл. 3.3

1	2	3	4	5	6	7
Д-75П1,- 75ПС1	$\frac{2000^{+40}}{-25}$ <u>51,5(70)</u> 260(191)	<u>2200</u> 0	<u>2200</u> 650		—»—	
Д-240,- 240Л	$\frac{2200^{+40}}{-25}$ <u>51,5(70)</u> 258(190)	<u>2200</u> 44(60)	<u>2380</u> 600		—»—	
Д-241,- 241Л	$\frac{2100^{+40}}{-25}$ <u>50,4(68,5)</u> 258(190)	<u>2100</u> 40(55)	<u>2275</u> 600		—»—	
Д-242,- 242Л	$\frac{1800^{+30}}{-20}$ <u>43,4(59)</u> 258(190)	<u>1800</u> 37(50)	<u>1950</u> 600		—»—	
Д-243,- 243Л	$\frac{2200^{+40}}{-25}$ <u>56,6(77)</u> 258(190)	<u>2200</u> 45(60)	<u>2380</u> 600		—»—	
Д-244	$\frac{1800^{+30}}{-20}$ <u>39(53)</u> 258(190)	<u>1700</u> 33(45)	<u>1850</u> 600		—»—	
Д-245,- 245Л	$\frac{2200^{+40}}{-25}$ <u>74,3(101)</u> 252(185)	<u>2200</u> 59(80)	<u>2380</u> 600	н.м. 0,04 (0,4)	—»—	
Д-245.1	$\frac{2200^{+40}}{-25}$ <u>75,7(103)</u> 252(185)	<u>2200</u> 59(80)	<u>2380</u> 600	—»—	—»—	
Д-245.2	$\frac{2200^{+40}}{-25}$ <u>84,5(115)</u> 245(180)	<u>2200</u> 66(90)	<u>2380</u> 600	—»—	—»—	
Д-245.3	$\frac{2200^{+40}}{-25}$ <u>86(117)</u> 245(180)	<u>2200</u> 66(90)	<u>2380</u> 600	—»—	—»—	
Д-245.4	$\frac{1800^{+30}}{-20}$ <u>57(77,5)</u> 252(185)	<u>1800</u> 44(60)	<u>1950</u> 600	—»—	—»—	
Д-245.5	$\frac{1800^{+30}}{-20}$ <u>62,1(84,5)</u> 252(185)	<u>1800</u> 48(65)	<u>1950</u> 600	—»—	—»—	

Продолжение табл. 3.3

1	2	3	4	5	6	7
Д-245.6, -245.7	$\frac{2400^{+40}}{-20}$ <u>86(117)</u> 245(180)	<u>2400</u> 66(90)	<u>2600</u> 600	→→←	→→←	
Д-245.8, -245.9	$\frac{2400^{+40}}{-20}$ <u>96,3(131)</u> 245(180)	<u>2400</u> 74(100)	<u>2600</u> 600	→→←	→→←	
Д-245.10, -245.11	$\frac{2400^{+40}}{-20}$ <u>75,7(103)</u> 252(185)	<u>2400</u> 59(80)	<u>2600</u> 600	→→←	→→←	
Д-245.12	$\frac{2400^{+40}}{-20}$ <u>76,8(104,5)</u> 252(185)	<u>2400</u> 59(80)	<u>2600</u> 600	→→←	→→←	<u>1800⁺⁵⁰</u> <u>-20</u>
СМД-14Н, -14НГ, -14АН, -15Н	$\frac{1800^{+50}}{-20}$ <u>57,3(78)</u> 252(185)	<u>1800</u> 44(60)	<u>1950</u> 800	0,06-0,07 (0,6-0,7)	<u>(0,15-0,45)</u> н.м. 0,10 (1,0)	н.м. <u>0,20(2,0)</u> н.м. 0,08 (0,80)
СМД-17Н, -18Н	$\frac{1800^{+50}}{-20}$ <u>69,1(94)</u> 252(185)	<u>1800</u> 55(75)	<u>1950</u> 800	→→←	→→←	→→←
СМД- 17КН,- 18КН	$\frac{1900^{+50}}{-10}$ <u>72,8(99)</u> 252(185)	<u>1900</u> 59(80)	<u>2020</u> 800	→→←	→→←	→→←
СМД-19, -19Т,-20, -20Т	$\frac{1900^{+50}}{-10}$ <u>86,8(118)</u> 252(185)	<u>1900</u> 70(95)	<u>2020</u> 800	→→←	→→←	→→←
СМД-21, -22,-22А	$\frac{2000^{+50}}{-10}$ <u>101,5(138)</u> 252(185)	<u>2000</u> 81(110)	<u>2130</u> 800	→→←	→→←	→→←
СМД-23, -24	$\frac{2000^{+50}}{-10}$ <u>115,4(157)</u> 245(180)	<u>2000</u> 92(125)	<u>2130</u> 600	→→←	0,28-0,45 <u>(2,8-4,5)</u> н.м. 0,08 (0,80)	н.м. 0,20 <u>(2,0)</u> н.м. 0,08 (0,80)

Продолжение табл. 3.3

1	2	3	4	5	6	7
СМД-31, -31А,-32	$\frac{2000^{+50}_{-10}}{158(215)}$ 252(185)	$\frac{2000}{125(170)}$	$\frac{2130}{600}$	—»—	0,30-0,45 <u>(3,0-4,5)</u> н.м. 0,8 (0,80)	—»—
СМД-60, -61,-68	$\frac{2000^{+50}_{-10}}{112,5(153)}$ 252(185)	$\frac{2000}{92(125)}$	$\frac{2180}{600}$	—»—	0,30-0,50 <u>(0,3-0,5)</u> н.м. 0,10 (1,0)	—»—
СМД-62, -62Т,-63, -68Д	$\frac{2100^{+50}_{-10}}{122(166)}$ 252(185)	$\frac{2100}{95(130)}$	$\frac{2280}{600}$	—»—	—»—	—»—
СМД-64, -65,-74	$\frac{1900^{+50}_{-10}}{112,5(153)}$ 252(185)	$\frac{1900}{92(125)}$	$\frac{2080}{600}$	—»—	—»—	—»—
СМД-72, -73	$\frac{2100^{+50}_{-10}}{151,5(206)}$ 252(185)	$\frac{2100}{118(160)}$	$\frac{2280}{600}$	0,08-0,11 (0,8-1,1)	—»—	—»—
СМД-66	$\frac{1900^{+50}_{-10}}{122(166)}$ 252(185)	$\frac{1900}{95(130)}$	$\frac{2080}{600}$	0,06-0,07 (0,6-0,7)	—»—	—»—
А-01М, -01МБ, -01МВ, -01МД	$\frac{1700 \pm 35}{93,4(127)}$ 265(195)	$\frac{1700}{74(100)}$	$\frac{1840}{700}$		0,30-0,50 <u>(3,0-5,0)</u> н.м. 0,10 (1,0)	
А-01МЛ, -01МЕ, -01МГ	$\frac{1600 \pm 35}{79,5(108)}$ 265(195)	$\frac{1600}{62(85)}$	$\frac{1740}{700}$		—»—	
А-01Т, А-11Т	$\frac{1800 \pm 35}{117,6(160)}$ 252(185)	$\frac{1800}{95(130)}$	$\frac{1940}{700}$	0,05-0,06 (0,5-0,6)	—»—	$\frac{н.м.2,0}{н.м.1,0}$
А-41,-41М, -41Б,-41Г	$\frac{1750 \pm 35}{64(87)}$ 265(195)	$\frac{1750}{51(70)}$	$\frac{1930}{700}$		—»—	
А-41Т, А-440	$\frac{1750 \pm 35}{80,9(110)}$ 252(185)	$\frac{1750}{65(90)}$	$\frac{1930}{700}$	0,05-0,06 (0,5-0,6)	—»—	—»—

Продолжение табл. 3.3

1	2	3	4	5	6	7
Д-442-24, -442-25 (I, II – уровни мощности)	$\frac{1750 \pm 35}{I - 105,9(144)}$ $\frac{II - 88,2(120)}{245(180)}$	$\frac{1750}{81(110)}$	$\frac{1930}{700}$	0,05-0,06 (0,5-0,6)	—»—	—»—
Д-108	$\frac{1070 \pm 30}{79,4(108)}$ 252(185)	$\frac{1070}{66(90)}$	$\frac{1170}{550}$		0,20-0,50 $\frac{(2,0-5,0)}{н.м. 0,9}$ (0,90)	
Д-180	$\frac{1250 \pm 30}{114,7(156)}$ 252(185)	$\frac{1250}{103(125)}$	$\frac{1350}{550}$	0,06-0,07 (0,6-0,7)	—»—	н.м. $\frac{0,20}{(2,0)}$ н.м.0,10 (1,0)
Д-180Б	$\frac{1070 \pm 30}{100,7(137)}$ 252(185)	$\frac{1070}{80(110)}$	$\frac{1170}{550}$		—»—	
ЯМЗ-236	$\frac{2050^{+50}_{-20}}{123,5(168)}$ 258(190)	$\frac{1900}{100(135)}$	$\frac{2275}{650}$		0,40-0,70 $\frac{(4,0-7,0)}{н.м. 0,10}$ (1,0)	
ЯМЗ-236А	$\frac{2100^{+50}_{-20}}{132,3(180)}$ 252(185)	$\frac{1900}{107(145)}$	$\frac{2275}{650}$		—»—	
ЯМЗ-236Б, -236Б-1	$\frac{2000^{+50}_{-20}}{171,3(233)}$ 245(180)	$\frac{2000}{140(190)}$	$\frac{2175}{650}$	н.м. 0,07 (0,70)	—»—	н.м. $\frac{0,30}{(3,0)}$ н.м. 0,08 (0,80)
ЯМЗ-236Д	$\frac{2050^{+15}}{117,6(160)}$ 252(185)	$\frac{1900}{92(125)}$	$\frac{2275}{750}$		—»—	
ЯМЗ-236ДК	$\frac{2000^{+50}_{-20}}{125(170)}$ 252(185)	$\frac{1700}{99(135)}$	$\frac{2175}{750}$		0,45-0,70 $\frac{(4,5-7,0)}{н.м. 0,10}$ (1,0)	

Продолжение табл. 3.3

1	2	3	4	5	6	7
ЯМЗ-236ЕК	$\frac{1750^{+50}}{-20}$ 99,2(135) 247(182)	$\frac{1700}{81(110)}$	$\frac{1925}{750}$		0,45-0,70 (4,5-7,0) н.м. 0,10 (1,0)	
ЯМЗ-236М2, -236М2-1, -236М2-4	$\frac{2100^{+50}}{-20}$ 123,5(168) 252(185)	$\frac{1900}{100(135)}$	$\frac{2275}{650}$		→»←	
ЯМЗ-236Н,- 236Н-1, -236НЕ-1, -236НЕ-5	$\frac{2100^{+50}}{-20}$ 158(215) 245(180)	$\frac{1900}{125(170)}$	$\frac{2275}{650}$	н.м. 0,07 (0,7)	→»←	н.м. 0,30 (3,0) н.м. 0,08 (0,80)
ЯМЗ-236НВ	$\frac{2100^{+50}}{-20}$ 143,4(195) 245(180)	$\frac{1900}{114(155)}$	$\frac{2275}{650}$	→»←	→»←	→»←
ЯМЗ-236НД	$\frac{1900^{+50}}{-20}$ 125(170) 245(180)	$\frac{1900}{103(140)}$	$\frac{2175}{650}$	→»←	→»←	→»←
ЯМЗ-236Г	$\frac{1700^{+50}}{-20}$ 99,3(135) 253(186)	$\frac{1700}{81(110)}$	$\frac{1950}{650}$		→»←	
ЯМЗ-238-1, -238-2	$\frac{2500^{+50}}{-20}$ 165,4(225) 265(195)	$\frac{1900}{132(180)}$	$\frac{2275}{650}$		→»←	
ЯМЗ-238А, -238АМ	$\frac{2500^{+50}}{-20}$ 148,5(202) 265(195)	$\frac{1900}{118(160)}$	$\frac{2275}{650}$		→»←	
ЯМЗ-238АМ2, -238АМ2-1	$\frac{2050^{+15}}{248(182)}$ 155,9(212)	$\frac{1900}{125(170)}$	$\frac{2275}{650}$		→»←	
ЯМЗ-238АК	$\frac{2000^{+50}}{-10}$ 160,3(218) 252(185)	$\frac{1800}{129(175)}$	$\frac{2175}{750}$		0,45-0,70 (4,5-7,0) н.м. 0,01 (1,0)	

Продолжение табл. 3.3

1	2	3	4	5	6	7
ЯМЗ-238Б, -238Б-1, -238Б-2, -238Б-3, -238Б-8	$\frac{2000^{+50}}{-20}$ <u>207,5(282)</u> 245(180)	<u>1800</u> 166(225)	<u>2175</u> 650	н.м. 0,075 (0,75)	<u>0,48-0,70</u> <u>(4,8-7,0)</u> н.м. 0,13 (1,30)	н.м. 0,30 <u>(3,0)</u> н.м. 0,08 (0,80)
ЯМЗ- 238БВ	$\frac{2000^{+50}}{-20}$ <u>214(291)</u> 245(180)	<u>1800</u> 169(230)	<u>2175</u> 650	н.м. 1,0	—»—	—»—
ЯМЗ- 238БК	$\frac{2000^{+50}}{-20}$ <u>200(272)</u> 235(175)	<u>1800</u> 162(220)	<u>2175</u> 750	н.м. 0,070 (0,70)	<u>0,45-0,70</u> <u>(4,5-7,0)</u> н.м. 0,10 (1,0)	—»—
ЯМЗ- 238Д, -238Д-1, -238Д-2	$\frac{2100^{+50}}{-20}$ <u>227,9(310)</u> 242(178)	<u>1900</u> 176(240)	<u>2275</u> 650	н.м. 0,10 (1,0)	<u>(0,48-0,70)</u> н.м. 0,13 (1,3)	—»—
ЯМЗ- 238ДК	$\frac{2000^{+50}}{-10}$ <u>227,9(310)</u> 235(175)	<u>1800</u> 176(240)	<u>2175</u> 750	н.м. 0,09 (0,9)	—»—	
ЯМЗ- 238ЕК	$\frac{2000^{+50}}{-10}$ <u>170,6(232)</u> 243(179)	<u>1800</u> 136(185)	<u>2175</u> 750		—»—	
ЯМЗ- 238Г, -238ГМ, -238ГМ2	$\frac{1670^{+15}}$ <u>111,8(152)</u> 252(185)	<u>1700</u> 88(120)	<u>1950</u> 650		<u>0,42-0,65</u> <u>(4,2-6,5)</u> н.м. 0,10 (1,0)	
ЯМЗ-238И	$\frac{1500^{+50}}$ <u>113,2(154)</u> 245(180)	<u>1550</u> 88(120)	<u>1800</u> 650		—»—	
ЯМЗ- 238ИМ2	$\frac{1670^{+15}}$ <u>119,1(162)</u> 245(180)	<u>1700</u> 95(130)	<u>1820</u> 650		—»—	

Продолжение табл. 3.3

1	2	3	4	5	6	7
ЯМЗ-238К, -238КМ	$\frac{2100^{+15}}{130,9(178)}$ 265(195)	$\frac{2000}{103(140)}$	$\frac{2275}{650}$		$\frac{0,48-0,70}{(4,8-7,0)}$ н.м. 0,10 (1,0)	
ЯМЗ-238КМ2	$\frac{2050^{+15}}{129,4(176)}$ 252(185)	$\frac{2000}{110(140)}$	$\frac{2275}{650}$		—»—	
ЯМЗ-238Л, -238Н	$\frac{2100^{+50}}{210,3(286)}$ 245(180)	$\frac{2100}{169(230)}$	$\frac{2275}{650}$	н.м. 0,10 (1,0)	$\frac{0,48-0,70}{(4,8-7,0)}$ н.м. 0,13 (1,30)	н.м. 0,30 (3,0) н.м. 0,8 (0,80)
ЯМЗ-238М1, -238М2, -(1-8)	$\frac{2050^{+15}}{161,8(220)}$ 243(185)	$\frac{1900}{129(175)}$	$\frac{2275}{650}$	—»—	$\frac{0,48-0,70}{(4,8-7,0)}$ н.м. 0,10 (1,0)	
ЯМЗ-238НД-2, -238НД-3	$\frac{1700^{+50}}{157,3(214)}$ 245(180)	$\frac{1700}{125(170)}$	$\frac{1950}{750}$	—»—	$\frac{0,40-0,70}{(4,0-7,0)}$ н.м. 0,10 (1,0)	н.м. 0,30 (3,0) н.м. 0,8 (0,80)
ЯМЗ-238НД-4	$\frac{1900^{+50}}{172(234)}$ 245(180)	$\frac{1900}{136(185)}$	$\frac{2175}{750}$	—»—	—»—	—»—
ЯМЗ-240БМ, -240БМ2, -240БМ2-1, -240БМ2-2	$\frac{1900^{+50}}{206,6(281)}$ 252(185)	$\frac{1900}{165(225)}$	$\frac{2150}{650}$		$\frac{0,40-0,70}{(4,0-7,0)}$ н.м. 0,10 (1,0)	
ЯМЗ-8423, -8423.10	$\frac{1900^{+20}}{235,3(320)}$ 242(178)	$\frac{1850}{184(250)}$	$\frac{2150}{650}$	н.м. 0,07 (0,70)	$\frac{0,40-0,60}{(4,0-6,0)}$ н.м. 0,10 (1,0)	н.м. 0,25 (2,5) н.м. 0,10 (1,0)

Окончание табл. 3.3

1	2	3	4	5	6	7
ЯМЗ-8481.10, -8481.10-01, -8481.10-05	$\frac{1900^{+20}}{-50}$ <u>246,3(335)</u> 238(175)	<u>1850</u> 198(270)	<u>2150</u> 650	н.м. 0,09 (0,90)	→»←	→»←
ЯМЗ-8482.10, -8482.10-01	$\frac{1700^{+20}}{-50}$ <u>189(257)</u> 245(180)	<u>1650</u> 151(205)	<u>1950</u> 650	н.м. 0,07 (0,70)	→»←	→»←
ЯМЗ-8421.10, -8421.10-02	$\frac{2050^{+20}}{-50}$ <u>253,7(345)</u> 252(185)	<u>2000</u> 202(275)	<u>2275</u> 650	н.м. 0,10 (1,0)	→»←	→»←
КамАЗ-740-210	$\frac{2600^{+30}}$ <u>150,7(205)</u> 252(185)	<u>2600</u> 118(160)	<u>2930</u> 600		<u>0,40-0,55</u> <u>(4,0-5,5)</u> н.м. 0,10 (1,0)	
КамАЗ-740-220	$\frac{2600^{+30}}$ <u>158(215)</u> 252(185)	<u>2600</u> 125(170)	<u>2930</u> 600		→»←	
КамАЗ-7408	$\frac{2200^{+30}}$ <u>165,4(225)</u> 252(185)	<u>2200</u> 132(180)	<u>2550</u> 600		→»←	
КамАЗ-7403	$\frac{2600^{+30}}$ <u>180,1(245)</u> 245(180)	<u>2600</u> 147(200)	<u>2930</u> 600	н.м. 0,07 (0,70)	→»←	
КамАЗ-740-190	$\frac{2600^{+30}}$ <u>136(185)</u> 252(185)	<u>2600</u> 103(140)	<u>2930</u> 600		→»←	
ЗИЛ-6451	$\frac{2770^{+30}}$ <u>125(170)</u> 245(180)	<u>2770</u> 99(135)	<u>3030</u> 680		→»←	
ЗИЛ-6454	$\frac{2770^{+30}}$ <u>136(185)</u> 245(180)	<u>2770</u> 112(150)	<u>3030</u> 680		→»←	

3.3.2 Приемочный контроль двигателей с искровым зажиганием

Приемочный контроль включает приемо-сдаточные испытания и контрольный осмотр двигателя.

После обкатки двигатель должен быть подвергнут приемо-сдаточным испытаниям. При проведении испытаний необходимо соблюдать режимы, установленные техническими условиями (табл. 3.4).

Приемо-сдаточные испытания включают проверку следующих параметров двигателя:

- 1) работу двигателя на переменном нагрузочно-скоростном режиме (при $n=(0,5-0,85)n_H$ и $N_e=(0,25-0,75)N_H$);
- 2) минимальную частоту вращения холостого хода;
- 3) максимальную частоту вращения холостого хода;
- 4) развиваемую мощность на частичном скоростном режиме (при $n=(0,80-0,82)n_H$ и $N_e=(0,67-0,69)N_H$).

При приемочных испытаниях двигателя не допускается резкое изменение нагрузки и скоростного режима, установка раннего зажигания.

В процессе приемочных испытаний необходимо кроме параметров, указанных в таблице 3.4, проверить:

- 1) уровень масла в картере двигателя;
- 2) температуру охлаждающей жидкости и масла;
- 3) отсутствие течи охлаждающей жидкости, масла и топлива во всех соединениях двигателя;
- 4) правильность работы масляной системы, давление масла должно быть частоте вращения коленвала $2000 \text{ мин}^{-1} - 0,20-0,25 \text{ МПа}$;
- 5) правильность установки зажигания;
- 6) отсутствие посторонних стуков и шумов.

Не допускается: прослушиваемый стетоскопом стук поршней, коренных и шатунных подшипников; стук поршневых пальцев, резкий стук клапанов, коромысел или толкателей; стук или резкий шум высокого тона распределительных шестерен и шестерен масляного насоса; шум подшипников насоса системы охлаждения; пропуск газов или подсос воздуха через прокладки.

Допускается: равномерный стук клапанов и толкателей, сливающийся в общий шум; ровный и нерезкий шум высокого тона от

работы распределительных шестерен и шестерен привода распределителя.

Таблица 3.4 – Режимы приемо-сдаточных испытаний ДсИЗ

Контрольные режимы	ЗМЗ-53.11			ЗМЗ-402/406		
	Частота вращения к.в. мин ⁻¹	Нагрузка, Н Мощность, кВт	Время, мин	Частота вращения к.в. мин ⁻¹	Нагрузка, Н Мощность, кВт	Время, мин
Проверка работы двигателя при переменной нагрузке	1600-2500	<u>220-300</u> 27-55	5	1600-3000	<u>100-180</u> 18-47 <u>120-200</u> 22-60	5
Проверка и регулирование частоты вращения коленчатого вала на холостом ходу:						
минимальной	Не более 550	-	2	Не более 550-600	-	2
максимальной	3000-3200	-	2	3000-3200	-	2
Проверка развиваемой мощности	2600	300/59	3	2600	<u>180/45</u> 200/54	3

При выполнении указанных выше требований двигатель принимается.

Кроме того, производят пуск двигателя от стартера. Если в течение 20 с двигатель не запускается, стартер необходимо выключить, выждать 1-2 мин и включить повторно. Если после трех попыток двигатель не пускается – заменить стартер.

После пуска двигателя необходимо проверить работу генератора. При частоте вращения коленвала 2000-1400 мин⁻¹ генератор дол-

жен давать зарядный ток. При обнаружении неисправности генератор заменить.

На принятый двигатель оформляется протокол испытаний (см. лаборатор. раб. №2) и паспорт с подписью механика и моториста.

Двигатели, прошедшие приемо-сдаточные испытания, подвергаются контрольному осмотру. На каждом двигателе снимают и промывают поддон картера и фильтр грубой очистки масла, проверяют подшипники и крепление отдельных узлов, осматривают нижнюю часть гильз цилиндров.

Результаты приемочных испытаний (режимы проверки развиваемой мощности) должны приводиться к стандартным атмосферным условиям с использованием формул (1.24) и (1.25).

3.3.3 Технический осмотр и органолептический контроль

Дизели, прошедшие приемо-сдаточные испытания, должны быть подвергнуты техническому осмотру, включающему:

сплошной контроль всех дизелей с частичной разборкой каждого из них;

выборочный контроль каждого 50-го дизеля с полной его разборкой.

При сплошном контроле с частичной разборкой дизеля необходимо:

снять нижнюю крышку (поддон) и промыть ее; осмотреть нижнюю часть гильз цилиндров;

вскрыть и осмотреть заднюю коренную шейку коленчатого вала и ее нижний вкладыш. В зависимости от состояния проверяемой шейки и вкладыша по требованию контролера могут быть вскрыты и осмотрены остальные коренные шейки для окончательной оценки состояния шеек коленчатого вала и вкладышей коренных подшипников.

На рабочих поверхностях вкладышей допускается не более пяти кольцевых рисок глубиной до 0,15 мм и шириной до 0,4 мм. В зоне разъема вкладышей допускаются натирывы общей площадью не более 2 см².

Вкладыши коренных и шатунных подшипников должны иметь приработку по шейкам коленчатого вала площадью не менее 75% [1]

общей поверхности антифрикционного слоя. Задиры и риски на поверхностях шеек коленчатого вала не допускаются.

Продольные риски, задиры и наволакивание алюминиевого сплава поршней на зеркале гильз цилиндров не допускаются. На зеркале гильз цилиндров допускаются отдельные неприработанные полосы, видимые на глаз. При обнаружении задиров и натиров на зеркале гильз цилиндров дизель следует подвергнуть полному контрольному осмотру со снятием головки цилиндров и шатунов с поршнями.

Внешнее состояние рабочих поверхностей оценивается эталонными образцами, утвержденными руководством ремонтного предприятия.

При выборочном контрольном осмотре с дизеля снимают головки цилиндров, вскрывают коренные и шатунные подшипники, вынимают поршни с шатунами. Проводят контроль состояния цилиндропоршневой группы, кривошипно-шатунного и клапанного механизмов, газового стыка цилиндров.

Головку цилиндров следует проверить на герметичность клапанов путем заливки керосина во впускные и выпускные каналы с выдерживанием в течение 3 мин. Течь керосина не допускается.

Внешнее состояние дизелей и сборочных единиц, качество приработки поверхностей коренных и шатунных вкладышей, поршней и поршневых колец оценивают осмотром, а при необходимости с помощью установленных образцов. Детали и сборочные единицы не должны иметь задиров, царапин, различных повреждений.

Двигатели, подвергавшиеся выборочному контролю, при отсутствии дефектов проходят обкатку по сокращенной программе и полное испытание.

Двигатели с замененными коленчатыми валами, гильзами цилиндров и поршнями подвергаются обкатке по полной программе.

При неудовлетворительных результатах технического осмотра дизеля проверке подвергают дополнительно еще два дизеля. В случае выявления этих же дефектов проверке подлежат все дизели после испытаний вплоть до полной ликвидации обнаруженного дефекта.

Органолептическому контролю должен быть подвергнут каждый дизель при приемо-сдаточных испытаниях, а также до и после окраски. При этом в зависимости от готовности дизеля контролируют:

детали и сборочные единицы на соответствие комплектности требованиям НТД, выявление видимых повреждений, отсутствие течи в соединениях и уплотнениях;

качество сварных соединений и сборки, качество покраски; наличие защитных металлических покрытий, пробок на топливном насосе в трех местах (крышка люка регулятора, винт скоростного режима, боковая крышка рейки насоса) и на регуляторе пускового двигателя, а также наличие на дизеле таблички ремонтного предприятия с указанием модели дизеля, эксплуатационной мощности, частоты вращения, даты выпуска из ремонта.

3.4 Обкатка и испытания двигателей при текущем ремонте

После текущего ремонта двигателей проводят холодную и горячую обкатку.

Холодную обкатку проводят в течение 10 мин по следующему режиму:

частота вращения коленвала, мин ⁻¹	500+100;	700±100;
продолжительность обкатки, мин	5	5

Тепловой режим и давление масла в главной магистрали в процессе обкатки должны соответствовать значениям, установленным технической документацией. Не допускаются посторонние стуки и шумы в механизмах, подтекание топлива, воды и масла в местах соединения трубопроводов и деталей.

Горячую обкатку проводят в течение 20 мин по следующему режиму:

эффективная мощность двигателя, % от N _н	25±2;	50±2;	70±2;	90±2
продолжительность обкатки, мин	5	5	5	5

В конце горячей обкатки двигателей под нагрузкой проверяют и при необходимости регулируют максимальную и минимальную частоты вращения холостого хода (табл. 3.3).

Испытание двигателя проводят после горячей обкатки. Параметры двигателя (номинальная мощность, удельный расход топлива) при стандартных условиях должны соответствовать данным таблицы 3.3. Допускается увеличение до 5% удельного расхода топлива против значений, указанных в таблице 3.3. Двигатель считается не выдержавшим испытаний, если он не развивает соответствующей

мощности при номинальной частоте вращения с указанным удельным расходом топлива.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные требования к дизелям и ДсИЗ, поступающим на обкатку.

2. Назовите основные этапы стендовой обкатки двигателей.

3. Назовите основные требования к работе двигателя при холодной и горячей обкатке.

4. Назовите основные требования к работе двигателя при горячей обкатке.

5. В чем отличие режимов горячей обкатки тракторных и автомобильных дизелей?

6. Как проверяется после обкатки качество пуска дизеля (ДсИЗ)?

7. Проверку каких параметров дизеля (ДсИЗ) включают приемо-сдаточные испытания?

8. В чем отличие режимов приемо-сдаточных испытаний автомобильных дизелей и ДсИЗ?

9. Назовите рекомендуемую последовательность проведения приемо-сдаточных испытаний дизеля (ДсИЗ).

10. Как проводится обкатка и испытания двигателей при текущем ремонте?

11. Какие параметры дизеля (ДсИЗ) приводятся к стандартным атмосферным условиям?

12. Как проводится технический осмотр и органолептический контроль дизеля после испытаний?

4 ИСПЫТАНИЯ АВТОТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА ТОКСИЧНОСТЬ

4.1 Токсичность отработавших газов

4.1.1 Нормируемые токсичные вещества

Сгорание топлива в цилиндрах двигателей сопровождается образованием большого количества различных токсичных веществ, которые состоят из продуктов неполного сгорания и термического разложения углеводородов топлива, оксидов азота, соединений серы и свинца.

Оксид углерода (СО) образуется во время сгорания при недостатке кислорода, в ходе холоднопламенных реакций в дизелях или при диссоциации CO_2 (главным образом в двигателях с искровым зажиганием).

В двигателях с искровым зажиганием (ДсИЗ) основное влияние на образование СО оказывает состав смеси: чем она богаче, тем выше концентрация СО. В дизелях образовавшийся СО окисляется затем до CO_2 , поэтому концентрация СО в отработавших газах невелика и зависит в основном от качества процесса смесеобразования: чем оно лучше, тем меньше образуется СО [7].

Симптомы отравления организма газом СО: головная боль, сердцебиение, затруднение дыхания и тошнота. У водителей ослабляется внимание и замедляется реакция.

Углеводороды (СН) состоят из исходных или распавшихся молекул топлива, которые не принимали участия в сгорании. Углеводороды появляются в отработавших газах (ОГ) вследствие гашения пламени вблизи относительно холодных стенок камеры сгорания, в «защемленных» объемах, находящихся в вытеснителях и в зазоре между поршнем и цилиндром над верхним компрессионным кольцом.

В дизелях углеводороды образуются в переобогащенных зонах, где происходит пиролиз молекул топлива. Если в процессе расширения в эти зоны не поступит достаточное количество кислорода, то СН окажется в составе ОГ. Углеводороды могут выбрасываться в атмосферу вследствие пропусков воспламенения, негерметичности выпускного клапана или системы вентиляции картера, а также из-за испарения бензина в топливном баке и карбюраторе.

Количество различных индивидуальных углеводородов, входящих в эту группу токсичных веществ, превышает 200.

Особое значение имеют выбросы бензола, толуола, полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) и в первую очередь бенз- α -пирена ($C_{20}H_{12}$). Эта группа высокотоксичных веществ образуется в результате пиролиза легких и средних фракций топлива при температуре 600-700 К. Такие условия возникают во время рабочего хода в цилиндре вблизи его холодных поверхностей при наличии там недостатка кислорода. Количество ПАУ в ОГ тем больше, чем выше концентрация в топливе бензола. ПАУ относятся к так называемым канцерогенным веществам, они не выводятся из организма человека, а накапливаются в нем, способствуя образованию злокачественных опухолей.

Сажа и твердые частицы. Сажа представляет собой твердый продукт, состоящий в основном из углерода. Кроме углерода в саже содержится 1-3% (масс.) водорода.

Сажа образуется при температуре выше 1500 К в результате объемного процесса термического разложения (пиролиза) из-за сильного недостатка кислорода. Формально реакция пиролиза выражается уравнением



Начало образования сажи имеет место при коэффициенте избытка воздуха α меньше 0,3-0,7 и зависит от температуры и давления газов, а также от вида топлива. При одинаковом количестве атомов углерода по степени увеличения склонности к образованию сажи углеводороды располагаются следующим образом: парафины, олефины, ароматики.

В двигателях с искровым зажиганием концентрационные пределы воспламенения смеси не совпадают с указанными пределами начала образования сажи. Поэтому содержание сажи в ОГ двигателей с искровым зажиганием незначительно.

При сгорании в дизелях к зонам пламени ($\alpha \approx 1,0$) с высокой температурой примыкают зоны с богатой смесью, где при диффузионном догорании и малом доступе кислорода создаются благоприятные для пиролиза условия. Большая часть частиц сажи имеет

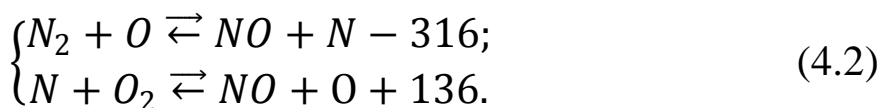
размеры 0,4-5,0 мкм. Концентрация частиц сажи в ОГ зависит и от выгорания ее в процессе расширения, когда к частицам поступает кислород. Наличие сажи в ОГ обуславливает черный дым на выпуске.

Сажа представляет механический загрязнитель носоглотки и легких. Однако большая опасность связана со свойством сажи накапливать на поверхности своих частиц канцерогенные вещества и служить их переносчиком.

Другие твердые вещества, кроме сажи, образуются из содержащейся в дизтопливе серы, а также в виде аэрозолей масла и несгоревшего топлива. Кроме того, в ОГ могут находиться продукты износа цилиндра. Все вещества, которые оседают на специальном фильтре при прохождении через него ОГ, получили общее название – «частицы».

Содержание в ОГ продуктов неполного сгорания (СО, СН и сажи) нежелательно не только из-за их токсичности, но и потому, что при неполном сгорании топлива не выделяется часть теплоты, а это обуславливает ухудшение экономических показателей двигателя.

Оксиды азота (NO_x). При температуре в цилиндре выше 2000 К, азот и кислород воздуха вступают в химическое взаимодействие по цепному механизму:



Определяющей является верхняя реакция, скорость которой зависит от концентрации атомарного кислорода. При сгорании в цилиндрах двигателя образуется главным образом оксид азота NO (свыше 95% от количества всех оксидов азота). В двигателе с искровым зажиганием окисление азота и образование NO происходят за фронтом пламени в зоне продуктов сгорания, где достигаются наивысшие температуры. Образование NO существенно увеличивается с ростом температуры газов и концентрации кислорода.

Наибольшее количество NO образуется в тех зонах заряда дизеля, которые сгорают первыми и имеют наибольшее время пребывания при температуре выше 2200 К.

С другой стороны, выход NO зависит от скорости охлаждения продуктов сгорания. Установлено [7], что при $\alpha > 1,0$ в процессе рас-

ширения, когда температура газов в цилиндре уменьшается, концентрация оксида азота не снижается до равновесной, а остается на уровне максимальной, т. е. имеет место так называемая «закалка». При работе двигателя с искровым зажиганием при $\alpha < 1$ «закалка» не наблюдается. Вне цилиндра двигателя (в выпускной системе и в атмосфере) NO окисляется до NO₂ (диоксид азота), токсичность которого значительно больше.

NO₂ оказывает негативное воздействие на слизистые оболочки глаз и носа, а также на нервную систему.

4.1.2 Ненормируемые токсичные вещества и смеси

Свинец и сера. Около 50-70% свинца, находящегося в бензине, выходит вместе с ОГ в атмосферу в форме свинцовых солей, т. е. в виде частиц диаметром меньше 1 мкм. Эти частицы проникают в организм человека вместе с воздухом и через кожу. Соединения свинца очень ядовиты и не выводятся из организма, накапливаясь в нем. Они негативно воздействуют на центральную нервную систему, вызывая нервные и психические расстройства.

Сера, содержащаяся главным образом в дизельном топливе, выбрасывается в атмосферу в форме диоксида SO₂, который очень вреден для растений и неблагоприятно воздействует на дыхательные пути, а также вызывает раздражение глаз и носоглотки.

Присутствие в ОГ соединений свинца и серы делает невозможным использование нейтрализаторов. Снижение выбросов свинца, серы и их соединений обеспечивается ограничениями на их содержание в топливе. Состав ОГ дизелей и двигателей с искровым зажиганием заметно различается.

Некоторые токсичные вещества в составе ОГ, попадая в атмосферу, претерпевают дальнейшие преобразования и создают вредные смеси и соединения.

При наличии в атмосфере углеводородов (или их радикалов), оксидов азота и оксида углерода при интенсивном ультрафиолетовом излучении солнца образуется озон O₃, являющийся сильнейшим окислителем и вызывающий при соответствующей концентрации ухудшение самочувствия людей.

При высоком содержании в малоподвижной и влажной атмосфере NO_2 , O_3 и CH возникает туман коричневатого цвета, который получил название «смог» (от англ. smoke – дым и fog – туман). Смог является смесью жидких и газообразных компонентов, он раздражает глаза и слизистые оболочки, ухудшает видимость на дорогах.

В атмосфере диоксид серы и оксиды азота, взаимодействуя с водяным паром, образуют кислоты, которые выпадают на землю вместе с дождем («кислотный дождь») и наносят большой вред растениям, зданиям и ускоряют процессы коррозии металлов.

В верхних слоях атмосферы располагаются смесь газов, состоящая на 60-90% из водяного пара, которая препятствует отводу теплоты с инфракрасным излучением от поверхности планеты, повышая ее среднюю температуру на 33°C (от минус 18 до плюс 15°C). В увеличении средней температуры на поверхности Земли и заключается «парниковый» эффект.

Из всех антропогенных парниковых газов главное значение имеет CO_2 . Поэтому снижение антропогенных выбросов CO_2 стало острой экологической проблемой.

4.1.3 Основные пути снижения токсичности отработавших газов

Снижение токсичности ОГ до допустимых норм представляет собой сложную научно-техническую задачу, при решении которой большое значение имеет стоимость тех или иных мероприятий, а также необходимость обеспечения сохранения высоких экономических, энергетических и других показателей двигателей.

Исторически снижение токсичности ОГ осуществлялось в первую очередь совершенствованием традиционных процессов смесеобразования и сгорания при одновременной оптимизации управления двигателем. Практика показала, что достичь при этом уровня токсичности ОГ, требуемого законодательством развитых стран, нельзя, поэтому получил широкое применение второй путь – нейтрализация ОГ в системе выпуска, при которой токсичные газы (CO , CH и NO_x), вышедшие из цилиндров двигателя, нейтрализуются в системе выпуска до выброса их в атмосферу. Использование этих двух путей не позволяет устранить выбросы соединений свинца, SO_2 и ПАУ до уровня,

обеспечивающего не превышение ПДК. Это вызывает необходимость использовать третий путь – ограничивать содержание в топливе свинца, серы и ароматических углеводородов.

Четвертый путь снижения вредных выбросов с ОГ связан с улучшением топливной экономичности двигателей (снижением расхода углеводородного топлива) или с переходом к альтернативным топливам, в том числе не содержащим углерода (например, водород).

Уменьшение токсичности ОГ достигается в результате законодательного ограничения выброса вредных веществ. С этой целью разработаны стандарты и правила, устанавливающие нормы на допустимые выбросы CO, CH и NO_x. Кроме того, для дизелей установлены нормы на дымность ОГ. В последнее время от нормирования дымности ОГ многие страны перешли к нормированию частиц. С ростом автомобильного и тракторного парка периодически вводятся все более жесткие нормы.

4.2 Нормирование и контроль токсичности отработавших газов двигателей с искровым зажиганием

В настоящее время существуют разные стандарты, разработанные для США, Европы и Японии, представляющих собой регионы с наиболее жестким нормированием выбросов. Стандарты Российской Федерации (РФ) уже сейчас во многом идентичны Правилам № 83 и 49 ЕЭК ООН.

В РФ действует комплекс стандартов на токсичность ОГ двигателей с искровым зажиганием (рис. 4.1).

Первый вид испытаний – контроль в эксплуатационных условиях производится работниками ГИБДД, санитарных служб или на станциях технического обслуживания и технического осмотра. Эти испытания отличаются необходимой для массового использования простотой и выполняются при помощи дешевых и небольших газоанализаторов.

Второй вид испытаний (официальное утверждение, периодические и инспекционные) требует специального дорогого и сложного оборудования и газоанализаторов, он позволяет получить более полную информацию о токсичности ОГ автомобиля.

В стандартах указываются, на какие автомобили они распространяются, методика, режимы и объем испытаний, требования к оборудованию и точности измерений, порядок обработки результатов измерений, а также нормы на предельно допустимые выбросы вредных веществ.

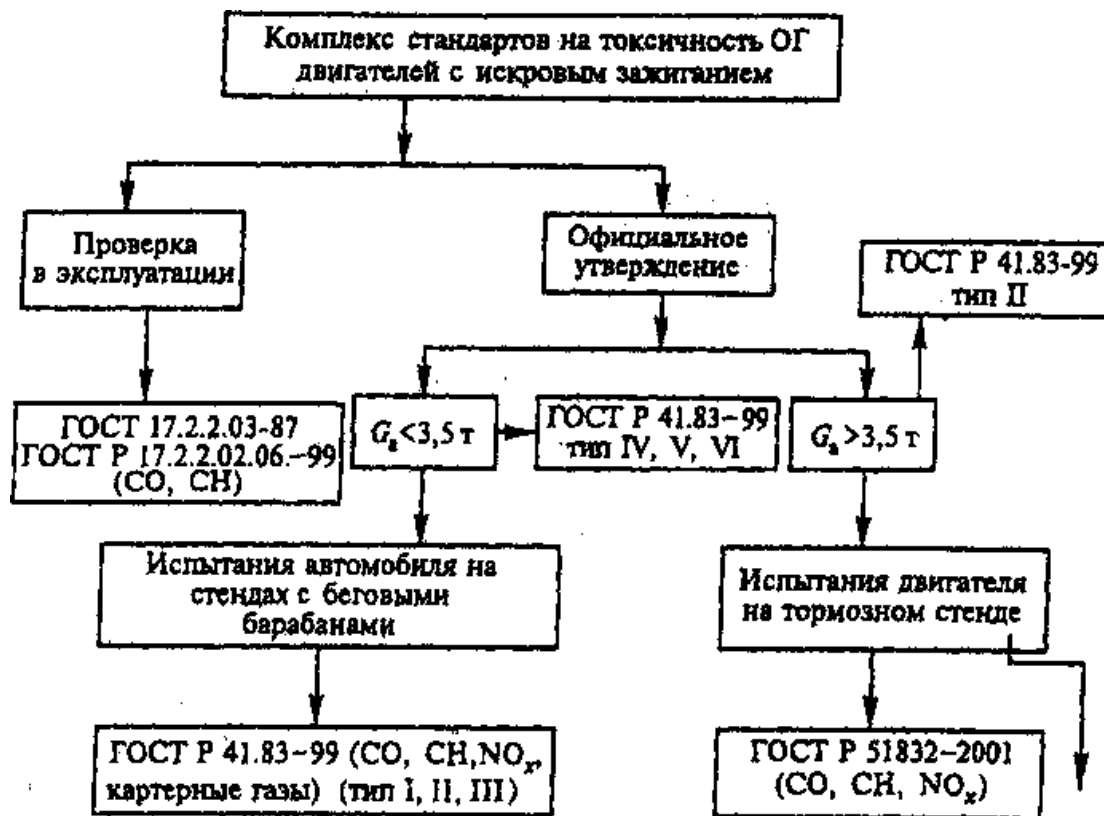


Рисунок 4.1 – Комплекс стандартов на токсичность отработавших газов двигателей с искровым зажиганием (в скобках указан соответствующий тип испытаний)

4.2.1 Контроль токсичности отработавших газов при эксплуатации автомобилей

В соответствии с ГОСТ 17.2.2.03-87 и ГОСТ Р 17.2.02.06-99 этот контроль осуществляется для всех автомобилей с массой не менее 400 кг, оснащенных бензиновыми и газовыми двигателями.

На неподвижном автомобиле с прогретым двигателем проверяется содержание CO и CH в ОГ на двух режимах холостого хода: при минимальной частоте вращения, указанной предприятием-изготовителем, и при повышенной частоте вращения в интервале $(3000 \pm 100) \text{мин}^{-1}$.

Предельно допустимое содержание СО и СН по ГОСТ 17.2.2.03-87 указано в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Предельно допустимое содержание вредных выбросов в отработавших газах ДсИЗ

Частота вращения, мин ^{-1**}	Предельно допустимое содержание оксида углерода, объемная доля, %	Предельно допустимое содержание углеводородов, объемная доля, млн ⁻¹	
		для двигателей с числом цилиндров	
		до 4 вкл	более 4
<i>Автомобили без каталитических нейтрализаторов</i>			
$n_{xx \text{ min}}$	Значение, указанное заводом-изготовителем*. Если такое значение не указано, то 3,5	1200	3000
$n_{xx \text{ пов}}^{***}$	2,0	600	1000
<i>Автомобили с каталитическими нейтрализаторами</i>			
$n_{xx \text{ min}}$	Значение, указанное заводом-изготовителем*. Если такое значение не указано, то 1,0%	400	600
$n_{xx \text{ пов}}^{***}$	Значение, указанное заводом-изготовителем*. Если такое значение не указано, то 0,7	200	300

* После 1-го января 1999 г. в технической документации на новый автомобиль завод-изготовитель должен указывать значение предельно допустимого содержания СО в ОГ на режиме минимальной частоты вращения холостого хода, которое не должно превышать значений, приведенных в таблице.

** Значения $n_{xx \text{ min}}$, $n_{xx \text{ пов}}$ указываются в технических условиях к инструкции по эксплуатации автомобилей; если эти значения не установлены, то при контроле принимают $n_{xx \text{ min}} = (800 \pm 50) \text{ мин}^{-1}$, $n_{xx \text{ пов}} = (3000 \pm 100) \text{ мин}^{-1}$.

*** Проверку на режиме повышенной частоты вращения холостого хода ($n_{xx \text{ пов}}$) проводят только на автомобилях с карбюраторными двигателями.

4.2.2 Контроль токсичности отработавших газов на стенде с беговыми барабанами

Испытания автомобиля по ГОСТ Р 41.83-99 проводят на динамометрическом стенде с беговыми барабанами. Этот стандарт распространяется на автомобили с полной массой от 400 до 3500 кг.

Стенд позволяет реализовать заданную программу движения (заданное изменение скорости в зависимости от времени) в соответствии с принятым ездовым циклом путем воздействия на орган управления двигателем (дроссельную заслонку или рейку топливного насоса высокого давления). При этом тормозное (нагружающее) устройство стенда с беговыми барабанами должно обеспечивать нагружение двигателя в соответствии с массой автомобиля. Имитация инерционных нагрузок при разгоне и торможении автомобилей обеспечивается выбором соответствующих сменных инерционных масс.

Отбор ОГ для их анализа осуществляется при помощи пробоотборника постоянного объема (ППО). ППО предназначен для смешивания ОГ с атмосферным воздухом и измерения общего объемного расхода смеси ОГ и разбавляющего воздуха. Этот расход остается неизменным независимо от режима движения автомобиля, что обеспечивается калиброванным ротационным насосом 6 (рис. 4.2) или критическими соплами.

Степень разбавления ОГ должна быть такой, чтобы ни на одном режиме движения по ездовому циклу не происходило конденсации паров в емкостях для сбора разбавленных газов.

Часть воздуха, добавляемого к ОГ, а также разбавленные ОГ отбираются для анализа через фильтры 1, пробоотборные насосы 2, вентили 3 и расходомеры 4 в эластичные емкости. При этом массовый расход разбавленных ОГ, отбираемых для анализа, должен быть на всех режимах прямо пропорционален их суммарному массовому расходу.

Так как состав разбавляющего воздуха и воздуха, поступающего в двигатель, один и тот же, то анализ этого воздуха позволяет исключить из выбросов CO, CH и NO_x с ОГ ту их часть, которая поступила в цилиндры из атмосферы.

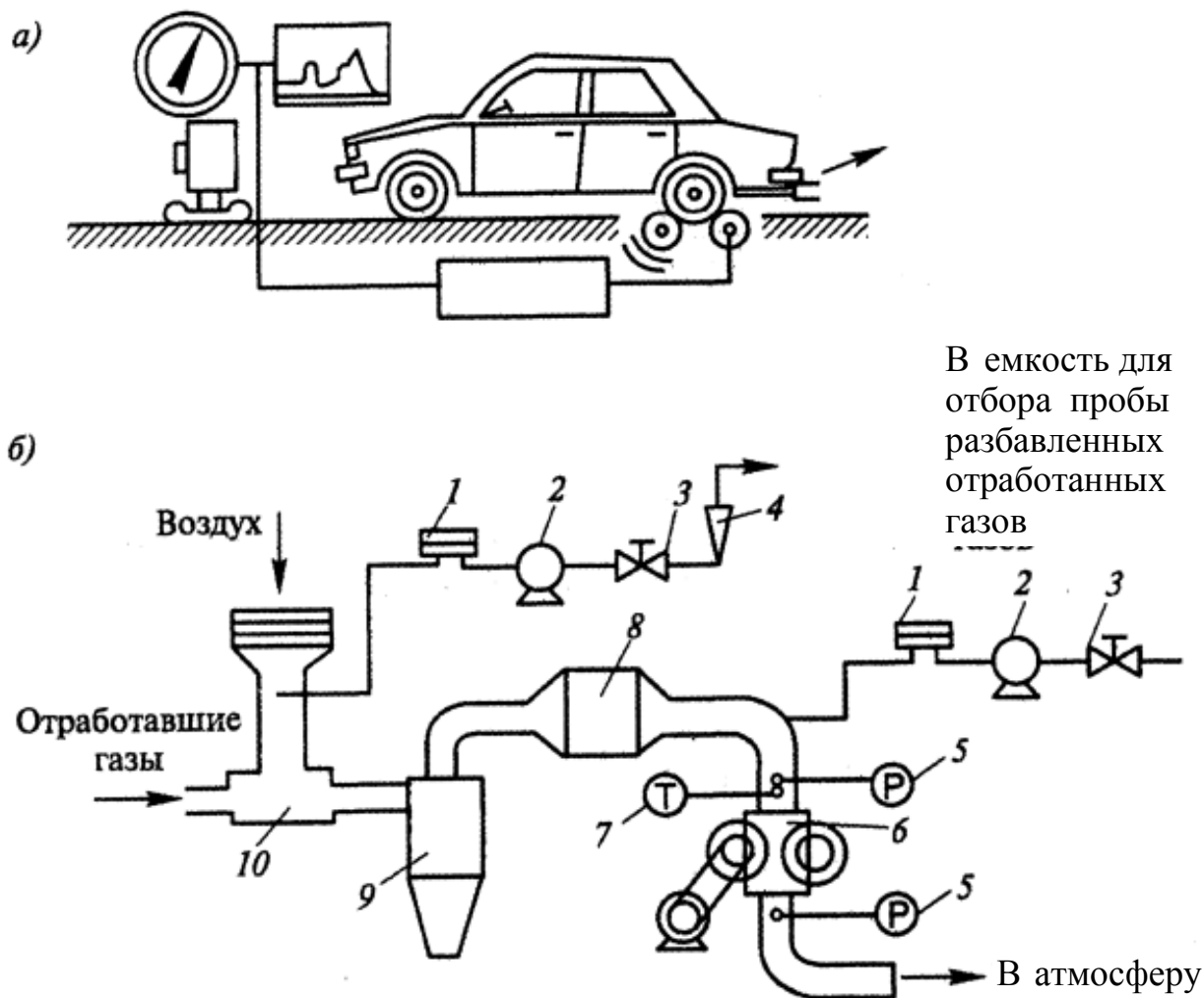


Рисунок 4.2 – Автомобиль на беговых барабанах (а) и пробоотборник постоянного объема (б): 1 – фильтр; 2 – пробоотборный насос; 3 – вентиль; 4 – расходомер; 5 – манометр; 6 – ротационный насос; 7 – датчик температуры; 8 – теплообменник; 9 – центробежный фильтр; 10 – смеситель

Теплообменник 8 поддерживает температуру смеси ОГ с воздухом перед измерительным устройством в пределах ± 6 град от заданной регулятором (на схеме не показан) величины.

Анализ CO и CO_2 проводится недисперсным инфракрасным газоанализатором, CH – ионизационно-пламенным, NO – хемилюминесцентным.

Отбор проб для анализа CH по требованиям стандарта организуется так, чтобы исключить конденсацию CH на пути от точки отбора до газоанализатора (при отборе всей пробы в одну емкость).

Обработка результатов испытаний по уравнениям, приведенным в стандарте, позволяет получить величины выбросов CO, CH и NO, в г/испытание или г/км.

По ГОСТ 341.83-99 нормы на выброс CO, CH и сумму CH и NO_x в г/км для автомобилей с полной массой 3500 кг не зависят от рабочего объема двигателя (табл. 4.2.).

Таблица 4.2 – Нормы вредных выбросов с отработавшими газами автотракторных двигателей

Стандарт	Год введения	Тип двигателя	Норма выброса			
			CO, г/км	CH+NO _x , г/км	Частицы, г/исп	Испарения, г/исп
Евро II	1996	Бензиновый.	2,2	0,5	–	2
		Дизель	1,0	0,7	0,08	–
Евро III	2000	Бензиновый и газовый.	2,3	0,2+0,15	–	2
		Дизель	0,64	0,56	0,05	–
Евро IV	2005	Бензиновый и газовый.	1,0	0,1+0,08	–	2
		Дизель	0,5	0,3	0,025	–
Евро V	2008	Бензиновый и газовый.	0,8	0,06	–	1
		Дизель	0,2	0,2	0,02	–
Евро VI	2013	Бензиновый и газовый.	0,5	0,03	–	–
		Дизель	0,1	0,1	0,01	–

4.2.3 Стендовые испытания двигателя по 13-режимному циклу

В РФ этим испытаниям в соответствии с ГОСТ Р 51832-2001 подвергаются при официальном утверждении, периодических и инспекционных испытаниях двигатели с искровым зажиганием (бензиновые и газовые), используемые для автомобилей с полной массой более 3,5 т и автобусов с количеством мест более 12.

Стандарт предусматривает определение удельных выбросов CO , CH и NO_x с ОГ двигателя, установленного на тормозном стенде, при выполнении тринадцати заданных установившихся режимов (рис. 4.3).

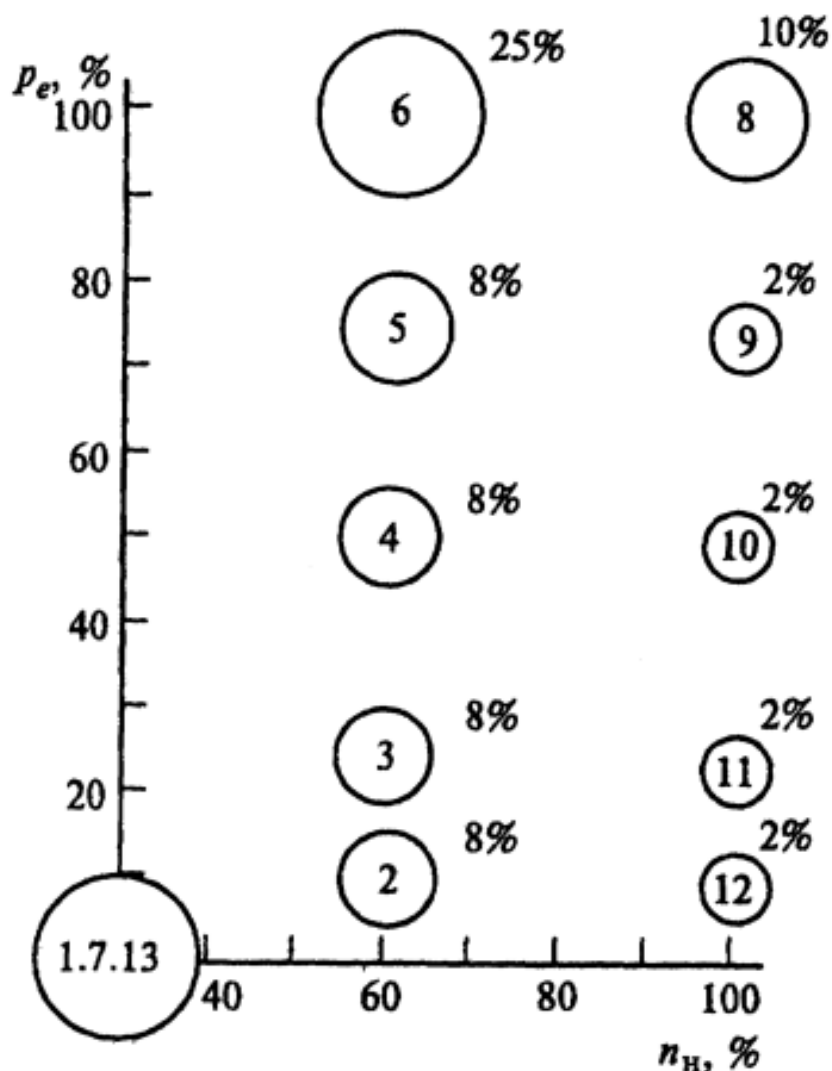


Рисунок 4.3 – 13-режимный европейский тест

Анализ ОГ на содержание CO , CH , NO_x и CO_2 должен выполняться при помощи быстродействующих газоанализаторов непрерывного действия непосредственно в процессе испытаний. При испытаниях должны измеряться: частота вращения коленчатого вала, разрежение во впускной системе, атмосферное давление, расход топлива, температура окружающего воздуха и крутящий момент двигателя. По уравнениям, приведенным в ГОСТ Р 51832-2001, по экспериментально замеренным величинам определяются удельные выбросы CO , CH и NO_x в $\text{г}/(\text{кВт}\cdot\text{ч})$ или $\text{г}/(\text{л.с.}\cdot\text{ч})$.

4.3 Снижение токсичности отработавших газов двигателей с искровым зажиганием

Для снижения токсичности ОГ используется большое количество различных мероприятий, включая применение специальных анти-токсичных устройств и целых систем. Выбор той или иной стратегии зависит от уровня токсичности ОГ, который требуется обеспечить.

4.3.1 Совершенствование систем топливоподачи и зажигания

Определяющее влияние на состав ОГ оказывает состав смеси (рис. 4.4). Возрастание концентрации в ОГ CO и CH по мере обогащения смеси объясняется увеличением дефицита кислорода. На очень бедных смесях концентрация CH увеличивается из-за появляющихся пропусков воспламенения.

Концентрация NO_x по мере обеднения смеси до $\alpha \approx 1,05$ возрастает вследствие увеличения количества O₂ в ОГ и температуры в процессе сгорания. При дальнейшем обеднении смеси определяющее значение приобретает снижение температуры сгорания.

Угол опережения зажигания $\varphi_{0,3}$ также сильно влияет на выброс NO_x и CH (рис. 4.5). Это влияние связано с тем, что при увеличении $\varphi_{0,3}$ возрастает температура процесса сгорания, а вместе с ней и количество образующихся NO_x. С уменьшением $\varphi_{0,3}$ сгорание все больше переносится на линию расширения, возрастает температура ОГ в конце процесса расширения и в системе выпуска, что обеспечивает более полное окисление CH.

Поэтому на начальном этапе борьбы за снижение токсичности ОГ использовался главным образом комплекс мероприятий, направленных на увеличение полноты сгорания топлива путем оптимизации дозирования горючей смеси и более надежного и стабильного ее поджигания.

Определенный вклад в снижение токсичности ОГ ДсИЗ внесло использование сжатого и сжиженного газов. В этом смысле сжиженный газ менее эффективен, так как уменьшение токсичности ОГ достигается главным образом в результате сжигания более бедных смесей, чем при работе на бензине.

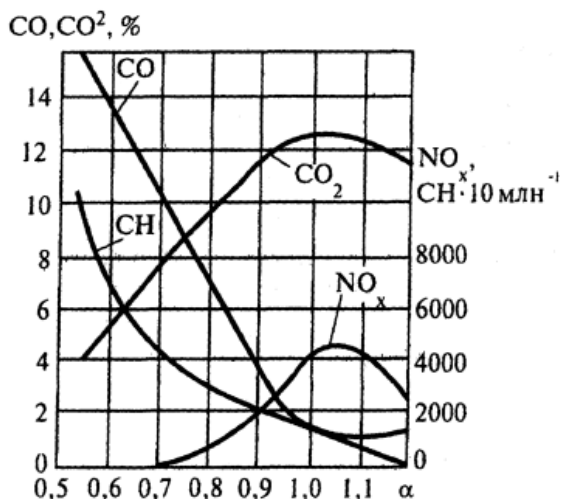


Рисунок 4.4 – Влияние α на состав отработавших газов

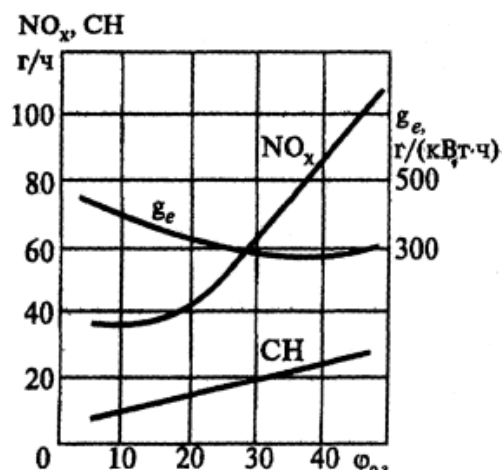


Рисунок 4.5 – Влияние $\phi_{0.3}$ на выброс NO_x и CH

Перевод двигателей на питание сжатым природным газом дает более заметный экологический эффект из-за значительного отличия элементного состава природного газа и бензина. Например, при испытаниях в среднем регистрируется выброс CO в два раза, CH на 15-40%, а NO_x на 15% меньше норм по ГОСТ Р 41.83-99. Одновременно при работе на сжатом газе регистрируется меньший выброс CO_2 и отсутствие в ОГ тяжелых углеводородов.

Резервы снижения токсичности ОГ ДсИЗ указанными выше способами к настоящему времени практически исчерпаны, и это потребовало разработки и применения специальных мероприятий.

4.3.2 Рециркуляция отработавших газов

Рециркуляция осуществляется перепуском отработавших газов из системы выпуска во впускную систему (рис. 4.6). В двигателях с переменными фазами газораспределения при раннем открытии впускного или раннем закрытии выпускного клапана больше отработавших газов остается в цилиндре, благодаря чему обеспечивается так называемая «внутренняя рециркуляция». В результате этого возрастает масса рабочей смеси (с соответствующим увеличением ее теплоемкости), что обуславливает уменьшение температуры сгорания, а значит, и уменьшение образования оксида азота. Следовательно, рециркуляция ОГ используется для уменьшения выбросов NO_x .

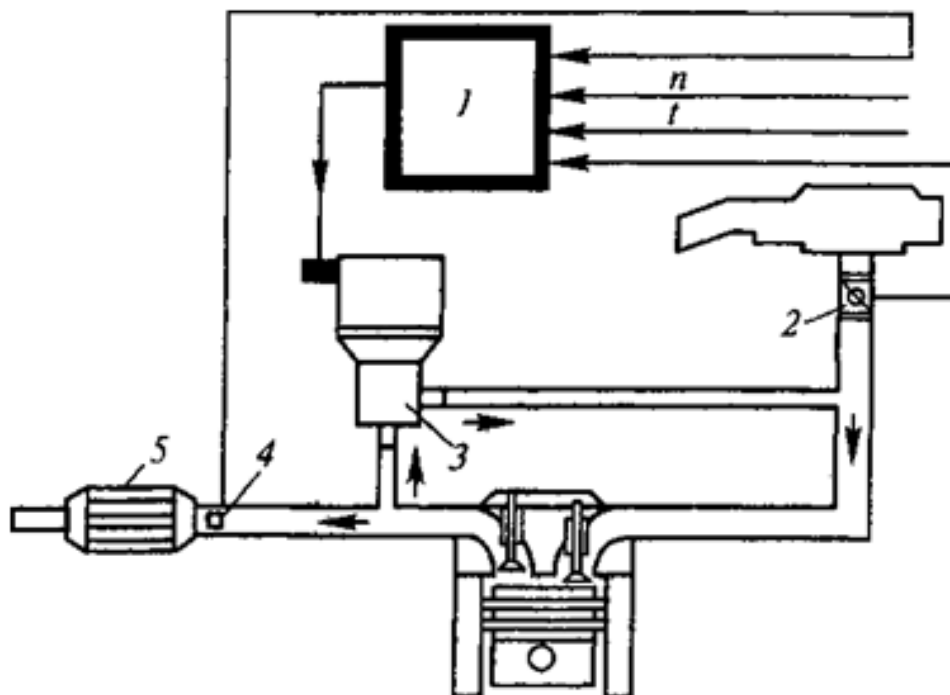


Рисунок 4.6 – Схема системы рециркуляции отработавших газов:
 1 – электронный блок управления; 2 – датчик положения дроссельной заслонки; 3 – клапан рециркуляции с электроприводом; 4 – λ -зонд; 5 – нейтрализатор

При рециркуляции несколько уменьшаются насосные потери в процессе впуска, что создает предпосылки для улучшения топливной экономичности двигателя. Кроме того снижаются потери на диссоциацию и теплоотдачу, а термический КПД цикла возрастает (из-за снижения теплоемкости вследствие уменьшения температуры и соответствующего увеличения показателя адиабаты продуктов сгорания).

С другой стороны, по мере увеличения рециркуляции ОГ затягивается процесс тепловыделения, усиливается непроизводительность последовательных циклов и возрастает выброс СН.

Вследствие совместного действия перечисленных факторов с ростом рециркуляции ОГ экономичность двигателя сначала несколько улучшается, а затем ухудшается, что и ограничивает целесообразную степень рециркуляции R_c .

$$R_c = \frac{M_R}{M_T + M_B + M_R}, \quad (4.3)$$

где M_R , M_T , M_B – масса рециркулирующих газов, топлива и воздуха соответственно.

Практика показала, что при $R_c = 15-20\%$ уменьшение выброса NO_x может достигать 60-80% (рис. 4.7)

Ухудшение топливной экономичности наблюдается обычно при $R_c > 10\%$. При этом в двигателях с быстрым сгоранием увеличение начинается при больших значениях R_c .

Чтобы избежать большого увеличения g_e и выброса CH , обычно R_c не превышает 20%.

В зависимости от нагрузки двигателя оптимальную степень рециркуляции необходимо изменять. С увеличением нагрузки возрастает максимальная температура цикла и обедняется горючая смесь, поэтому R_c следует увеличивать. При полном открытии дроссельной заслонки рециркуляция ОГ не позволит получить максимальную мощность, поэтому целесообразно на этих режимах обеспечить $R_c=0$.

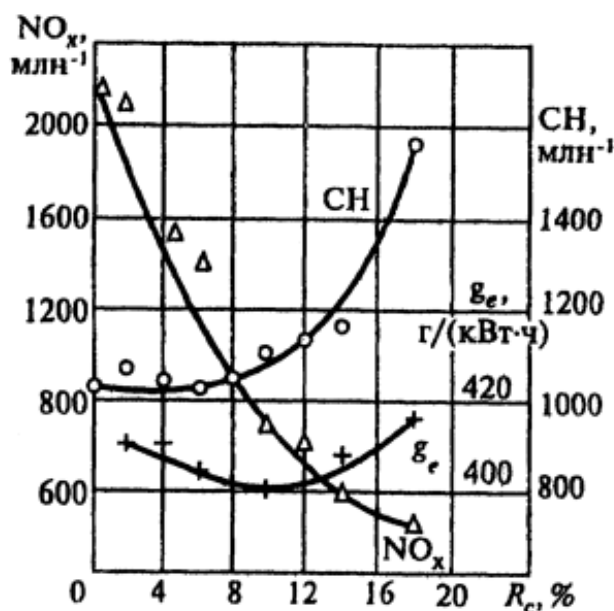


Рисунок 4.7 – Влияние степени рециркуляции R_c на выброс NO_x и CH

Изменение R_c в зависимости от нагрузки осуществляется специальным клапаном рециркуляции с пневмоприводом.

Подачу ОГ во впускной трубопровод организуют таким образом, чтобы обеспечить равномерное их распределение по всем цилиндрам двигателя. В более совершенных системах рециркуляции используется электропривод клапана, что позволяет реализовать более выгодный закон изменения R_c в зависимости от режима работы двигателя.

Большое значение придается работе системы на переходных режимах. Время открытия и закрытия клапана не превышает 20-100 мс, что способствует значительному снижению выбросов NO_x при испытаниях по ездовым циклам.

4.3.3 Нейтрализация отработавших газов

Устройства, предназначенные для обработки ОГ в выпускной системе двигателя, называются нейтрализаторами.

Окислительные каталитические нейтрализаторы. Эти нейтрализаторы служат для окисления СО и СН, они эффективно работают при температуре 300-800°С. При более высокой температуре и особенно при использовании этилированного бензина наступает быстрая дезактивация нейтрализатора. В качестве катализаторов используют платину и палладий. Окислительные нейтрализаторы при $\alpha < 1$ требуют применения специальных воздушных насосов, а также оставляют нерешенной проблему выбросов NO_x .

Трехкомпонентные каталитические нейтрализаторы. Для нейтрализации NO используются реакции его восстановления до азота N_2 и аммиака NH_3 . В качестве восстановителей используются находящиеся в ОГ СО, СН и H_2 . При работе двигателя на стехиометрической смеси основным продуктом восстановления NO является N_2 , а на богатых смесях больше образуется NH_3 .

Для снижения стоимости нейтрализатора применяют триметаллический катализатор: платина, палладий, родий в соотношении 1:16:1 или 1:28:1. На один нейтрализатор расходуется от 1,5 до 3 г платины. Применение этилированного бензина при использовании системы с трехкомпонентным нейтрализатором недопустимо.

При восстановлении NO одновременно происходит окисление СО и СН. Такой нейтрализатор называется трехкомпонентным, или бифункциональным, т. е. восстановительным и окислительным.

Степень каталитического превращения различных газов в нейтрализаторе оценивают коэффициентом преобразования

$$K_i = \frac{C_{i\text{ВХ}} - C_{i\text{ВЫХ}}}{C_{i\text{ВХ}}} 100, \quad (4.4)$$

где K_i – коэффициент преобразования 1-го компонента; $C_{i\text{ВХ}}$, $C_{i\text{ВЫХ}}$ – концентрация этого компонента на входе и на выходе из нейтрализатора соответственно.

Наибольшая величина K_i , (рис. 4.8) одновременно по трем нормируемым компонентам ($K_i \approx 0,9$) достигается при работе двигателя на слегка обогащенной смеси ($\alpha = 0,98-0,99$), так как в этом случае количество кислорода, освобождающегося при восстановлении NO, оказывается достаточным для окисления H_2 , СО и СН. Вблизи стехиометрической смеси коэффициенты преобразования изменяются очень

резко, поэтому для эффективной работы нейтрализатора требуется обеспечить поддержание состава смеси ($\alpha \approx 1$) с высокой точностью, что удается достичь только путем использования систем впрыскивания топлива с электронным управлением с отрицательной обратной связью (рис. 4.9).

Длительность впрыскивания задается электронным блоком управления I в зависимости от сигналов измерителей расхода воздуха и частоты вращения, а также от сигнала кислородного датчика (λ -зонд). На режимах пуска и прогрева длительность впрыскивания корректируется в зависимости от температурного состояния двигателя и температуры воздуха.

При переходе состава смеси через стехиометрическое значение в область обедненных смесей напряжение на выходе кислородного датчика резко снижается от 700-1000 до 50-100 мВ (рис. 4.10). Характеристика λ -зонда позволяет определить стехиометрический состав смеси с погрешностью не более $\pm 0,5\%$.

Наиболее эффективная работа λ -зонда происходит при $t=850-900^\circ\text{C}$. При температуре свыше 900°C даже кратковременная работа может вызвать начало разрушения защитного слоя электродов. Обычно λ -зонд устанавливают или на выходе из выпускного коллектора, или в начале приемной трубы.

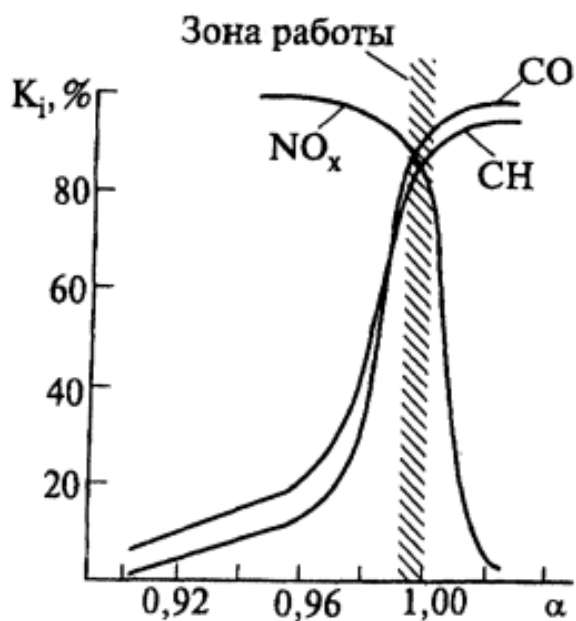


Рисунок 4.8 – Зона эффективной работы трехкомпонентного нейтрализатора

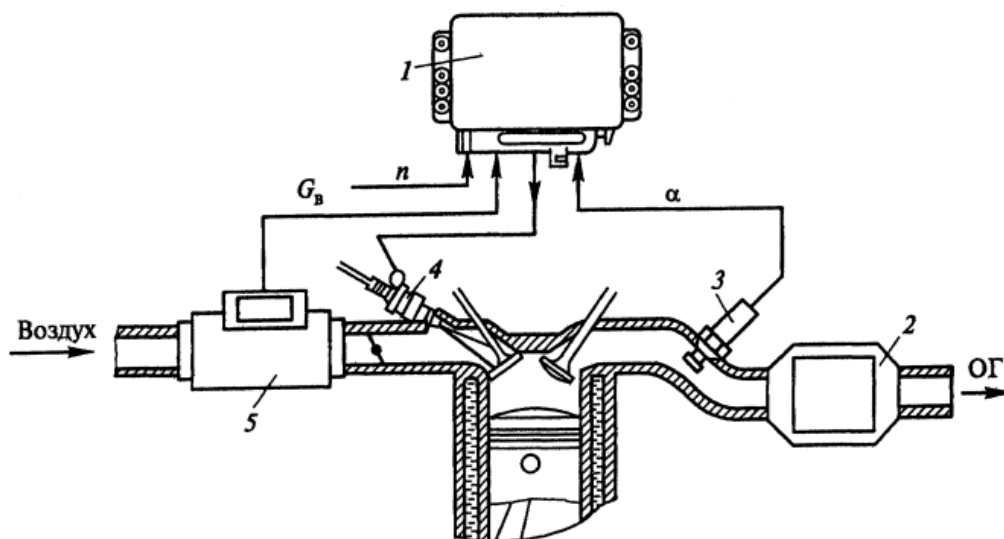


Рисунок 4.9 – Схема управления топливоподачей по сигналу λ -зонда:
 1 – электронный блок управления; 2 – трехкомпонентный нейтрализатор;
 3 – λ -зонд; 4 – электромагнитная форсунка; 5 – измеритель расхода воздуха

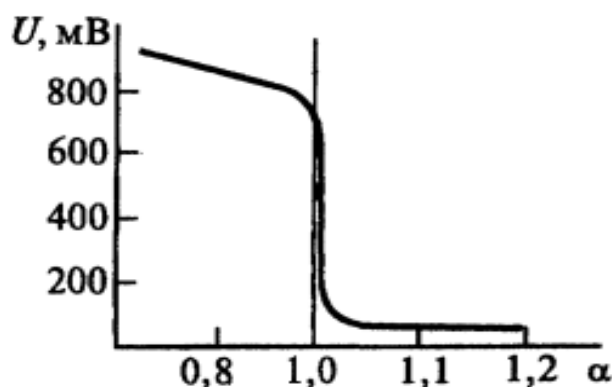


Рисунок 4.10 – Характеристика циркониевого λ -зонда при 600°C

4.3.4 Снижение выброса СН при пуске и прогреве двигателя

При пуске холодного двигателя каталитический нейтрализатор не функционирует, так как температура в нем недостаточно высока, кроме того, двигатель в это время работает на обогащенных смесях и в ОГ нет кислорода, необходимого для окисления СН в нейтрализаторе. Токсичность ОГ на режимах пуска и прогрева регламентирует ГОСТ Р 41.89-99 (тип V), испытания проводятся при минус 7 °С [7].

Поэтому все большее значение приобретает использование различных методов ускоренного прогрева нейтрализатора, а также подачи воздуха в поток ОГ до нейтрализатора с помощью специального насоса с электрическим приводом.

Ускоренный прогрев нейтрализатора достигается путем его установки ближе к двигателю, термоизоляции системы выпуска между выпускным клапаном и нейтрализатором, электрическим подогревом нейтрализатора, подогревом нейтрализатора путем сжигания перед ним топлива в специальной горелке (рис. 4.11), уменьшением опережения зажигания или подачей и сжиганием некоторого количества топлива на такте расширения с целью увеличения температуры ОГ.

Так как λ -зонд начинает работать примерно при $t=300^{\circ}\text{C}$, то все чаще применяют его электрический подогрев. В некоторых случаях используется стартовый нейтрализатор (рис. 4.12), который имеет меньшие размеры, чем основной, и устанавливается перед ним или параллельно. В последнем случае весь поток ОГ направляется в стартовый нейтрализатор, который быстро прогревается, а затем поток ОГ специальной заслонкой направляется в основной нейтрализатор. Роль пусковых режимов в тестах Евро IV и Евро V резко возрастает, поэтому борьба с выбросами СН и СО на этих режимах становится очень актуальной (интенсификация движения заряда и обеднение смеси, увеличение энергии искры, адсорбция СН).

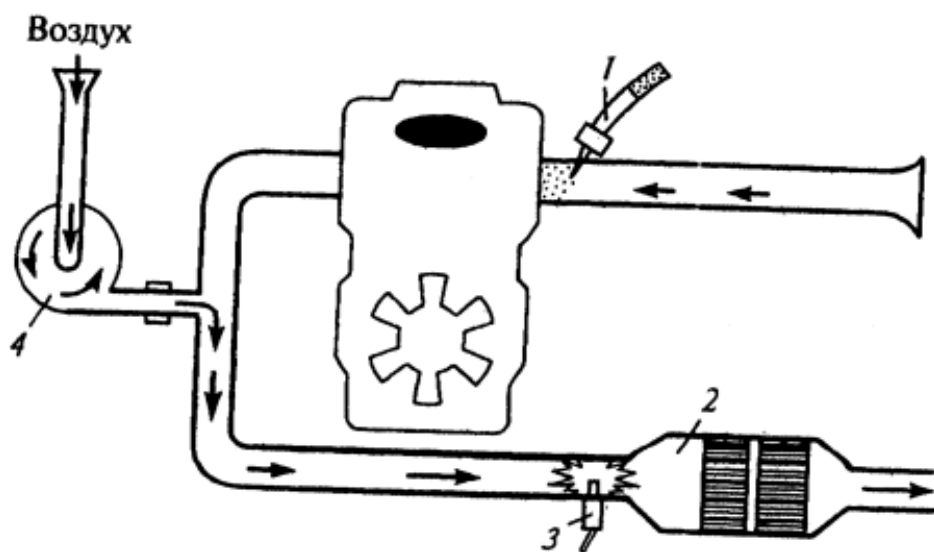


Рисунок 4.11 – Система с пламенным подогревом нейтрализатора:
1 – форсунка; 2 – нейтрализатор; 3 – свеча для поджигания;
4 – воздушный насос

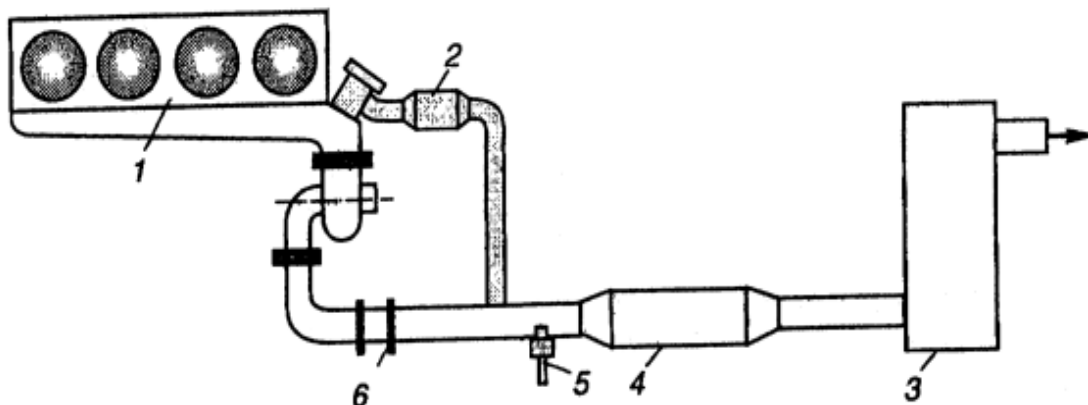


Рисунок 4.12 – Система со стартовым нейтрализатором:

1 – двигатель; 2 – стартовый нейтрализатор; 3 – глушитель;
4 – основной нейтрализатор; 5 – λ -зонд; 6 – заслонка

4.3.5 Новые топлива

Определенные перспективы связаны с улучшением свойств бензина, оказывающих влияние на токсичность ОГ. Это относится к уменьшению содержания в бензине свинца, серы и ароматических углеводородов (для снижения выброса канцерогенных веществ). Сравнительные испытания автомобилей при использовании двух бензинов – стандартного и модифицированного (1/3 ароматики заменена эфиром) – показали, что при использовании последнего снизились выбросы: СН на 10%, СО на 20% и NO_x на 33%, во много раз уменьшились выбросы свинца, серы и канцерогенных веществ.

Опыты НАМИ показали, что добавка к бензину 15% метанола (CH_3OH) снижает выброс вредных веществ на 25-30%, а при работе на одном метаноле это снижение доходит до 50% [7].

Существенная трудность при использовании метанола заключается в его ядовитости и большой коррозионной агрессивности относительно металлов, резины и пластмасс.

Полное исключение из состава ОГ СО, CO_2 и СН может быть получено при использовании в качестве моторного топлива водорода. При этом хотя на слегка обедненных смесях из-за высоких температур сгорания H_2 образуется большее количество NO_x ($\text{NO}_{x\text{max}} = 5000\text{-}5500 \text{ млн}^{-1}$), чем при работе на бензине, испы-

тания по тесту ЕСЕ показывают уменьшение выбросов NO_x по сравнению с работой на бензине (из-за использования значительно более бедных водородовоздушных смесей).

В настоящее время стоимость водорода велика, кроме того, перевод двигателя на питание водородом сопровождается понижением максимальной мощности, появлением так называемых обратных вспышек (воспламенение и сгорание смеси во впускной системе), появлением «водородной хрупкости» в поверхностных слоях металлов при их насыщении водородом. Большие трудности встречаются при организации хранения газообразного водорода на борту автомобиля (из-за очень малой объемной теплоты сгорания газообразного водорода) или жидкого водорода в криогенных баках, а также при производстве, транспортировке и хранении. Реальное использование водорода для автомобильных двигателей начнется скорее всего путем добавки его к бензину.

4.3.6 Использование бедных смесей и расслоенных зарядов

Теоретически при расслоении заряда в двигателях с искровым зажиганием можно осуществить качественное регулирование нагрузки (изменение нагрузки только за счет изменения состава смеси). Отказ от дросселирования двигателя позволит значительно уменьшить насосные потери (потери на газообмен), которые на холостом ходу примерно в 5 раз больше, чем при полной нагрузке. Кроме того, при дросселировании из-за значительного ослабления турбулентности и увеличения концентрации в заряде остаточных газов уменьшаются скорость и полнота сгорания.

Анализ показывает, что эффективный КПД двигателя с качественным регулированием по мере уменьшения нагрузки до 20% может увеличиться почти в два раза. Основной выигрыш при этом получается из-за роста термического КПД вследствие обеднения смеси, а также из-за меньших насосных потерь.

Главная трудность при расслоении заряда связана с процессом смесеобразования, так как в идеале требуется разделить заряд на две зоны: горючую зону, состоящую из рабочей смеси с $\alpha = 1,0$, и негорючую зону, состоящую из воздуха и остаточных газов.

В пределе на границе между этими зонами состав смеси должен изменяться скачкообразно от $\alpha = 1,0$ до $\alpha = \infty$.

На самом деле всегда будет возникать некоторая переходная зона. Количество топлива, которое окажется в этой зоне, и будет определять эффективность использования расслоенного заряда. В слоях этой зоны с $\alpha > 1,7-1,8$ сгорания смеси не будет, что приведет к повышенным выбросам СН. С другой стороны, в горючей зоне не должно образовываться слоев с $\alpha < 1,0$, иначе в ОГ появится СО, экономичность двигателя ухудшится.

Изменение нагрузки в двигателе с расслоением заряда должно заключаться в изменении размеров зон горючей и негорючей смеси.

Управление интенсивностью движения заряда в цилиндре в сочетании с повышением степени сжатия и мощности электрической искры дает возможность эффективно сжигать смеси, обедненные до $\alpha=1,5-1,7$. Выброс NO_x при работе с большим обеднением смеси становится несущественным, а борьба с выбросами СН и СО ведется при помощи окислительного нейтрализатора. При значительном обеднении появляются проблемы как с поджиганием смеси искрой, так и с нестабильностью сгорания.

Использование расслоенных зарядов, формируемых при впрыскивании бензина в цилиндр, требует эффективной нейтрализации NO_x в ОГ, содержащих кислород. С этой целью разработан адсорбционно-каталитический нейтрализатор типа DENOX. Механизм действия этого нейтрализатора иллюстрирует рисунок 4.13.

Носитель из оксида алюминия Al_2O_3 покрыт катализатором из платины Pt и специальным веществом R (оксид металла), выполняющим функцию адсорбера. При работе на бедных смесях платиновый катализатор способствует окислению NO в NO_2 , который на материале R адсорбируется в виде нитратов и нитритов:



где Me – металл.

Когда двигатель будет работать при $\alpha \leq 1,0$, нитраты с участием СН, СО и H_2 восстанавливаются на платиновом катализаторе (регенерация)



Улучшению условий работы адсорбционно-каталитического нейтрализатора при нарушении требуемого баланса между временем работы двигателя при $\alpha > 1$ и при $\alpha \leq 1$ способствует автоматический перевод двигателя на кратковременную работу при $\alpha = 1$.

Существенным недостатком нейтрализатора DENOX является необходимость снижения в неэтилированном бензине содержания серы до 30 ppm и менее. В противном случае из-за сульфатации не может быть обеспечена достаточная эффективность нейтрализатора. Кроме того, желательно управлять температурой в этом нейтрализаторе, так как адсорбция наиболее интенсивно идет при температуре 250-350°C, регенерация – 400-550°C, а разложение сульфатов – выше 650 °C.

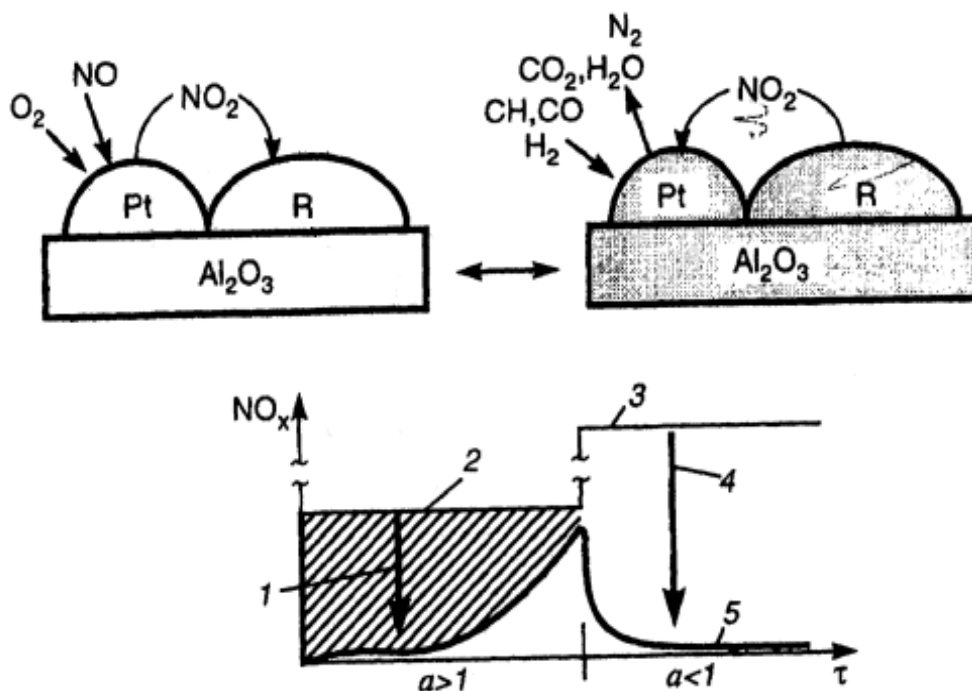


Рисунок 4.13 – Механизм снижения концентрации NO_x в адсорбционно-каталитическом нейтрализаторе: 1, 4 – снижение NO_x ; 2,3 – концентрация NO_x на выходе цилиндра; 5 – концентрация NO_x после нейтрализатора

4.4 Нормирование токсичности и дымности отработавших газов дизелей

Особенности смесеобразования и сгорания в дизеле приводят к сравнительно большому выбросу сажи. Это обусловило необходи-

мость нормирования дымности ОГ дизелей. Поэтому комплекс стандартов на токсичность и дымность ОГ дизелей (рис. 4.14) отличается от аналогичного комплекса для двигателей с искровым зажиганием.

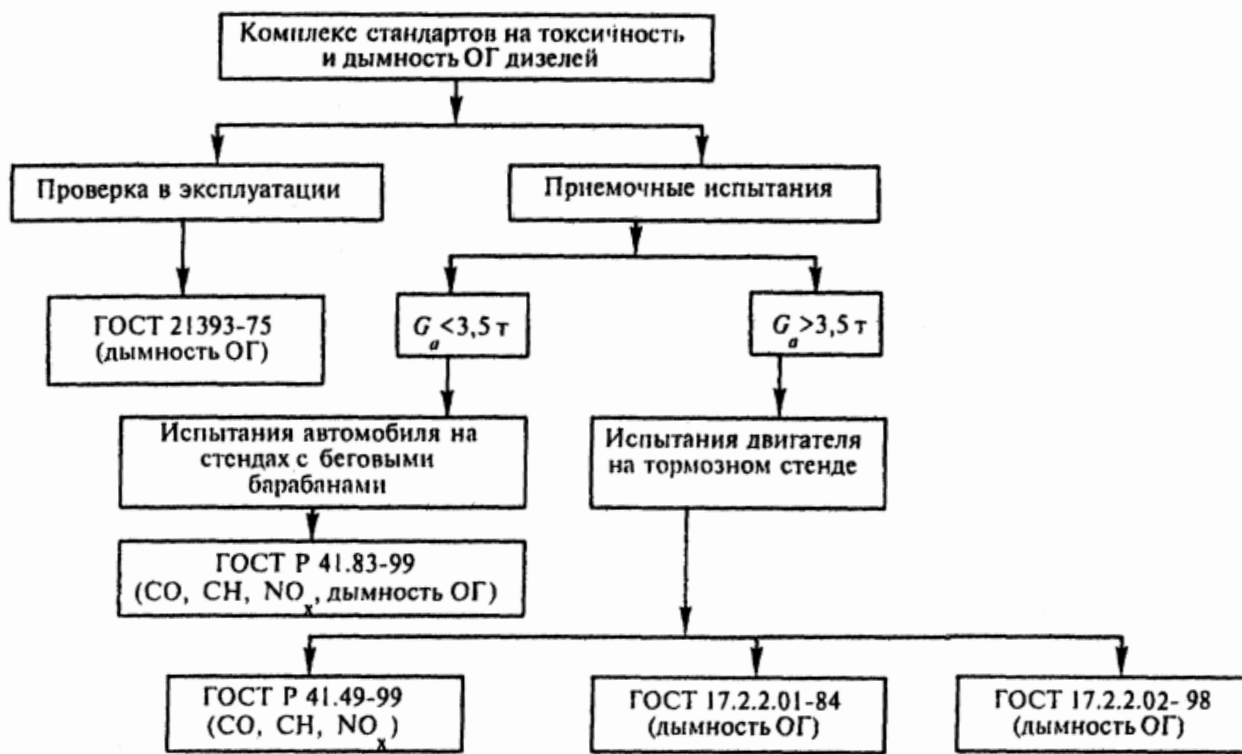


Рисунок 4.14 – Комплекс стандартов на токсичность и дымность ОГ дизелей

4.4.1 Контроль дымности отработавших газов при эксплуатации дизелей

Этот контроль осуществляется в соответствии с ГОСТ с изменениями № 2, которые распространяются на грузовые автомобили и автобусы с дизелями. Нормы и методы определения дымности ОГ дизелей тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин устанавливает ГОСТ 17.2.2.02-98.

Дымомер работает по методу просвечивания столба ОГ определенной длины. Нормируемым показателем дымности является натуральный показатель ослабления светового потока K , m^{-1} , или коэффициент ослабления светового потока N , %. Показатель K – величина, обратная толщине слоя ОГ, проходя через который поток излучения от источника света ослабляется в «е» раз ($e = 2,718$ – основание нату-

ральных логарифмов). Этот показатель отсчитывается по основной шкале дымомера.

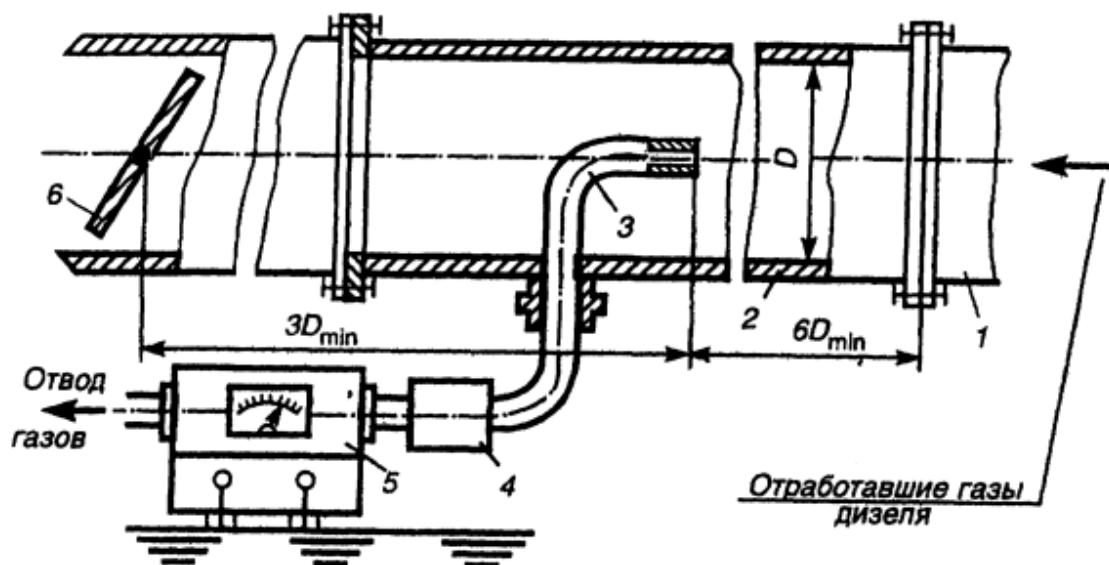


Рис. 4.15 – Схема измерения дымности отработавших газов:

- 1 – выхлопной трубопровод дизеля; 2 – выхлопная труба стенда;
 3 – газоотборник дымомера; 4 – ресивер; 5 – измерительный прибор (дымомер); 6 – заслонка

Коэффициент N представляет собой степень ослабления светового потока вследствие поглощения и рассеивания света отработавшими газами при прохождении ими рабочей трубы дымомера; N отсчитывается по вспомогательной шкале дымомера с эффективной базой 0,43 м.

Эти показатели определяются на холостом ходу: на режиме свободного ускорения, а также при максимальной частоте вращения. Схема измерения дымности ОГ показана на рисунке 4.15.

Измерение на режиме свободного ускорения производится не менее, чем при шестикратном повторении цикла изменения частоты вращения вала дизеля от минимальной до максимальной, который осуществляется путем быстрого, но плавного нажатия на педаль подачи топлива (до упора) с интервалом не более 15 с. При каждом последующем измерении фиксируют максимальную дымность до получения устойчивых значений, когда четыре последовательных значения показателя располагаются в зоне шириной $0,25 \text{ м}^{-1}$ по шкале K , но не образуют убывающую последовательность. За результат измере-

ния принимают среднее арифметическое значение результатов этих четырех измерений.

Затем не позднее чем через 60 с после испытаний на режиме свободного ускорения необходимо произвести измерение дымности ОГ на режиме максимальной частоты вращения при полном нажатии на педаль подачи топлива. Дымность измеряют не ранее, чем через 10 с после впуска ОГ в прибор. Измерение считают достоверным, если значения дымности расположены в зоне шириной не более 6% по шкале N. За результат измерения следует принимать среднее арифметическое значение крайних показаний дымности.

Предельно допустимые показатели дымности при испытаниях автомобилей с дизелями по ГОСТ 21393-75 с изменениями №2 указаны в таблице 4.3.

При контрольных проверках дымности ОГ при эксплуатации (на дороге) нормы $K_{\text{доп}}$, указанные в таблице 4.3, для режима свободного ускорения могут быть превышены, но не более чем на $0,5 \text{ м}^{-1}$.

Таблица 4.3 – Предельно-допустимые показатели дымности при эксплуатации автомобильных дизелей

Режим измерения дымности	Предельно допустимое значение показателя $K_{\text{доп}}, \text{ м}^{-1}$	Предельно допустимое значение показателя $N_{\text{доп}}, \%*$
Свободное ускорение:		
• дизели без наддува	1,2	40
• дизели с наддувом	1,6	50
Максимальная частота вращения холостого хода	0,4	15

* Нормы даны для эффективной базы дымомера $L=0,43 \text{ м}$.

4.4.2 Контроль токсичности отработавших газов дизеля на тормозном стенде

Контроль на стенде с беговыми барабанами. Контроль токсичности ОГ дизелей, установленных на автомобилях с полной массой от 400 до 3500 кг, осуществляется на режимах ездового цикла на стенде

с беговыми барабанами по ГОСТ Р 41.83-99, который распространяется и на ДсИЗ (рис. 4.1). Дымность тракторных дизелей определяют по ГОСТ 17.2.2.02-98.

Стендовые испытания дизелей по 13-режимному циклу. В соответствии с ГОСТ Р 41.49-99 испытания проводятся с дизелями и газовыми двигателями автотранспортных средств, общая масса которых более 3,5 т, а тракторных дизелей – в соответствии с ГОСТ 17.2.2.02-98.

Испытания двигателя проводятся на стенде с динамометром.

Определение выбросов CO, CH, NO_x и твердых частиц с отработавшими газами дизеля производится последовательно на 13 установленных режимах (рис. 4.3)

Расчет удельного выброса токсичных веществ в г/(кВт*ч) производится по формулам, приведенным в стандарте.

В Японии и США приняты другие тесты для оценки токсичности ОГ дизелей.

Нормы предельно допустимых выбросов вредных веществ для тракторов, грузовых автомобилей и автобусов с дизелями, установленные соответственно ГОСТ 17.2.2.02-98 и Правилами № 49.02 и ГОСТ Р 41.49-99, указаны в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Нормы предельно-допустимых выбросов вредных веществ автотракторных дизелей

Вредные вещества, г/(кВт ч)	Евро II 1996 г.	Евро III 2000 г.	Евро IV 2005 г.	Евро V 2008 г.	Евро VI 2013 г.
CO	4,0	2,1	1,5	1,5	1,0
CH	1,1	0,66	0,55	0,36	0,30
NO _x	7,0	5,0	3,5	2,0	1,5
Частицы	0,15*	0,10	0,02	0,01	0,01

* для двигателей мощностью менее 85 кВт норма повышается до 0,25 г/(кВт*ч).

Дымность отработавших газов автомобильных (ГОСТ 17.2.2.02-84), тракторных и комбайновых (ГОСТ 17.2.2.02-98) дизелей определяется после приемочных испытаний на установленных режимах и режиме свободного ускорения.

Установившиеся режимы соответствуют полной подаче топлива на следующих скоростных режимах дизеля:

- а) номинальная частота вращения коленчатого вала, n_H ;
- б) частота вращения коленчатого вала, соответствующая режиму максимального крутящего момента, n_M ;
- в) четыре частоты вращения коленчатого вала через равные интервалы в диапазоне, $(n_H - n_M)$.

Перед началом измерения дымности дизель должен проработать на заданном режиме не менее 10 мин, при этом, в течение последних 5 мин измеряемые крутящий момент и частота вращения коленчатого вала не должны отличаться от заданных более чем на 1,0% и 10 мин^{-1} соответственно. Дымность на каждом режиме измеряют не менее трех раз с интервалом не более 1 мин.

Дымность на режиме свободного ускорения измеряют при отсоединении двигателя от стенда или выключении муфты сцепления. При работе дизеля на минимальной частоте вращения холостого хода $n_{xx \text{ min}}$ плавно (в течение 0,5 с) переводят рычаг управления регулятором в положение, соответствующее максимальной подаче топлива. Такое положение рычага управления сохраняют до достижения двигателем максимальной частоты вращения холостого хода $n_{xx \text{ max}}$ (10-15 с). При этом по шкале измерительного прибора фиксируют максимальное значение дымности. После этого рычаг управления регулятором перемещают в исходное положение, соответствующее $n_{xx \text{ min}}$. При этом в исходное положение должны возвратиться частота вращения коленчатого вала и индикатор дымометра. По шкале дымометра фиксируют максимальное значение дымности, испытание повторяют не менее восьми раз, пока разность между максимальными и минимальными значениями дымности четырех последних измерений не станет равной или менее $0,25 \text{ м}^{-1}$.

4.5 Снижение токсичности и дымности отработавших газов дизелей

4.5.1 Совершенствование процессов смесеобразования и сгорания

Совершенствование процессов смесеобразования и сгорания заключается в поиске компромисса между выбросами NO_x , частиц и топливной экономичностью.

Повышение скорости сгорания вызывает рост выброса NO_x , хотя топливная экономичность при этом улучшается.

Совершенствование процесса смесеобразования и сгорания существенно осложняется тем, что мероприятия, ведущие к уменьшению выброса NO_x , как правило, вызывают рост выброса частиц (рис. 4.16).

Распыливание топлива на более мелкие капли улучшает полноту сгорания и снижает тем самым выброс частиц, но возрастающие температуры цикла обуславливают увеличение образования NO_x .

Токсичность и дымность ОГ дизелей с неразделенной камерой сгорания сильно зависят от интенсивности вихревого движения заряда и от согласования ее с параметрами факела и мелкостью распыливания топлива.

В дизелях с пристеночным смесеобразованием, особенно на режимах пуска и прогрева, имеет место повышенный выброс CO , CH и альдегидов.

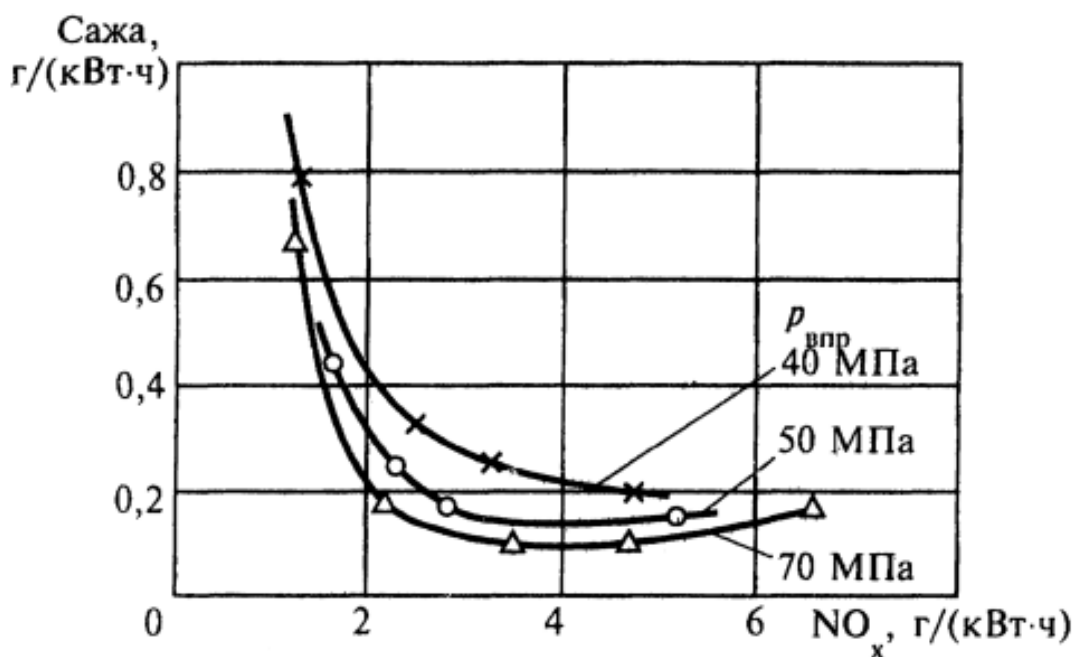


Рисунок 4.16 – Взаимосвязь между выбросами сажи и NO_x ($n=1500 \text{ мин}^{-1}$ $P_e = 0,3 \text{ МПа}$)

В предкамере или вихревой камере процесс сгорания происходит при пониженных температурах и α . Догорание заряда в основной камере также идет при относительно невысоких температурах. По этим причинам в дизелях с разделенными камерами сгорания образуется меньше NO_x , чем в дизелях с камерой сгорания в поршне. Кроме

того, дизели с разделенными камерами выбрасывают с ОГ меньше продуктов неполного сгорания при относительно небольшой дымности выпуска, что объясняется лучшим догоранием СО, СН и сажи в надпоршневом объеме.

Дизели грузовых автомобилей и тракторов имеют, как правило, неразделенную камеру сгорания. Тенденция развития дизелей для легковых автомобилей выражается в переходе от разделенных камер к неразделенным, что позволяет улучшить их топливную экономичность примерно на 15%.

В новых моделях дизелей появляется возможность управлять интенсивностью движения заряда и путем увеличения давления впрыскивания добиваться одновременно снижения выброса частиц и NO_x особенно на средних нагрузках.

При наддуве обычно увеличивают α по внешней скоростной характеристике, что способствует снижению токсичности ОГ и выброса частиц. Это снижение увеличивается при использовании промежуточного охлаждения воздуха, так как при охлаждении возрастает концентрация кислорода в заряде. Например, дизели с турбонаддувом и промежуточным охлаждением воздуха позволяют по сравнению с безнаддувными дизелями снизить выброс NO_x и частиц примерно на 30%. Установка турбокомпрессора в системе выпуска увеличивает время прогрева нейтрализатора.

Увеличение давления впрыскивания топлива $P_{\text{впр}}$ на частичных нагрузках, когда отношение задержки самовоспламенения к длительности впрыскивания велико, влияет на образование NO_x сильнее, чем на полной нагрузке.

Чтобы избежать повышенного выброса NO_x и снизить шум, подачу топлива в начале впрыскивания (примерно в течение периода задержки воспламенения) желательно уменьшить. Радикальным в этом смысле решением может быть впрыскивание сначала небольшой дозы топлива, а затем – основной. С другой стороны, увеличение длительности впрыскивания и растянутый конец подачи вызывают повышенное сажеобразование и, как следствие этого, увеличение выброса частиц.

При подвпрыскивании в цилиндр дополнительно подается небольшое количество топлива, которое плохо распыливается и сгорает на линии расширения с образованием СО, СН и сажи.

Угол опережения впрыскивания $\varphi_{o.вп}$ обуславливает изменение длительности периода задержки воспламенения θ_1 и доли топлива, впрыснутого за этот период, что сказывается на продолжительности диффузионного сгорания. Например, если θ_1 сокращается, то доля топлива, впрыснутого до начала быстрого сгорания ΔV_i , становится меньше, а дымность ОГ (K) соответственно возрастает (рис. 4.17).

При уменьшении $\varphi_{o.вп}$ в результате снижения температуры сгорания образование NO_x значительно замедляется, но при этом топливная экономичность несколько ухудшается. Несмотря на это, современные дизели на ряде режимов работают с началом впрыскивания в ВМТ или даже 1-3 град после ВМТ.

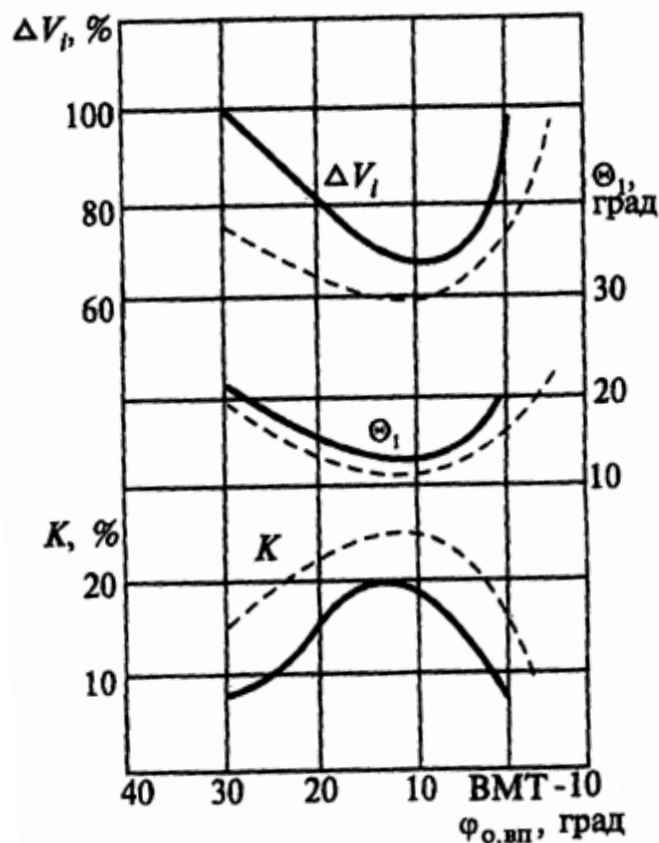


Рисунок 4.17 – Влияние $\varphi_{o.вп}$ на дымность отработавших газов дизеля с неразделенной камерой сгорания: – без наддува; ---- с наддувом

4.5.2 Рециркуляция отработавших газов

При увеличении степени рециркуляции возрастает длительность задержки воспламенения, уменьшается скорость тепловыделения и

значительно снижается выброс NO_x (рис. 4.18). Эти эффекты усиливаются при охлаждении рециркулирующих газов. На полных нагрузках рециркуляция вызывает значительный рост выброса сажи, поэтому она особенно целесообразна на средних и малых нагрузках.

При испытаниях по 13-режимному тесту до 8-10% выброса NO_x приходится на режим холостого хода. По этой причине, а также с целью снижения шума рециркуляция на холостом ходу достигает значительной величины (до 50%).

Охлаждение рециркулирующих газов уменьшает выбросы NO_x и частиц.

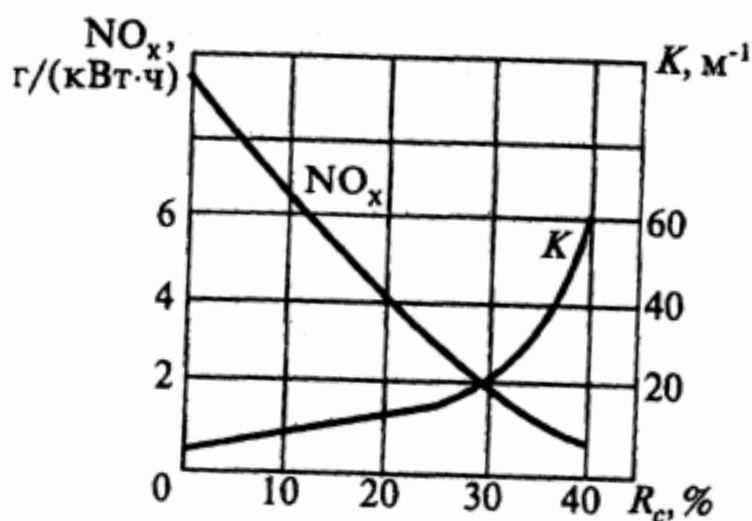


Рисунок 4.18 – Выбросы NO_x и показатель ослабления светового потока в зависимости от степени рециркуляции R_c ($n = 2000 \text{ мин}^{-1}$; $p_e = 0,2 \text{ МПа}$)

Создание надежного и эффективного теплообменника для охлаждения рециркулирующих газов представляет собой сложную задачу из-за отложений и загрязнений, выделяющихся из ОГ дизеля.

4.5.3 Нейтрализация отработавших газов

Каталитические окислительные нейтрализаторы достаточно широко используются для быстроходных дизелей легковых автомобилей и небольших грузовиков. Этому способствует высокая температура ОГ этих дизелей, достаточная для окисления CH , CO , растворимых органических составляющих частиц и альдегидов, с другой

стороны, она недостаточна для образования большого количества сульфатов. При высоких температурах в нейтрализаторе сначала выходящий из цилиндров SO_2 окисляется до SO_3 , а затем SO_3 реагирует с парами воды, органическими и неорганическими частицами, образуя сульфаты, которые существенно увеличивают количество частиц. По этой причине использование каталитических окислительных нейтрализаторов для дизелей грузовых автомобилей и тракторов затруднительно.

После обработки ОГ дизелей в каталитическом окислительном нейтрализаторе при температуре выше 300°C концентрация CO уменьшается на 85-90%, а CH – на 75-80%.

При температуре менее 300°C эффективность этого нейтрализатора невысока. Поэтому для нейтрализации ОГ на режимах пуска и прогрева кроме основного используется также стартовый нейтрализатор, который понижает выбросы не только CO , CH и растворимых углеводородов в частицах, но и NO_x .

Нейтрализация NO_x на основных режимах работы дизеля потребовала разработки специальных нейтрализаторов, названных селективными (или DENOX). Они работают с подачей в систему выпуска (до нейтрализатора) аммиака NH_3 , мочевины $(\text{NH}_2)_2$, CO и углеводородного топлива для химического связывания свободного O_2 , содержащегося в ОГ.

При использовании NH_3 восстановление NO идет по реакции



В селективном нейтрализаторе при $t=300-420^\circ\text{C}$ снижение NO_x может достигать 90%.

В случае использования аммиака или мочевины на борту машины необходимо иметь специальные емкости и систему дозирования, обеспечивающую подачу в соответствии с режимом работы дизеля. При передозировке, а также для снижения выброса растворимой органической части частиц, CO , CH и альдегидов вместе с селективным должен работать и каталитический окислительный нейтрализатор.

Если же для восстановления NO_x использовать углеводороды, то лучшие результаты получаются при подаче дизельного топлива в цилиндр после окончания сгорания, когда температура еще достаточно

высока. Это обеспечивает частичное использование теплоты дополнительной дозы дизельного топлива. В целом же, несмотря на соответствующий расход аммиака, мочевины или углеводородного топлива, ожидается сохранение общей экономичности дизеля из-за того, что сгорание в нем не нужно будет ухудшать рециркуляцией или поздними углами впрыскивания для уменьшения образования NO_x . Степень восстановления NO_x в нейтрализаторе DENOX должна быть не ниже 30-45%. В качестве катализатора для DENOX применяют медь и цеолит (эффективен при $t > 350$ °C) или платину и цеолит (эффективен при $t > 200$ °C). Поэтому условия применения нейтрализатора DENOX более благоприятны для дизелей грузовых автомобилей и тракторов.

4.5.4 Топлива, присадки и фильтры для частиц

Увеличение цетанового числа топлива уменьшает выброс NO_x дизелями грузовых автомобилей и тракторов, но увеличивает выброс частиц высокооборотными дизелями легковых автомобилей.

Одновременно с этим для всех дизелей наблюдается снижение выброса CH и CO . Чем больше в дизельном топливе легких фракций, тем более однородным будет состав смеси в камере сгорания, что приведет к снижению дымности ОГ и содержания в них NO_x .

Сложную проблему создает присутствие в дизельном топливе серы. При работе дизеля с каталитическим окислительным нейтрализатором в последнем при повышенных температурах идет интенсивный процесс образования сульфатов, что резко увеличивает выброс в атмосферу частиц.

Уменьшение содержания в дизельном топливе ароматических углеводородов может заметно снизить выброс канцерогенных веществ.

Добавка к дизельному топливу присадок, например, в количестве до 1% на основе бария или марганца, позволяет в несколько раз понизить дымность ОГ и содержание в них альдегидов и бенз- α -пирена. Использование спиртов в качестве добавок к дизельному топливу сопровождается значительным снижением выброса частиц при одновременном уменьшении выбросов NO_x и CO . Однако выбросы CH при этом сильно возрастают.

Уменьшение выброса NO_x может быть достигнуто подачей воды во впускной трубопровод или цилиндр дизеля. В последнем случае вода может впрыскиваться одновременно с топливом или в виде водотопливной эмульсии.

При добавке воды в количестве 30% (масс.) к дизельному топливу концентрация NO_x снижается примерно на 30%. Одновременно снижаются дымность ОГ и выбросы СО. Снижение выбросов NO_x линейно зависит от величины добавки воды и увеличивается с ростом нагрузки, угла опережения впрыскивания или частоты вращения коленчатого вала. Однако добавка воды для подавления образования NO_x наталкивается на ряд практических трудностей, связанных с возможностью ее замерзания, расслоением эмульсии (особенно при низких температурах), появлением коррозии и увеличением износа некоторых деталей.

Использование вместо дизельного топлива диметилэфира (ДМЕ) обеспечивает снижение шума, выбросов частиц, NO_x и СН. Важным преимуществом ДМЕ является его бездымное сгорание.

В качестве другого альтернативного топлива для дизелей может использоваться растительное масло из рапса. В чистом виде использовать рапсовое масло нельзя, так как его сгорание вызывает закоксовывание форсунок, образование отложений в топливной системе и смол в смазочной системе. Поэтому целесообразно использовать смесь дизельного топлива (25-40%) и очищенного от жирных кислот путем нейтрализации рапсового масла (60-75%) с ее подогревом до 60-70°C.

После соответствующей переработки рапсового масла может быть получено топливо, близкое по своим характеристикам к ДМЕ. Из-за присутствия в нем метилэфира оно получило обозначение МЭРМ (метиловый эфир рапсового масла).

Основные экологические преимущества смесового топлива и МЭРМ в качестве топлива для дизелей: уменьшение выбросов СН и частиц, а также полициклических ароматических углеводородов.

При производстве МЭРМ расходуется такое же количество CO_2 , которое выделяется при его сжигании в дизеле. Таким образом, относительно CO_2 имеет место замкнутый круговорот.

Перспективы применения МЭРМ и смесового топлива меньше, чем ДМЕ, так как для выращивания рапса могут быть выделены ограниченные площади земли.

Перевод дизелей на газовое топливо позволяет снизить токсичность и дымность ОГ при одновременном уменьшении затрат на топливо.

Для дизелей легковых автомобилей применяется как сжиженный, так и сжатый природный газ.

Дизели грузовых автомобилей переводятся на питание, как правило, сжатым газом, так как использование для них сжиженного газа заметно увеличивает затраты на топливо (относительно сжатого газа). Сжиженный газ находит применение в некоторых городских автобусах и тракторах.

Дизели конвертируют или в газодизели, или в газовые двигатели с искровым зажиганием.

Конвертирование в газодизель технически проще, и, кроме того, сохраняется возможность при необходимости работать по дизельному процессу, т.е. только на дизельном топливе. Для газодизеля возможно качественное регулирование нагрузки. Однако целесообразнее вести смешанное регулирование, которое позволяет избежать большого обеднения смеси и связанного с ним значительного выброса СН при соответствующем ухудшении экономичности.

При конвертировании дизеля в газовый двигатель с искровым зажиганием можно использовать количественное регулирование нагрузки, трехкомпонентный каталитический нейтрализатор и стехиометрическую смесь. Технически реализация этого способа оказывается достаточно сложной, хотя она обеспечивает наилучшие показатели по токсичности ОГ.

Второй вариант, получивший преимущественное распространение, заключается в использовании сильно обедненных смесей (для уменьшения выброса NO_x) и каталитического окислительного нейтрализатора. Применение нейтрализатора при переводе на газовое топливо значительно облегчается (по сравнению с дизелем) отсутствием в ОГ сажи или малым ее количеством (в газодизеле).

Перевод дизелей на чисто газовый процесс получает большее распространение, чем на газодизельный. Экономичность газового двигателя на 15-20% хуже, чем дизеля, и на 5-10% хуже, чем газодизеля. Мощностные показатели безнаддувного дизеля при переводе на газ могут быть сохранены, если на режимах внешней скоростной характеристики соответственно уменьшить коэффициент избытка воздуха (примерно до $\alpha = 1,2$), что, однако, создает трудности с выпол-

нением норм на выброс NO_x и увеличивает теплонапряженность ряда деталей. При переводе на газ дизеля с наддувом этой проблемы можно избежать, увеличив давление наддува и сохранив «дизельное» значение по внешней характеристике.

Конвертирование дизеля в газодизель целесообразнее производить, используя смешанное регулирование нагрузки, что позволит избежать большого обеднения смеси и связанного с ним значительного выброса CH . При конвертировании дизеля в газовый двигатель с искровым зажиганием возможно использование способов снижения токсичности ОГ, которые рассмотрены в подпункте 4.3.

Очистить ОГ от частиц с помощью соответствующих фильтров можно сравнительно легко. Однако фильтры при этом быстро забиваются, а противодавление на выпуске сильно возрастает.

Очистка самих фильтров представляет собой сложную проблему. Ее можно решать или путем замены фильтрующих элементов, или путем их регенерации на борту автомобиля. В последнем случае используются электроэнергия и специальные горелки, обеспечивающие выжигание отложений на фильтре.

Для интенсификации выжигания сажи используют катализаторы (благородные металлы или медь), а также присадку к топливу церия. Эти мероприятия понижают температуру выгорания углеводородосодержащих частиц до 300-400 °С. Лучшие образцы фильтров требуют очистки через 10-12 ч работы, сложность и стоимость их высоки, а надежность недостаточна.

Фильтры являются необходимыми для удовлетворения норм Евро IV и Евро V.

Контрольные вопросы

1. Назовите нормируемые токсичные вещества в отработавших газах автотракторных двигателей.
2. Назовите причины образования оксида углерода CO , углеводородов CH , и твердых частиц.
3. Назовите причины образования оксидов азота NO_x
4. Содержание каких токсичных веществ в отработавших газах не нормируется?
5. Назовите основные пути снижения токсичности отработавших газов.

6. Как производится контроль токсичности отработавших газов при эксплуатации автомобилей, оснащенных двигателями с искровым зажиганием?

7. Как производится контроль токсичности отработавших газов автомобильных двигателей на стенде с беговыми барабанами?

8. Определение каких выбросов производится при стендовых испытаниях двигателя с искровым зажиганием по 13-режимному циклу?

9. Чем отличаются нормы выбросов токсичных веществ в автомобильных двигателях по стандарту Евро?

10. Как влияет состав смеси на содержание токсичных веществ в отработавших газах двигателей с искровым зажиганием?

11. Как влияет угол опережения зажигания на содержание токсичных веществ в отработавших газах?

12. Для чего используется рециркуляция отработавших газов в двигателях с искровым зажиганием?

13. Назовите основное назначение и принцип работы нейтрализаторов отработавших газов.

14. С какой целью двигатели с искровым зажиганием оснащаются стартовыми нейтрализатором?

15. Какие новые топлива используются в двигателях с искровым зажиганием для снижения токсичности отработавших газов?

16. Как влияет на токсичность отработавших газов использование бедных смесей и расслоение зарядов?

17. Как контролируется токсичность отработавших газов при эксплуатации дизелей?

18. Определение каких выбросов производится при стендовых испытаниях дизеля по 13-режимному циклу?

19. Как влияет наддув дизеля на токсичность отработавших газов?

20. Как влияет на токсичность рециркуляция отработавших газов дизеля?

21. Назовите особенности рециркуляции отработавших газов автотракторных дизелей.

22. Какие альтернативные топлива используются в автотракторных дизелях для снижения токсичности отработавших газов?

23. Как производится очистка отработавших газов дизелей от сажи?

5 ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИГАТЕЛЕЙ

5.1 Классификация характеристик и анализ режимов работы двигателей

Для оценки работы двигателя, определения оптимальных регулировок систем и механизмов, технических характеристик двигателя в целом проводят его испытания согласно соответствующим методикам и техническим условиям, предусмотренными ГОСТ 18509-88 и 14846-81.

Зависимости *мощностных, экономических, температурных, экологических, износных* и других показателей, определяемых при испытаниях автотракторных двигателей, от тех или иных параметров, представленных графически, называют *характеристиками двигателей*.

Регулировочные характеристики определяют при испытаниях двигателей, программа которых зависит от вида испытаний, и используют для обоснования и выбора оптимальных (установочных) значений отдельных регулировочных параметров при $n = \text{const}$. В зависимости от параметра, который принят в качестве независимого переменного или установочного, различают следующие регулировочные и основные характеристики:

по составу смеси (независимые переменные: расход топлива G_T или коэффициент избытка воздуха α);

по установочному углу опережения зажигания в двигателе с искровым зажиганием или *впрыскивания топлива* в дизеле (независимые переменные: угол опережения зажигания $\varphi_{0,3}$ или *впрыскивания топлива* $\varphi_{0,вп}$);

по давлению на впуске и выпуске (независимые переменные: давление на впуске P_K или давление на выпуске P_r);

по установочному давлению впрыскивания топлива (независимая переменная – давление начала впрыскивания топлива форсункой $P_{впр}$);

скоростные (независимая переменная – частота вращения n);

нагрузочные (независимые переменные: среднее эффективное давление P_e или эффективная мощность N_e).

Условия, методы и правила определения основных показателей работы двигателей при снятии скоростных и нагрузочных характеристик установлены соответствующими ГОСТами.

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

Режим работы двигателя определяется его нагрузкой и частотой вращения коленчатого вала. Обе характеристики режима работы для каждого двигателя изменяются в определенных пределах. Каждому скоростному режиму двигателя соответствует определенная максимальная нагрузка, которая может быть преодолена. Величина этой нагрузки зависит от параметров окружающей среды, коэффициента наполнения, применяемого топлива, качества рабочего процесса и механических потерь в двигателе. Режим работы является установившимся, если частота вращения, нагрузка и тепловое состояние двигателя в течение определенного отрезка времени постоянны. Это возможно в том случае, если мощность двигателя и потребителя равны. *Устойчивостью* называется способность двигателя без воздействия на орган регулирования восстанавливать установившийся режим. Рисунок 5.1 иллюстрирует устойчивый (а) и неустойчивый (б) режимы работы двигателя. Равенство эффективного крутящего момента двигателя и момента сопротивления $M_k = M_c$ определяет режим работы с частотой вращения n_1 . Нарушение данного равновесия в первом случае восстанавливается, а во втором случае приводит к дальнейшему увеличению или снижению частоты вращения и вызывает необходимость воздействия на орган регулирования топливоподачи.

Известно, что крутящий момент двигателя с искровым зажиганием при увеличении частоты вращения уменьшается более интенсивно, чем у дизеля, причем особенно большая разница наблюдается при частичных нагрузках. Следовательно, при неполном открытии дроссельной заслонки внезапное резкое снижение нагрузки не связано с чрезмерным повышением скоростного режима. В связи с этим бензиновые и газовые двигатели транспортных машин не имеют спе-

циальных регуляторов частоты вращения или оборудуются *ограничителями максимальных скоростных режимов*.

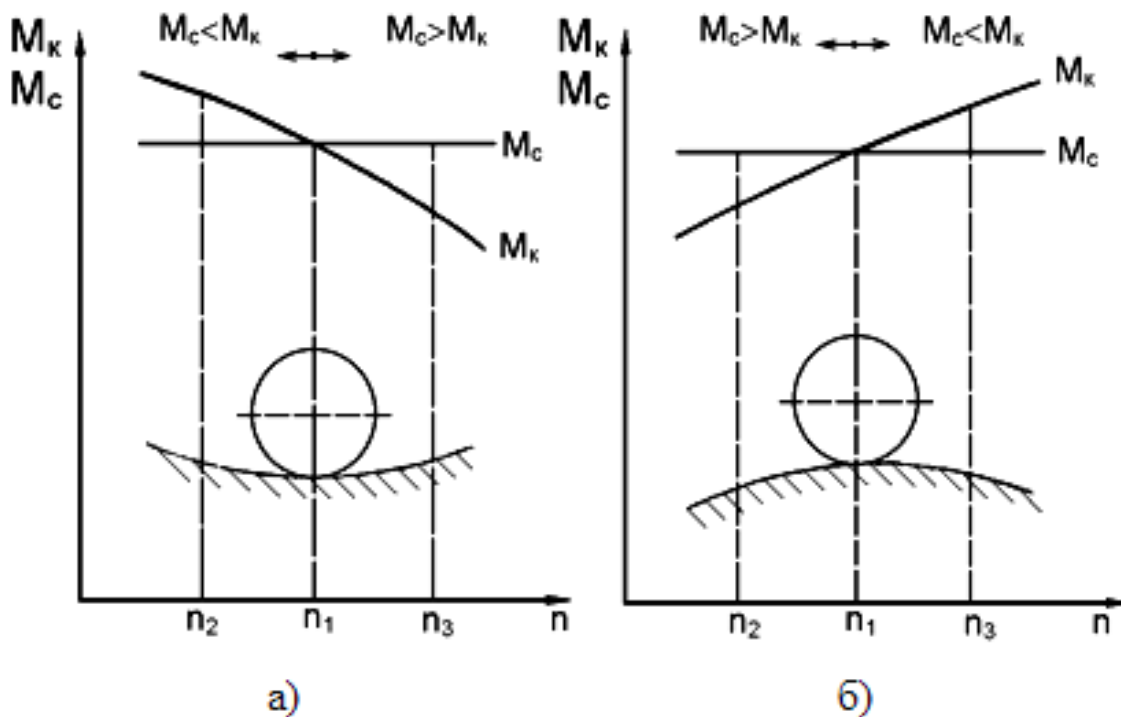


Рисунок 5.1 – Схема устойчивого (а) и неустойчивого (б) режимов работы двигателя

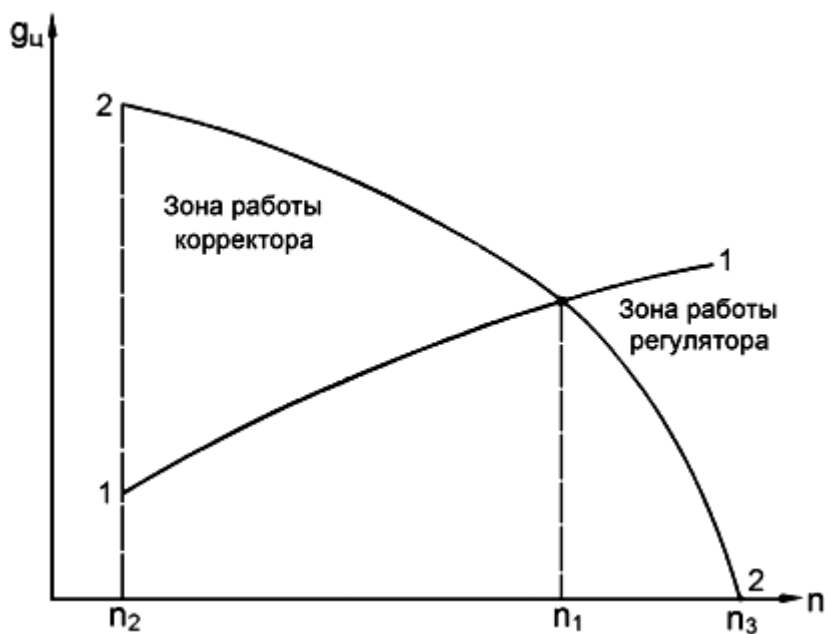


Рисунок 5.2 – Характер изменения цикловой подачи плунжерного топливного насоса

На дизеле установка регулятора необходима в связи с особенностями работы плунжерных топливных насосов (рис. 5.2). С увеличением частоты вращения, при неподвижном органе управления, средняя цикловая подача топлива $g_{ц}$ повышается вследствие снижения утечек через неплотности, связанных с увеличением скорости перемещения плунжера. Данная характеристика топливного насоса (1-1) придает неустойчивый характер работе двигателя. При наличии регулятора и корректора (2-2) отклонение от скоростного режима n_1 обеспечивает снижение цикловой подачи в зоне действия регулятора (n_1-n_3) или повышение цикловой подачи в зоне работы корректора (n_1-n_2).

Для автомобильных дизелей данная регулировка необходима на холостом ходу и максимальном скоростном режиме, что обеспечивается в двухрежимном регуляторе. Дизельные двигатели тракторов и большегрузных автомобилей оборудуют всережимными регуляторами, что обеспечивает их устойчивую работу при любой степени загрузки.

5.2 Регулировочные характеристики двигателей

5.2.1 Характеристики по составу смеси

Регулировочные характеристики по составу смеси $\eta_e, g_e \alpha = f(G_T)$ снимают с целью определения оптимальных регулировок системы питания и предельных мощностных и экономических показателей двигателя. На рисунке 5.3 представлена характеристика ДсИЗ по составу смеси, показывающая характер изменения мощности, удельного расхода топлива и коэффициента избытка воздуха в зависимости от массового расхода топлива.

В современных двигателях с впрыскиванием топлива (бензина) изменение расхода топлива G_T осуществляется управлением продолжительности открытия форсунок. В карбюраторных двигателях это достигается изменением проходного сечения главного топливного жиклера при помощи конусной иглы или изменением уровня топлива в поплавковой камере карбюратора.

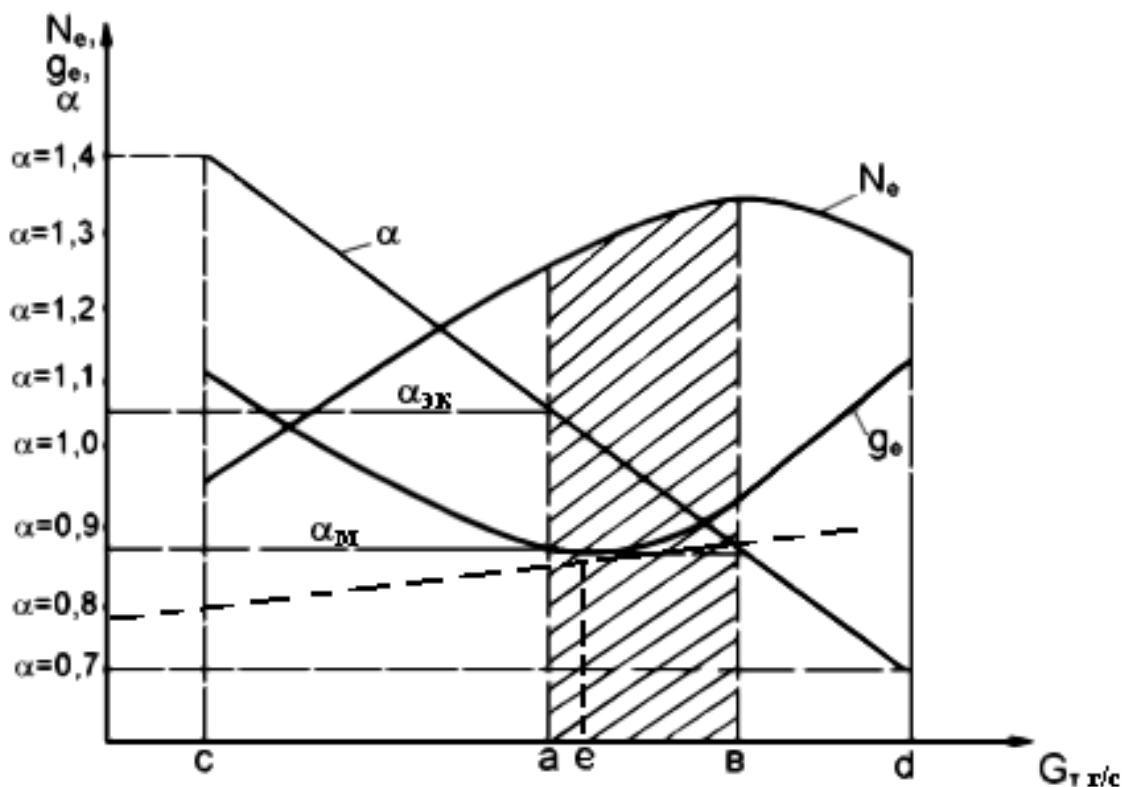


Рисунок 5.3 – Регулировочная характеристика по составу смеси ДсИЗ

Максимальное значение мощности достигается при $\alpha_M=0,85-0,95$ вследствие полного использования кислорода, содержащегося в свежем заряде, и наибольшей скорости сгорания смеси. Удельный эффективный расход топлива обратно пропорционален эффективному КПД двигателя. Наименьший удельный расход соответствует $\alpha_{ЭК}=1,05-1,15$ ввиду полного сгорания топлива. Обогащение смеси повышает индикаторный КПД η_i , а обеднение ее снижает индикаторный КПД η_i и механический КПД η_M вследствие увеличения потерь теплоты в окружающую среду и на механические потери. Оптимальной будет регулировка системы питания на часовой расход, находящийся в зоне а-в, точнее, между экономичным $\alpha_{ЭК}$ и мощностным α_M режимами работы двигателя (точка е).

На режимах полной нагрузки ДсИЗ состав смеси целесообразно устанавливать несколько беднее α_M из условия $g_e/N_e=\min$, поскольку уменьшение при этом максимальной мощности на 3-5% приводит к соответствующему повышению удельного расхода топлива. На частичных нагрузках состав смеси стремятся устанавливать несколько богаче $\alpha_{ЭК}$ для обеспечения резерва на случай обеднения смеси, понижения температуры воздуха, технологических отклонений и т.д.

Переход с экологической регулировки на мощностную в системах питания ДсИЗ осуществляется при помощи автоматических обогатительных устройств.

В дизеле мощность при $n = \text{const}$ регулируют изменением цикловой подачи топлива насоса высокого давления (ТНВД). Поэтому регулировочная характеристика по составу смеси дизеля совпадает с его нагрузочной характеристикой. При снятии характеристики ограничитель хода рейки (дозатора) ТНВД убирают. Она служит для определения максимальной подачи топлива (оптимального положения ограничителя хода рейки).

Работа дизеля на наиболее экономичном режиме (точка а) сопровождается полным и бездымным сгоранием топлива, для автотракторных дизелей в зависимости от способов смесеобразования этому режиму соответствует $\alpha_k = 1,5-2,0$ (рис. 5.4).

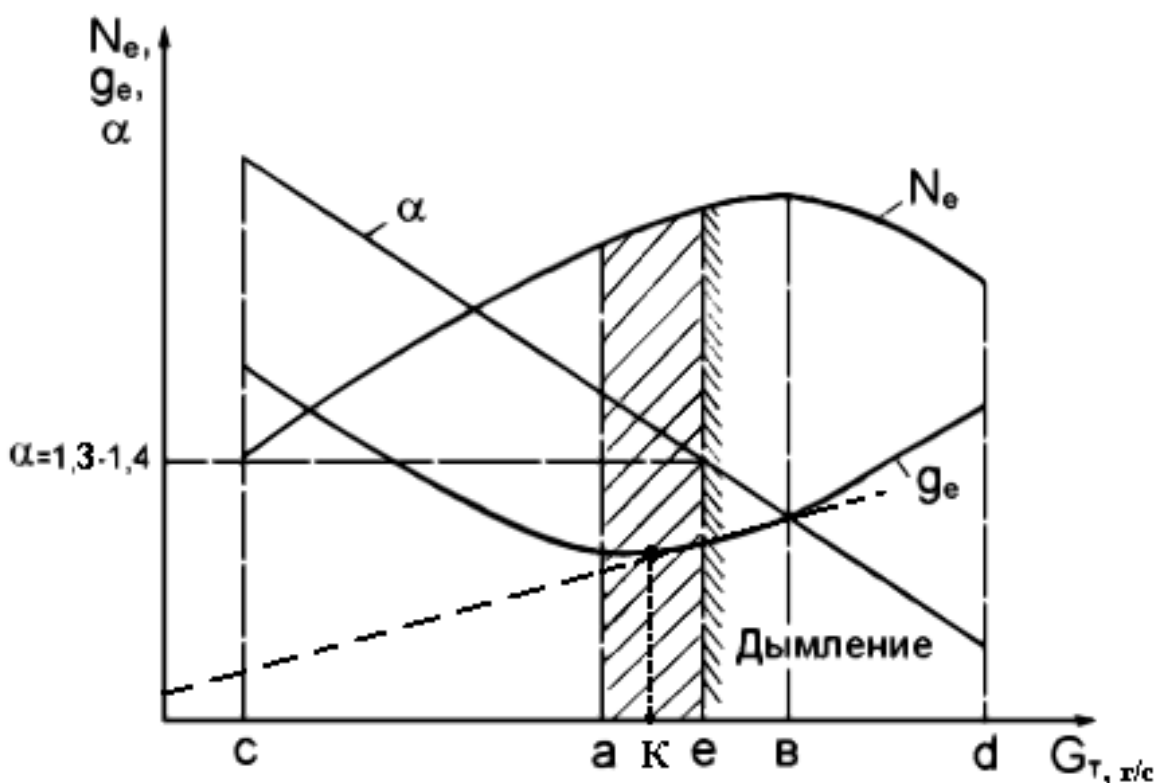


Рисунок 5.4 – Регулировочная характеристика по составу смеси дизельного двигателя

Режим максимально возможной мощности дизеля (точка в) достигается при $\alpha = 1,2-1,3$ и сопровождается сильным дымлением из-за несовершенства смесеобразования.

Между режимом наименьшего удельного расхода топлива с бездымным сгоранием (а) и режимом наибольшей возможной мощности (в) находится режим начала дымления (е), соответствующий $\alpha = 1,3-1,4$. Очевидно, что близко к этому режиму должна располагаться регулировка дизеля на максимально допустимую номинальную мощность. При этом наиболее распространен способ ее определения, базирующийся на условии достижения наибольшей эффективности $g_e/N_e = \min$. Графически этот режим можно определить точкой К на кривой $g_e = f(N_e)$, касательная к которой будет совпадать с лучом, проведенным из начала координат.

Как показали результаты исследования [8, 9], топливную аппаратуру дизелей и ДсИЗ необходимо регулировать с учетом не только мощностных и топливных, но и износостойких показателей на основе определения их оптимальных сочетаний.

Для дизелей со свободным впуском и газотурбинным наддувом минимальная скорость изнашивания цилиндропоршневой группы достигается на режиме, близком к режиму наибольшей экономичности. Согласно износным характеристикам, повышение среднего эффективного давления на 10% против его значения, соответствующего режиму оптимального сочетания износостойкости и эффективности, влечет возрастание условной удельной скорости изнашивания цилиндропоршневой группы примерно на 30%. Поэтому для дизелей значение номинальной мощности рекомендуется устанавливать на 10% ниже максимально допустимой мощности, посредством коррекции подачи топлива на номинальном режиме (точка К).

Для карбюраторных двигателей и ДсИЗ режим наиболее высокой топливной экономичности совпадает с режимом, обеспечивающим наименьшую скорость изнашивания. Впуск обедненной смеси приводит к уменьшению $P_{z \max}$, $(dP/d\phi)_{\max}$, а также к смыванию смазки с зеркала цилиндров, снижению температуры поршня и способствует уменьшению износа. Обеднение смеси до $\alpha \geq 1,05$ существенно уменьшает концентрацию в отработавших газах СО и СН при возрастании концентрации NO_x .

Учитывая существенное влияние состава смеси на токсичность отработавших газов, необходимо своевременно и качественно производить проверку и регулировку карбюратора и топливной аппаратуры, а также техническое обслуживание воздухоочистителя.

5.2.2 Характеристики по установочным углам опережения зажигания и впрыскивания топлива

Регулировочной характеристикой по углу опережения зажигания (УОЗ) называется зависимость основных показателей ДсИЗ от величины УОЗ ($\varphi_{0.3}$) N_e , g_e , $G_T = f(\varphi_{0.3})$, при $n = \text{const}$ и постоянном положении дроссельной заслонки ($\varphi_{др} = \text{const}$). Эти условия определяют постоянство коэффициентов наполнения ($\eta_v = \text{const}$) и избытка воздуха ($\alpha = \text{const}$).

Такие характеристики используются:

- для нахождения оптимальных значений УОЗ на различных скоростных и нагрузочных режимах работы двигателя при заданной регулировке топливоподающей системы;
- для определения предельных мощностных и экономических показателей двигателя;
- для выбора регулировок автоматов управления УОЗ и оценки требований к октановому числу топлива.

Вследствие постоянства расхода топлива G_T зависимости N_e , $g_e = f(\varphi_{0.3})$ имеют обратный характер, а максимум N_e и минимум g_e достигаются при одном и том же значении $\varphi_{0.3} = \varphi_{\text{опт}}$.

При оптимальном значении угла опережения зажигания ($\varphi_{\text{опт}}$) процесс сгорания протекает вблизи ВМТ с наибольшим значением термического КПД цикла, что обеспечивает максимальную мощность двигателя и минимальный удельный расход топлива. Оптимальный угол опережения зажигания зависит от *степени сжатия, сорта и качества топлива, формы камеры сгорания, интенсивности завихренный свежего заряда*, а также *нагрузочного и скоростного режимов работы*.

Раннее зажигание при $\varphi_{0.3} > \varphi_{\text{опт}}$ (точка р на рис. 5.5) приводит к интенсивному повышению температуры и давления газов до прихода поршня в ВМТ. При этом снижается мощность двигателя и повышается его склонность к детонационному сгоранию. *Позднее зажигание* при $\varphi_{0.3} < \varphi_{\text{опт}}$ (точка п) вызывает значительное догорание смеси при расширении. Потери теплоты при этом увеличиваются, температурный режим работы и деталей двигателя повышается, а мощность снижается.

Начальную установку оптимального угла опережения зажигания производят на номинальном нагрузочно-скоростном режиме работы двигателя. В качестве оптимального значения установочного угла опережения зажигания $\varphi_{\text{опт}}$ принимают такое, при котором достигаются минимальный удельный расход топлива и максимальная мощность.

Величина $\varphi_{\text{опт}}$ зависит от режима работы двигателя и октанового числа топлива. В современных ДсИЗ максимальная мощность реализуется в случае, когда максимальное давление в цилиндре достигается через 15-20° ПКВ после ВМТ. При повышении скоростного режима $\varphi_{\text{опт}}$ необходимо увеличить. Эта функция в ДсИЗ с микропроцессорными системами зажигания без распределителя выполняется алгоритмически в зависимости от частоты вращения коленчатого вала, а в двигателях с традиционными системами зажигания – центробежным автоматом управления УОЗ.

Снижение нагрузки (с прикрытием дроссельной заслонки) и повышение октанового числа топлива приводят к снижению скорости сгорания, а следовательно, к необходимости более раннего зажигания. Эта функция в современных ДсИЗ реализуется алгоритмически, в зависимости от расхода воздуха, величина которого косвенно определяет нагрузку двигателя. В двигателях с традиционными системами зажигания эта задача решается вакуумными автоматом управления УОЗ.

При очень малых нагрузках двигателя и обедненном составе смеси увеличение УОЗ приводит к ухудшению условий воспламенения. Поэтому в ряде случаев при малых нагрузках $\varphi_{\text{опт}}$ даже может уменьшаться.

Для использования топлива с повышенным октановым числом установочный УОЗ необходимо увеличивать из расчета – 1 град ПКВ эквивалентен повышению октанового числа (по моторному методу) на 2 ед. при одновременном увеличении зазора в выпускных клапанах на 0,03-0,05 мм [8].

Автоматы для изменения угла опережения зажигания по частоте вращения коленчатого вала (центробежный) и нагрузке (вакуумный) настраивают на основных (эксплуатационных) нагрузочно-скоростных режимах по тем же показателям работы двигателя.

Аналогично изменяются эффективная мощность и удельный расход топлива дизельного двигателя в зависимости от угла опережения впрыскивания топлива.

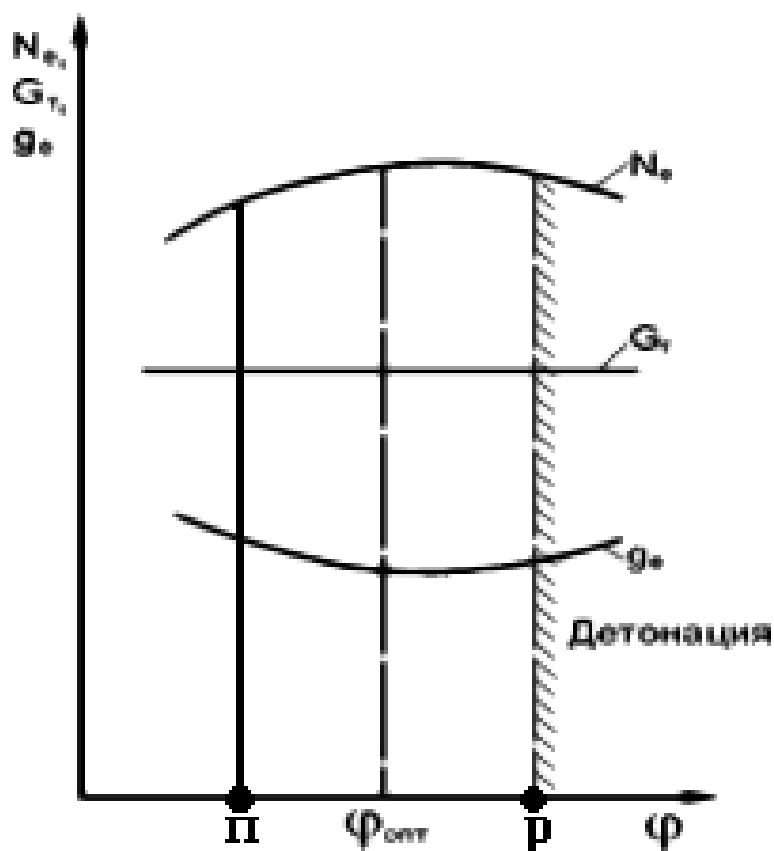


Рисунок 5.5 – Регулировочная характеристика по углу опережения зажигания

Критериями для определения оптимального момента начала впрыскивания топлива являются наименьшие удельный расход топлива и жесткость работы дизеля (отсутствие стуков).

При поздней подаче топлива ухудшаются условия подвода теплоты, большая часть топлива впрыскивается в цилиндр после ВМТ. Процесс сгорания переносится на линию расширения. Увеличиваются потери теплоты с отработавшими газами, так как максимальное давление и температура сгорания уменьшаются, а температура отработавших газов увеличивается. Рост относительных потерь в охлаждающую среду и с отработавшими газами вызывает резкое снижение индикаторного КПД. Это приводит к уменьшению механического КПД и, как следствие, к снижению эффективности и экономичности работы дизеля.

Слишком ранняя подача топлива вызывает увеличение задержки самовоспламенения, так как к моменту впрыскивания топлива сжатый воздух имеет пониженную температуру и давление, а температура самовоспламенения из-за меньшей плотности воздуха будет повышенной. Это приводит к увеличению жесткости работы дизеля и сопровождается снижением индикаторного и механического КПД и соответственно эффективной мощности.

При уменьшении нагрузки и снижении цикловой подачи топлива наивыгоднейший угол опережения впрыскивания уменьшается так же, как и при снижении частоты вращения коленчатого вала.

Для увеличения угла опережения впрыскивания топлива при повышении скоростного режима от минимального до номинального на переднем конце вала топливного насоса устанавливается автоматическая муфта опережения впрыскивания.

На величину оптимального угла опережения впрыскивания, кроме нагрузки и частоты вращения, влияют: *способ смесеобразования, условия впуска и выпуска, закон подачи топлива и ряд других факторов.*

Оптимальное значение установочного угла опережения впрыскивания по удельному расходу топлива практически совпадает с оптимальным значением $\varphi_{вп}$, полученным по скорости изнашивания. При отклонении $\varphi_{вп}$ от оптимального значения в отработавших газах возрастает содержание окиси углерода CO и углеводородов СН. Это объясняется увеличением количества топлива, попадающего на стенки камеры сгорания при позднем впрыске, и образованием CO, вследствие диссоциации CO₂ из-за высоких температур, при раннем впрыске. С увеличением $\varphi_{вп}$ дымность отработавших газов снижается вследствие более качественного смесеобразования при впрыскивании топлива в воздушный заряд с меньшим давлением и температурой.

Анализ результатов экспериментальных исследований дизелей со свободным впуском и газотурбинным наддувом [11] показывает большую чувствительность износных показателей, чем топливных, к изменению давления впрыскивания топлива.

Повышение экономичности, снижение жесткости работы дизеля и температуры отработавших газов по мере увеличения давления начала впрыскивания топлива $P_{впр}$ объясняются прежде всего улучшением качества распыливания топлива. При уменьшении $P_{впр}$ в дизелях

с объемным и объемно-пленочным смесеобразованием ухудшается качество распыливания и смесеобразования, что приводит к увеличению жесткости работы, повышению температуры отработавших газов, их дымности и токсичности.

Наибольшее влияние на эффективные и износные показатели дизелей с наддувом оказывают цикловая подача топлива и установочный угол опережения впрыскивания. Изменение давления начала впрыскивания топлива от установочного значения на $\pm 15-17\%$ существенного влияния на указанные показатели не оказывает (снижение эффективной мощности и увеличение удельного расхода топлива не превышает $2,0-2,5\%$). Наибольшее влияние на показатели работы дизеля оказывает комплексное нарушение установочных регулировок топливной аппаратуры. При этом существенно (примерно на 50%) снижается наработка на отказ распылителей форсунок, поршневых колец и клапанов.

5.3 Нагрузочные характеристики двигателей

Нагрузочной характеристикой называется зависимость основных показателей двигателя от нагрузки (N_e , P_e , M_k) при постоянной частоте вращения. Она позволяет выявить экономичность работы двигателя при разной степени загрузки. На рисунке 5.6,а показан характер изменения коэффициента избытка воздуха α и удельного расхода топлива g_e , характеризующего экономичность работы ДсИЗ, от нагрузки или степени открытия дроссельной заслонки.

При работе по нагрузочной характеристике с прикрытием дроссельной заслонки возрастает коэффициент остаточных газов, что изменяет условия протекания рабочего процесса и повышает удельный расход топлива. Карбюратор или дозатор-распределитель, как правило, регулируются из условия поддержания на всех нагрузочных режимах состава смеси, соответствующего наибольшей экономичности, которая повышается с увеличением нагрузки в связи с улучшением сгорания и увеличением α . Минимальный удельный расход соответствует режиму, при котором эффективный КПД наибольший (точка а). При этом значение мощности $N_e = (0,85-0,90) N_{e\max}$.

Для достижения максимальной мощности при полном открытии дроссельной заслонки карбюраторные, а также газовые двигатели

оборудуются экономайзером или обогатителем газовой смеси. В результате этого рост мощности сопровождается обогащением смеси до $\alpha = 0,85-0,90$ при соответствующем ухудшении экономичности и экологичности, т.е. увеличением удельного расхода топлива и выброса токсичных веществ.

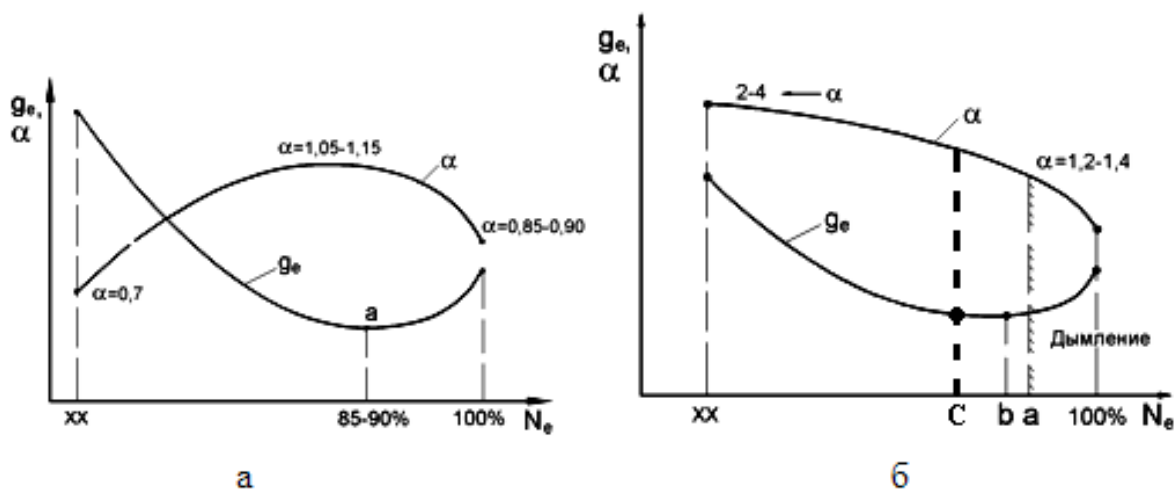


Рисунок 5.6 – Нагрузочные характеристики двигателей:
а – с искровым зажиганием; б – дизельного

В современных ДсИЗ с впрыскиванием бензина алгоритм обогащения заложен в память электронного блока управления: обогащение происходит в зависимости от расхода воздуха с учетом положения дроссельной заслонки и скоростного режима двигателя.

У дизельного двигателя (рис. 5.6,б) удельный расход топлива при малых нагрузках повышается менее интенсивно, чем у ДсИЗ, что расширяет зону нагрузок экономичной работы. Режим номинальной мощности дизельного двигателя лимитируется началом заметного дымления (точка а), а также необходимым запасом хода рейки топливного насоса (точка б) для работы корректирующего устройства при перегрузках. Повышение удельного расхода при больших нагрузках объясняется уменьшением индикаторного КПД из-за недостатка воздуха ($\alpha \leq 1,2-1,4$) и неполного сгорания обогащающейся при этом смеси.

Удельный расход топлива дизеля достигает минимума при 70-80% нагрузке (точка с).

При снижении нагрузки g_e увеличивается в связи с уменьшением механического КПД. У дизеля с наддувом увеличение g_e на малых

нагрузках несколько выше из-за возрастания затрат работы на газообмен при значительном падении давления наддува. Поэтому целесообразно использовать регулирование давления турбокомпрессора на малых нагрузках.

Поскольку при увеличении нагрузки повышаются дымность ОГ и тепловая напряженность деталей, предел форсирования дизеля по нагрузке определяется одной из этих двух величин, которая первой достигает критического уровня. Для дизелей с турбонаддувом (по сравнению с безнаддувными) характерны большие значения α на средних и высоких частотах вращения, поэтому предел форсирования для них определяется тепловой напряженностью деталей в цилиндре и колеса турбины турбокомпрессора.

Нагрузочная характеристика показывает экономические преимущества дизеля, что обусловлено главным образом его более высокой по сравнению с бензиновым двигателем степенью сжатия, более пологая кривая удельного расхода топлива дизеля – это следствие различия в рабочих процессах и в способах регулирования мощности рассматриваемых двигателей.

У дизеля мощность снижают уменьшением подачи топлива (качественное регулирование) и свежий заряд с уменьшением нагрузки меньше загрязняется продуктами сгорания по сравнению с бензиновым двигателем, где указанное производится прикрытием дроссельной заслонки (количественное регулирование).

5.4 Скоростные характеристики двигателей

Характеристики, представляющие собой зависимость показателей работы двигателя от частоты вращения коленчатого вала, называются *скоростными характеристиками*. Зависимость от частоты вращения (n) эффективной мощности (N_e), эффективного крутящего момента (M_k), часового (G_T) и удельного (g_e) расходов топлива при полностью открытой дроссельной заслонке в ДсИЗ или положении рейки топливного насоса, соответствующем максимальной подаче в дизеле, называется *внешней скоростной характеристикой (ВСХ)*. Зависимости данных показателей от частоты вращения при различных постоянных положениях органа управления являются *частичными скоростными характеристиками* двигателя.

На внешней скоростной характеристике различают следующие скоростные режимы (рис. 5.7):

n_{\min} – минимальный режим стабильной работы двигателя под нагрузкой;

n_M – режим максимального крутящего момента, когда среднее эффективное давление цикла P_e достигает наибольшего значения;

n_N – режим максимальной мощности двигателя;

n_H – номинальный режим работы, определяемый механизмом регулирования двигателя (ограничитель максимальной частоты вращения двигателей с искровым зажиганием или регулятор дизеля);

n_{\max}^{xx} – режим максимальной частоты вращения, ограничиваемый механизмом регулирования;

n_p – режим разносных оборотов двигателя, при котором индикаторное давление равно давлению механических потерь $P_i=P_T$, а $P_e=0$.

ВСХ является основной паспортной характеристикой двигателя, на основании которой оценивают его главные технические показатели:

- на номинальном скоростном режиме определяют номинальные эффективные значения мощности N_H , крутящего момента M_H , удельного расхода топлива g_e , а также α ;

- минимальный удельный расход топлива $g_{e \min}$ и соответствующую ему частоту вращения $n_{g_{e \min}}$;

- максимальный крутящий момент $M_{K \max}$ при частоте вращения n_M ;

- минимально устойчивую частоту вращения n_{\min} ;

- коэффициент запаса крутящего момента $\mu_K = (M_{K \max} - M_H) / M_H$ и коэффициент приспособляемости $K_M = M_{K \max} / M_H$ к преодолению временно возрастающих сопротивлений без перехода автомобиля или трактора на низшую передачу, а также его устойчивую работу по ВСХ;

- скоростной коэффициент $K_n = n_M / n_H$, определяющий интервал между значениями, соответствующими $M_{K \max}$ и N_H ;

В зависимости от укомплектования двигателя устройствами и оборудованием согласно стандарту определяют мощность нетто и мощность брутто. Значения характерных частот вращения для основных режимов приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Значения характерных частот вращения двигателей

Скоростной режим	Двигатель	
	ДсИЗ	Дизельные
n_{\min} , мин ⁻¹	500-600	550-700
n_H , мин ⁻¹	Легковые автомобили 4000-6000 грузовые автомобили 3000-4200	Автомобили 2000-4500 тракторы 1200-2300
n_M	(0,40-0,65) n_H	(0,50-0,75) n_H
n_N^*	(0,95-1,05) n_H	(1,05-1,07) n_H
n_{\max}^{xx}	(1,05-1,10) n_H	(1,05-1,10) n_H
n_p	(1,7-2,0) n_H	(1,4-1,6) n_H

* для дизельных двигателей определяется по скоростной характеристике в зоне дымления при выключенном регуляторе.

5.4.1 Скоростная характеристика двигателя с искровым зажиганием

На рисунке 5.7 показан характер изменения показателей двигателя и параметров рабочего цикла от частоты вращения по мере снижения нагрузки от максимальной (режим n_{\min}) до нуля (режим n_p). При этом эффективная мощность вначале увеличивается до максимального значения, а затем падает до нуля. Аналогично изменяется крутящий момент. Характерно, что наибольшая мощность достигается при большем скоростном режиме, чем наибольший крутящий момент.

Максимальное значение M_k зависит только от характера изменения P_e и достигается при его наибольшем значении, тогда как максимальное значение N_e зависит от P_e и n и достигается при наибольшем значении их произведения. Характер изменения g_e является обратным изменению N_e и режим наибольшей экономичности располагается, как правило, в зоне n_M - n_N .

Наибольшая частота вращения n_p , при которой вся индикаторная мощность затрачивается на трение, является опасной для двигателя, так как его детали в большинстве случаев не рассчитаны на данный режим из условий прочности и может произойти авария. В этой связи двигатели с искровым зажиганием, предназначенные для грузовых

автомобилей, оборудуются ограничителями частоты вращения, которые воздействуют на орган управления, начиная с частоты вращения, соответствующей номинальному нагрузочному режиму (n_H). В зависимости от назначения и условий эксплуатации в качестве номинального выбирается режим максимальной мощности ($n_H \leq n_N$). Данным фактором определяется величина коэффициента приспособляемости двигателя.

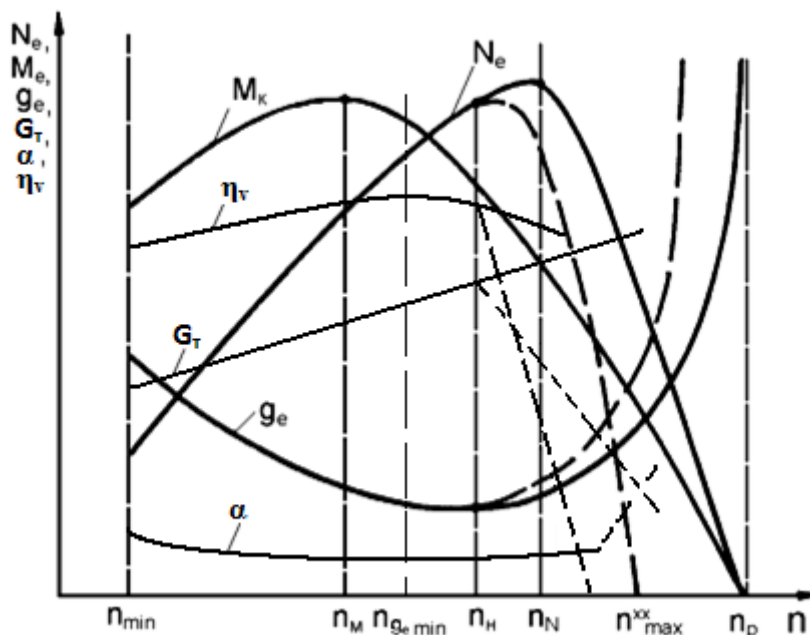


Рисунок 5.7 – Скоростная характеристика двигателя

ВСХ ДсИЗ снимается при штатных регулировках систем зажигания и топливоподачи. На большинстве скоростных режимов состав смеси близок к мощностному ($\alpha=0,85-0,95$).

Увеличение n приводит к возрастанию индикаторного КПД η_i и дальнейшей его стабилизации из-за возрастания продолжительности заключительной фазы процесса сгорания – догорания и увеличивающихся тепловых потерь с ОГ. Аналогично уменьшается отношение η_i/α , поэтому качество рабочего процесса ДсИЗ не лимитирует возможность его форсирования по скоростному режиму.

Для двигателей легковых автомобилей большие значения коэффициента наполнения η_v в зоне высоких частот вращения обеспечивают высокую номинальную мощность двигателя, что определяет высокую максимальную скорость и хорошую динамику разгона автомобиля.

У двигателей грузовых автомобилей максимальное значение η_v находится в зоне средних и низких частот вращения (см. рис. 5.7), что обеспечивает высокий коэффициент приспособляемости для преодоления кратковременных перегрузок.

Среднее давление механических потерь P_T с увеличением скоростного режима возрастает по закону, близкому к линейному, что, с учетом характера изменения P_i , приводит к снижению механического КПД η_m и определяет характер изменения P_e и эффективного КПД двигателя. При этом увеличение N_e с возрастанием n продолжается, пока рост частоты циклов, пропорциональный n , преобладает над снижением P_e . Когда эти два фактора компенсируют друг друга, то достигается максимальная мощность $N_{e \max}$. Как правило $n(N_{e \max}) > n_H$.

Снижение P_e при малых n определяется снижением η_i и η_v . Как правило для ДсИЗ скоростной коэффициент $K_n = 0,45-0,65$, $K_M = 1,12-1,40$.

При незначительном прикрытии дроссельной заслонки, когда снижение η_v невелико, возможно улучшение экономичности двигателя (уменьшение $g_{e \min}$) в интервале низких и средних частот вращения при работе по частичной скоростной характеристике по сравнению с работой по ВСХ. Это связано с переходом работы системы питания на приготовление обедненных составов смеси. Однако при высоких частотах вращения ($n > n_M$) преобладающим фактором является снижение η_m , что приводит к резкому возрастанию g_e .

При дальнейшем прикрытии дроссельной заслонки, из-за уменьшения η_i и η_m , происходит увеличение $g_{e \min}$.

У ДсИЗ степень сжатия $\varepsilon = 6,5-11,0$. Наибольшее значение ε имеют двигатели с впрыскиванием бензина. В указанном диапазоне значений ε ее влияние на индикаторные и эффективные показатели весьма существенно.

Повышение ε заметно увеличивает индикаторный и эффективный КПД двигателя. Это приводит к увеличению тепловой и механической нагруженности деталей двигателя, а также выбросу N_{ox} и СН и повышает требования к октановому числу топлива.

Наддув ДсИЗ вызывает нарушение процесса сгорания из-за детонации. При этом длительность первой фазы сгорания уменьшается примерно на 1,0-1,5 град ПКВ на каждые 0,01 МПа роста давления наддува p_K . Для устранения детонации при наддуве с давлением

$p_k = 0,13-0,20$ МПа понижают степень сжатия современных ДсИЗ примерно на единицу до $\epsilon=8-9$ и уменьшают на 4-7 град ПКВ угол опережения зажигания $\varphi_{o.з}$. Для снижения детонации используют также турбонаддув с перепуском ОГ или наддув от приводного нагнетателя (рис. 5.8) с охлаждением наддувного воздуха и обогащением смеси.

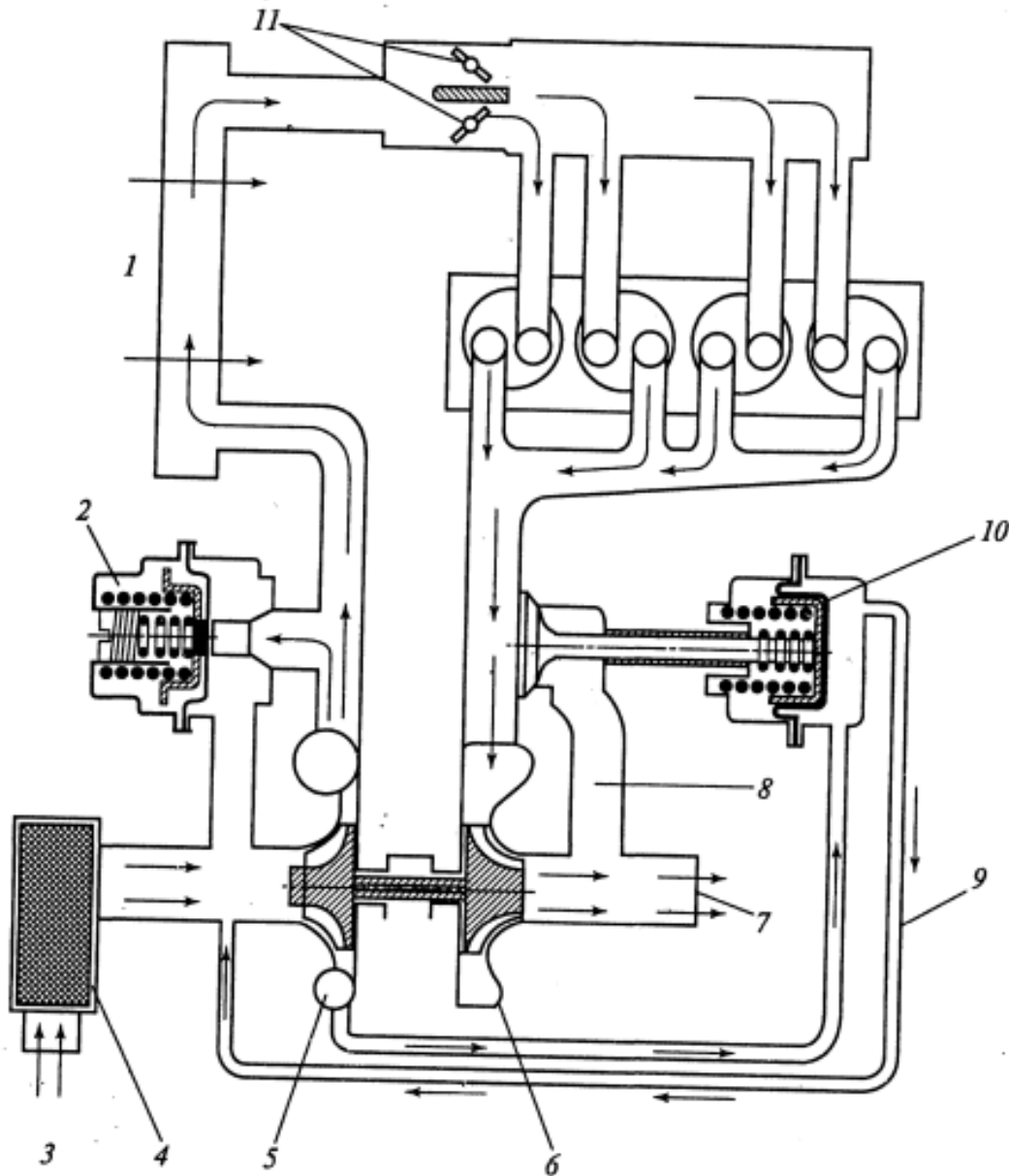


Рисунок 5.8 – Система турбонадува бензинового двигателя:

1 – радиатор для охлаждения наддувочного воздуха; 2 – клапан перепуска наддувочного воздуха; 3 – поток воздуха; 4 – воздушный фильтр; 5 – компрессор; 6 – турбина; 7 – поток отработавших газов; 8 – перепускной канал; 9 – возвратный воздушный канал; 10 – перепускной клапан отработавших газов; 11 – дроссельные заслонки

Эффективным способом борьбы с детонацией при наддуве является понижение фактической степени сжатия путем позднего закрытия выпускного клапана.

5.4.2 Внешняя скоростная характеристика дизеля, формирование внешней характеристики

Зависимости параметров дизеля от частоты вращения N_e , M_k , g_e , $G_T=f(n)$ качественно имеют такой же вид, как и для ДсИЗ. Собственно внешней характеристикой является изменение показателей в пределах частоты вращения от n_{min} до n_H . На участке от n_H до n_{max}^{xx} зависимости указанных показателей называют регуляторной ветвью внешней скоростной характеристики.

Скоростная характеристика принимает при этом вид регуляторной характеристики (рис. 5.9, 5.10), которая может быть внешней при полном ходе рычага управления регулятором или частичной. На регуляторной характеристике выделяются зона работы регулятора в интервале $n_H-n_{max}^{xx}$, или зона изменения нагрузки от нуля при n_{max}^{xx} до номинальной при n_H , где N_e и M_k изменяются от нуля до своих номинальных значений, а удельный расход топлива от номинального до бесконечности при $N_e=0$ и зона работы корректора в интервале n_M-n_H , где N_e снижается, M_k достигает максимального значения, а g_e постепенно понижается до минимального значения при n_{ge} , а затем возрастает.

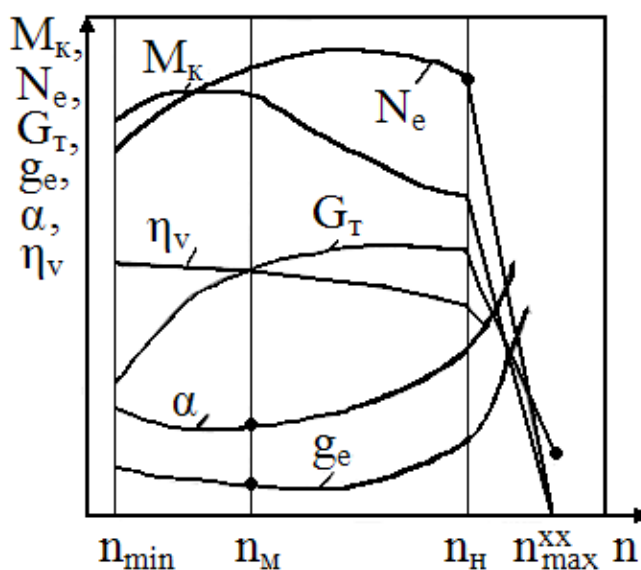


Рисунок 5.9 – Внешняя скоростная характеристика ДПМ с регуляторной ветвью

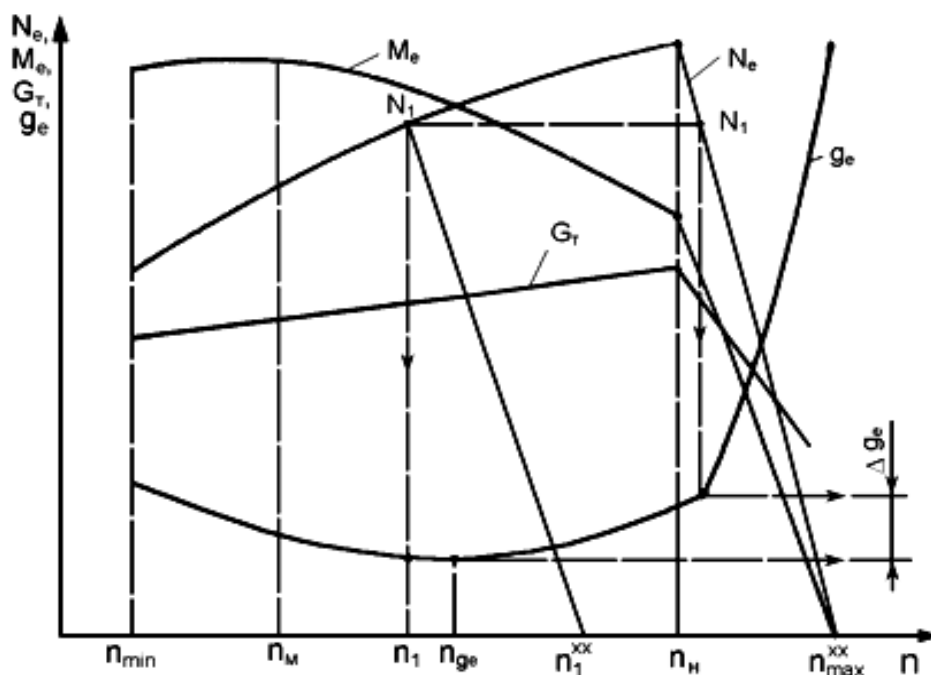


Рисунок 5.10 – Внешняя и частичная регуляторные характеристики дизельного двигателя

При уменьшении частоты вращения дизеля без наддува от n_H до n_M несколько снижается коэффициент избытка воздуха α , способствуя наряду с повышением коэффициента наполнения η_v и механического КПД η_M возрастанию крутящего момента при некотором снижении индикаторного КПД. Поэтому максимальное значение эффективного КПД $\eta_{e\max}$ и минимум удельного расхода топлива $g_{e\min}$ достигаются вблизи n_M . Из-за указанных ограничений увеличение коэффициента приспособляемости выше $K_M=1,10-1,15$ без управления зависимостью $\alpha=f(n)$ весьма проблематично.

Управление зависимостью $\alpha=f(n)$ в интервале от n_H до n_M в механических системах осуществляется прямым и обратным корректорами подачи топлива. При электронном управлении впрыскиванием обеспечивается практически любой характер изменения цикловой подачи топлива в зависимости от скоростного режима.

При этом выбранная зависимость $\alpha=f(n)$ формируется из стремления получить наиболее выгодные значения K_H и K_M с учетом высокой экономичности, низкой токсичности ОГ и допустимой механической и тепловой нагруженности дизеля.

Улучшение экономичности дизеля с наддувом объясняется более высокими значениями индикаторного и механического КПД за

счет современных методов организации процессов смесеобразования и сгорания.

Для формирования внешней характеристики дизеля с наддувом используется внешнее регулирование давления воздуха во впускном трубопроводе перепуском ОГ (рис. 5.11) или внутреннее установкой поворотных лопаток в направляющем аппарате турбины, а также охлаждение надувочного воздуха (рис. 5.12).

Применение регулируемого газотурбинного наддува при $n_m \leq n \leq n_n$ обеспечивает получение характеристики постоянной мощности с высоким запасом крутящего момента (35-55%), а также позволяет избежать значительного увеличения механических и тепловых нагрузок в интервале высоких частот вращения дизеля. При этом дизель, внешняя скоростная характеристика которого в интервале n_n до n_m обеспечивает мощность, равную номинальной или выше номинальной не более чем на 7% при $K_m \geq 1,40$ (см. рис. 5.9), по ГОСТ 18509-88 называется дизелем постоянной мощности (ДПМ).

Для получения характеристики постоянной мощности турбокомпрессор настраивается на частоту вращения $n \approx n_m$. При $n > n_m$ часть ОГ перепускается, минуя турбину. Этот способ внешнего регулирования турбонаддува применяется наиболее широко, поскольку конструктивно прост, надежен и не приводит к ухудшению экономичности двигателя на режимах, не требующих регулирования (при закрытом перепускном клапане). В то же время при открытии перепускного клапана возможно некоторое снижение экономичности дизеля, поскольку теряется энергия части ОГ, движущихся в обход турбины.

У современных тракторных ДПМ зарубежного производства максимальное превышение номинальной мощности в интервале от n_n до n_m достигает 14-15% за счет регулируемого наддува. Условную мощность (энергетический потенциал) ДПМ при определении показателей технологичности (энергонасыщенности и удельной массы) трактора рассчитывают по формуле (ГОСТ 20000-88)

$$N_{ey} = N_{ен} \frac{1 + \mu'_k}{1 + \mu_k}, \quad (5.1)$$

где μ_k^1 и μ_k номинальные коэффициенты запаса крутящего момента ДПМ и дизелей без регулировки наддува ($\mu_k = 0,15-0,20$).

Работа регулятора характеризуется степенью неравномерности

$$\delta p = \frac{n_{\max}^{xx} - n_n}{n} 100\% \quad (5.2)$$

и степенью нечувствительности

$$\varepsilon p = \frac{n'' - n'}{\bar{n}'} \approx \frac{R}{E}, \quad (5.3)$$

где $\bar{n} = (n_n + n_{\max}^{xx})/2$ – средняя частота вращения вала двигателя в зоне работы регулятора; $n'' - n'$ – интервал частоты вращения, в котором орган регулирования остается неподвижным из-за наличия трения в системе; $\bar{n}' = (n'' + n')/2$ – средняя угловая скорость; R – приведенная к муфте регулятора результирующая сила трения в системе; E – усилие пружины регулятора.

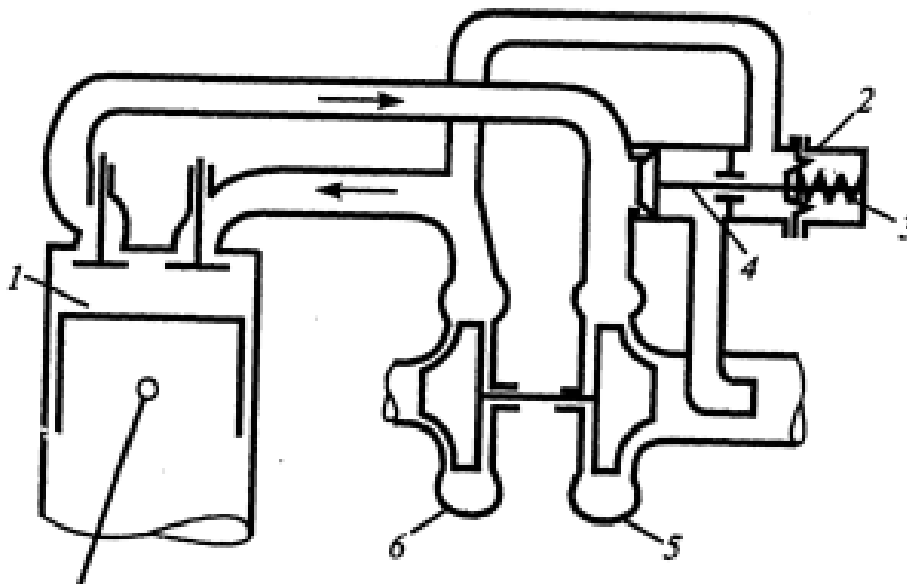


Рисунок 5.11 – Система перепуска газов:

- 1 – цилиндр; 2 – мембрана; 3 – пружина; 4 – перепускной клапан;
5 – турбина; 6 – компрессор

Всережимные регуляторы тракторных дизелей обеспечивают регулирование частоты вращения на любом заданном скоростном режиме в зависимости от положения рычага регулятора. Анализ регуляторной характеристики (см. рис. 5.10) показывает, что при нагрузке N_1 работа двигателя на более низком скоростном режиме обеспечивает снижение удельного эффективного расхода топлива (Δg_e). Данный пример объясняет повышение экономичности работы

двигателя на 20-25% при автоматизации управления режимами работы двигателя с обратной связью в системе регулирования.

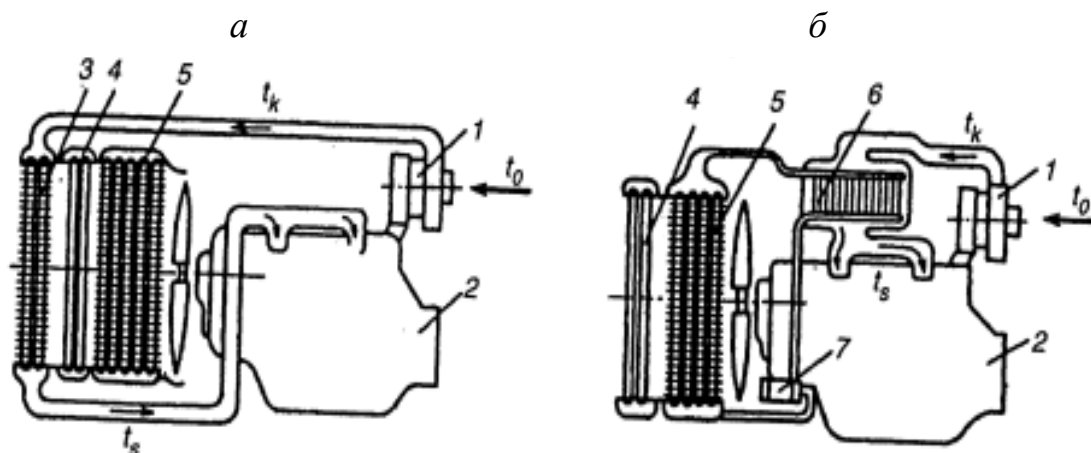


Рисунок 5.12 – Система охлаждения воздуха:

а – воздушно-воздушная; *б* – жидкостно-воздушная; 1 – ТКР; 2 – двигатель; 3 – воздушный охладитель; 4 – масляный радиатор двигателя; 5 – жидкостный радиатор двигателя; 6 – жидкостный охладитель; 7 – жидкостный насос

Характер изменения крутящего момента (M_k) дизельного двигателя при частичных и полном перемещениях органа управления регулятором представлены на рисунке 5.13 (*а* – двухрежимный регулятор, *б* – всережимный регулятор). Двухрежимные регуляторы обеспечивают ограничение по максимальной и минимальной частоте вращения. Особенностью двухрежимного регулятора является то, что при работе двигателя в зоне минимальных частот вращения (зона А) регулирование обеспечивается внешней пружиной регулятора, в интервале n_1 - n_2 регулятор не воздействует на работу двигателя и подачей топлива управляет водитель с помощью педали, при большей частоте вращения в работу включаются внутренняя и внешняя пружины и регулятор снижает цикловую подачу топлива с увеличением частоты вращения (зона В). Данный характер работы регулятора согласуется с условиями эксплуатации дизельного двигателя на автомобиле. Для тракторных двигателей, работающих большей частью при близких к максимальному значению нагрузках, целесообразной является характеристика всережимного регулятора прямого действия. Каждая регуляторная ветвь данной характеристики соответствует определенной жесткости пружины, заданной органом управления. Регулятор при

этом в соответствии с нагрузкой двигателя автоматически изменяет крутящий момент от номинального до нулевого значения при соответствующем повышении частоты вращения.

С целью оценки некоторых параметров автотракторных двигателей используются также специальные характеристики.

Характеристика холостого хода, определяющая зависимость часового расхода топлива от частоты вращения при работе без нагрузки, позволяет оценить экономичность двигателя на холостом ходу и выбрать оптимальную регулировку системы холостого хода.

Снимаются также *многопараметровые, детонационные* характеристики и характеристики условных механических потерь, по оценке шума и спектров акустического излучения двигателей.

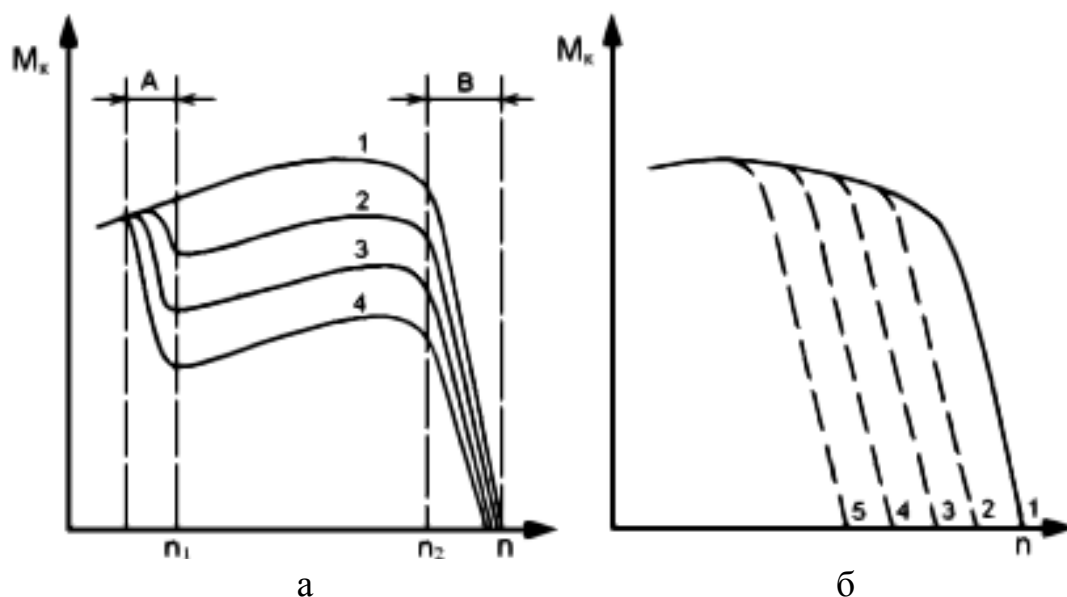


Рисунок 5.13 – Изменение крутящего момента двигателя от частоты вращения коленчатого вала при двух (а) и всережимном (б) регулировании

Контрольные вопросы

1. Какова цель снятия регулировочных характеристик двигателей?
2. Что называется регулировочной характеристикой двигателя по составу смеси?
3. С какой целью снимается нагрузочная характеристика двигателя?
4. Чем отличается нагрузочная характеристика от характеристики по составу смеси дизеля?

5. Как определяется оптимальное сочетание эффективности и экономичности, эффективности и износостойкости на основе нагрузочной характеристики двигателя?

6. С какой целью снимаются скоростные характеристики двигателя?

7. Как и какими показателями оцениваются динамические качества двигателей по скоростным характеристикам?

8. В чем причина увеличения удельного расхода топлива при уменьшении нагрузки двигателя?

9. В чем причина увеличения удельного расхода топлива и снижения мощности при обеднении и обогащении смеси?

10. С какой целью снимаются регулировочные характеристики по углу опережения зажигания в ДсИЗ и по углу опережения впрыскивания топлива в дизеле?

11. Что называется регуляторной характеристикой дизеля и с какой целью она снимается?

12. Чем объясняется улучшение экономичности дизеля с газотурбинным наддувом?

13. В чем особенность скоростной характеристики дизеля постоянной мощности (ДПМ)?

14. Как можно получить характеристику постоянной мощности дизеля?

6 УПРАВЛЕНИЕ ДВИГАТЕЛЯМИ

6.1 Требования к управлению работой двигателя

Первая и важнейшая задача управления двигателем автомобиля или трактора заключается в обеспечении его мощности, необходимой для движения автомобиля или агрегата с желаемой в данный момент скоростью и ускорением. Мощность двигателя определяется сочетанием крутящего момента и частоты вращения коленчатого вала, поэтому часто говорят об управлении нагрузочно-скоростным режимом работы двигателя. Выполнение этой задачи на тракторе и автомобиле обычно контролируется в той или иной мере водителем и может быть автоматизировано.

На рисунке 6.1 показана упрощенная схема управления авто-тракторным двигателем. Для обеспечения движения автомобиля или тракторного агрегата с желаемой скоростью и ускорением водитель воздействует на орган, изменяющий количество энергии, выделяющейся в цикле, и тем самым крутящий момент, развиваемый двигателем. В дизелях для достижения этой цели изменяют величину цикловой подачи топлива. В ДсИЗ меняют количество горючей смеси, поступающей в цилиндр, а с внутренним смесеобразованием могут применяться оба способа.

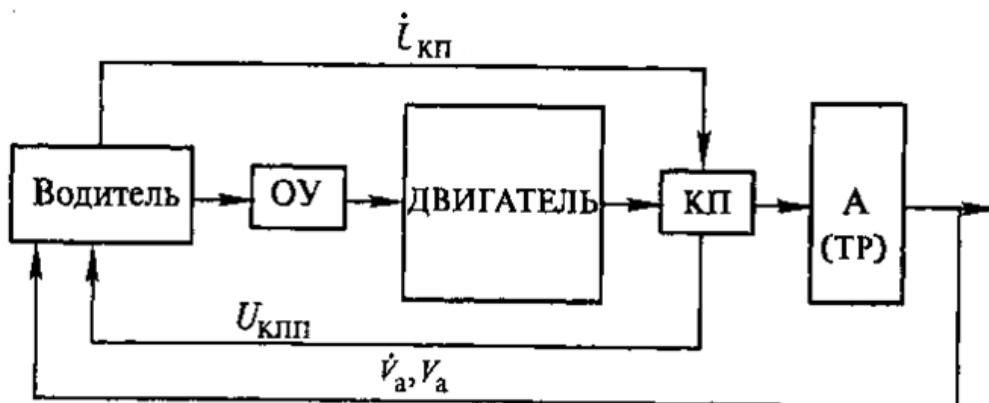


Рисунок 6.1 – Упрощенная схема управления автомобильным и тракторным двигателем: ОУ – орган управления мощностью двигателя; КП – коробка передач; А – автомобиль; ТР – трактор; \dot{V}_a и V_a – скорость и ускорение автомобиля (агрегата)

Одно и то же значение мощности двигателя может быть получено при различных сочетаниях крутящего момента и частоты вращения вала. При этом меняются не только тягово-динамические характеристики машины, но и ее топливно-экономические и экологические показатели. Поэтому в автомобилях и тракторах с механической коробкой передач (КП) с ручным управлением водитель одновременно с управлением крутящим моментом может выбрать желаемое соотношение момента и частоты вращения, изменив передаточное отношение в трансмиссии $i_{кп}$. В автомобилях и тракторах с автоматическим управлением трансмиссией выбор передаточного числа происходит по заданной программе.

Требования к мощности, топливной экономичности, экологическим характеристикам двигателя, к его стоимости, массогабаритным показателям, надежности, возможности работы на заданном топливе и ряду других противоречат друг другу. Поэтому удовлетворение всех требований в полной мере практически невозможно и решения выбираются на основе компромисса.

Существуют несколько концепций, например, высокоэкономичного или высокофорсированного по мощности, или экологически чистого двигателя.

Под концепцией двигателя понимают совокупность конструктивных и технологических решений, способов организации и управления рабочими процессами, которые потенциально могут обеспечить достижение поставленных целей.

Двигатели автомобилей и тракторов в эксплуатации работают в широком диапазоне нагрузочных и скоростных режимов. Изменение режима работы существенно влияет на протекание рабочих процессов и показатели двигателя. Выбирая конструктивные параметры двигателя, можно улучшить его показатели, но при этом не удастся обеспечить высокую эффективность рабочих процессов и получить предельно возможные показатели на всех режимах [7].

Так, из-за ухудшения газообмена и устойчивости работы двигателя при низких частотах вращения не удастся реализовать фазы газораспределения, необходимые для получения максимально возможной мощности при высокой частоте вращения.

Профилирование впускных каналов для обеспечения интенсивного сгорания на частичных нагрузках и при низких частотах

вращения приводит к перезавихриванию заряда и снижению коэффициента наполнения и мощности двигателя при высоких скоростных режимах, а выбор степени сжатия в ДсИЗ из условий исключения детонации при полных нагрузках ограничивает повышение топливной экономичности на частичных нагрузках.

Положение осложняется тем, что сами требования, предъявляемые к двигателю, изменяются в зависимости от режима его работы.

Например, на режиме полного и близкого к нему открытия ДЗ в ДсИЗ важнейшим становится требование получения максимального крутящего момента при обеспечении работы без детонации на данном топливе. Должны учитываться и требования к экологическим показателям двигателя.

На частичных нагрузках для этих двигателей на первый план выдвигаются требования ограничения токсичных выбросов и обеспечения высокой топливной экономичности. Кроме того, специфические дополнительные требования возникают на неустановившихся режимах (пуск и прогрев, сброс и увеличение нагрузки или быстрое изменение частоты вращения и др.). Для того чтобы преодолеть эти противоречия, необходимо иметь возможность направленно воздействовать на протекание рабочих процессов в зависимости от режима работы.

Поэтому *вторая задача управления двигателем* заключается в том, чтобы за счет воздействия на рабочие процессы на каждом режиме работы в наибольшей мере удовлетворить всем предъявляемым к нему требованиям.

На протяжении многих лет управление осуществлялось с помощью локальных механических и гидropневмомеханических автоматических устройств и его возможности были ограничены. Так, в дизелях применялись центробежные регуляторы частоты вращения, корректоры цикловой подачи топлива и регуляторы опережения начала впрыскивания топлива. В двигателях с искровым зажиганием необходимый для данного режима состав смеси устанавливался карбюратором, а угол опережения зажигания – центробежным и вакуумным автоматами регулятора опережения зажигания. Тепловой режим в системе охлаждения двигателей поддерживался с помощью термостата и т. д.

Резкое ужесточение требований к экологическим и экономическим показателям двигателей сделало такое управление недостаточным и привело к необходимости использования электроники для управления двигателями.

Создание электронных систем управления (ЭСУ) двигателями не только резко повысило точность управления, но и обеспечило возможность реализации автоматического управления рабочими процессами с учетом ряда факторов, которые не удавалось учитывать в прежних системах. К ним можно отнести тепловое состояние двигателя и атмосферные условия, качество топлива, особенности переходных процессов и т. д. Но еще более важным было то, что с появлением ЭСУ создались условия для разработки и внедрения ряда новых способов управляющего воздействия на рабочие процессы двигателя, которые не могли быть реализованы с использованием механических регуляторов. Поэтому можно говорить о переходе к новой *концепции* – созданию двигателей с многопараметрическим управлением рабочими процессами на каждом рабочем режиме.

Таким образом, введение электронных систем управления открыло новые возможности для дальнейшего развития конструкций и совершенствования показателей двигателя.

6.2 Особенности двигателя как объекта управления

Двигатель, как и любой объект автоматического управления, можно характеризовать набором из трех основных типов воздействий: *входных, выходных и возмущающих* (рис. 6.2). Эти понятия относятся как ко всей системе управления, так и к любому ее звену. Например, выходное воздействие исполнительного устройства будет являться входным воздействием для двигателя. Совокупность этих воздействий определяет состояние двигателя.

Состояние объекта, прежде всего, характеризуется совокупностью выходных воздействий, которые для двигателя обычно называют *выходными показателями объекта*.

В качестве выходных показателей рассматривают крутящий момент и частоту вращения вала двигателя, показатели топливной экономичности, токсичности ОГ и т. п. Если состояние объекта управления характеризуется несколькими выходными показателями, как это

имеет место в ДВС, то такой объект называют *многомерным*. Изменение значений входных воздействий, иногда называемых *управляющими воздействиями*, происходит под действием внешних по отношению к объекту систем. В частности, одной из таких систем может быть водитель.



Рисунок 6.2 – Схема двигателя как объекта управления

Целью управления является обеспечение совокупности определенных значений выходных показателей двигателя в любой момент времени.

В двигателе с искровым зажиганием в качестве управляющих воздействий могут рассматриваться: угол открытия дроссельной заслонки; угол опережения зажигания; количества поданного топлива и рециркулирующих газов; давление и температура воздуха после нагнетателя и др. В качестве управляющих воздействий могут быть приняты и параметры, непосредственно связанные с указанными величинами, например, α , η_v , величина хода клапана рециркуляции и т. п. В дизелях управляющими воздействиями могут являться: цикловая подача топлива; давление впрыскивания топлива; опережение начала подачи; давление воздуха после нагнетателя; количество рециркулирующих газов и др.

Так как имеется несколько управляющих воздействий, управление двигателем следует считать *многопараметрическим*.

Каждое управляющее воздействие оказывает весьма сложное влияние на работу и многие выходные показатели двигателя. Для оптимального управления необходимо совместно выбирать значения ряда управляющих воздействий. Управление, при котором выбор одного из управляющих воздействий зависит от выбора других управляющих воздействий, называют *связанным управлением*.

Возмущением (помехой) называют неуправляемые воздействия, также поступающие на объект извне, как правило, препятствующие осуществлению целей управления. Возмущения часто являются случайными величинами и делятся на контролируемые и неконтролируемые. К таким внешним воздействиям по отношению к двигателю могут быть отнесены изменения атмосферных условий и сопротивления движению автомобиля или трактора, отклонения в качестве топлива и т. п.

Автотракторные двигатели в эксплуатации работают преимущественно на неустановившихся режимах. Таким образом, двигатель является *динамическим* объектом управления. Характер протекания процессов в двигателе существенно зависит от направления изменения режимных параметров. Так, совершенно различным образом изменяется протекание процессов при пуске двигателя и его остановке или при резком открытии дроссельной заслонки или ее закрытии. Следовательно, двигатель является *динамически несимметричным* объектом управления.

Для обеспечения необходимого изменения во времени выходных показателей двигателя на неустановившихся режимах требуется соответствующим образом изменять во времени и значения управляющих воздействий.

Двигатель является машиной циклического действия, поэтому практическая возможность осуществить управляющее воздействие существует только в определенные моменты по фазе цикла. В ДСИЗ управление дроссельной заслонкой может осуществляться непрерывно, но влияние на величину заряда в цилиндре это оказывает только в процессе газообмена. Подача топлива при распределенном впрыскивании во впускной трубопровод происходит импульсно и, как правило, заканчивается до открытия впускного клапана, а в дизелях впрыскивание топлива обычно происходит в конце процесса сжатия. Электрический импульс на электрод свечи зажигания подается до начала рабочего хода и т. д. Таким образом, имеет место дискретное управление, что относит двигатели к *импульсным* (дискретным) объектам управления.

Следует отметить, что микропроцессорное (цифровое) управление само по себе также является дискретным. Поэтому аналоговую информацию, поступающую в блок микропроцессорного управления,

приходится преобразовывать в цифровую, а цифровую информацию на выходе из блока управления, если она передается в аналоговые исполнительные устройства, в аналоговую.

При эксплуатации состояние деталей двигателя и работа его систем не остаются неизменными из-за износа деталей, нарушения герметичности уплотнений, появления отложений, старения масла и т. п. В результате меняется протекание рабочих процессов, например, изменяются давление газов при сжатии, тепловые потери в стенки камеры сгорания, потери на трение и т. д. Поэтому управляющие воздействия, подобранные для нового двигателя, не будут оставаться оптимальными в процессе эксплуатации. Более того, в силу технологического разброса параметры выпускаемых двигателей случайным образом изменяются в определенных пределах. В результате значения управляющих воздействий, выбранные для одного нового двигателя, могут оказаться неоптимальными для других новых двигателей той же модели.

В каждом конкретном двигателе в силу воздействия ряда случайных факторов последовательные рабочие циклы протекают неодинаково. Особенно характерно это для двигателей с искровым зажиганием. Случайным образом меняется и ряд внешних возмущений. Таким образом, двигатель следует рассматривать как *нестационарный стохастический* объект управления.

Совокупность протекающих в двигателе и его агрегатах физико-химических, тепловых, газодинамических и других процессов не удастся достаточно точно описать системой линейных дифференциальных уравнений в силу существенной нелинейности многих связей. Осуществлять оптимальное управление нелинейными объектами значительно сложнее, чем линейными, поэтому тракторные двигатели являются сложными объектами управления.

6.3 Основные принципы автоматического управления двигателем

В теории автоматического управления используются три фундаментальных принципа: управление по задающему воздействию, управление по возмущению (принцип компенсации), регулирование по отклонению (принцип обратной связи).

Возможность применения указанных принципов управления зависит от вида используемой информации.

Если измеряемые в процессе управления реальные значения составляющих вектора выходных показателей двигателя сравниваются с желаемыми значениями этих параметров и управляющие воздействия изменяются так, чтобы предельно уменьшить отклонение фактических значений выходных показателей от желаемых, то в такой системе реализуется принцип обратной связи (рис. 6.3, а). Подобные системы относят к системам замкнутого регулирования, которые обеспечивают очень высокую точность управления. Замкнутое регулирование обычно выполняет функции стабилизации или ограничения значений определенных выходных показателей.

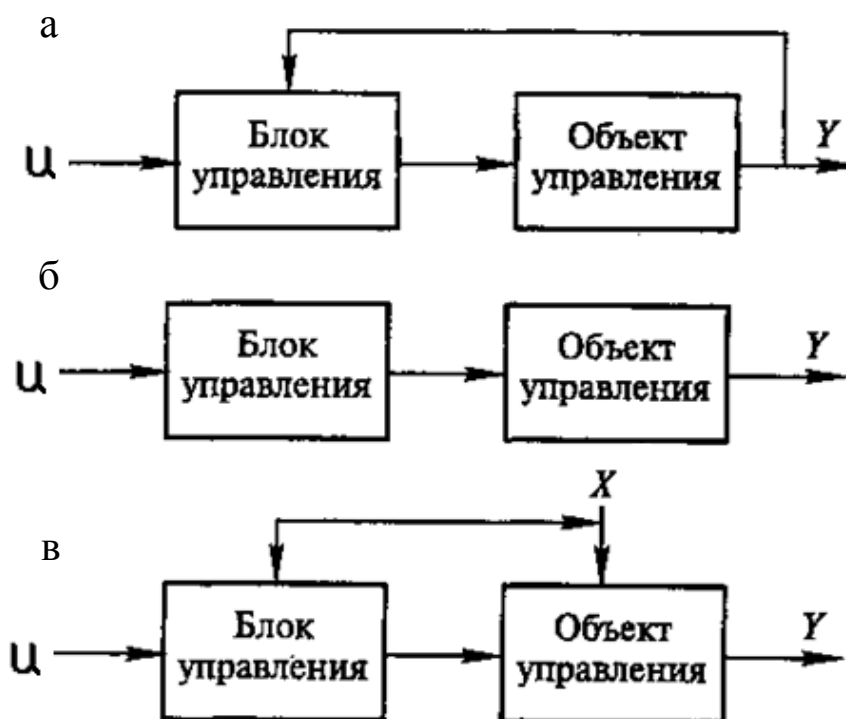


Рисунок 6.3 – Принципы построения систем управления:

а – регулирование по отклонению; б – разомкнутое программное управление; в – компенсация возмущений; u – управляющее воздействие; X – возмущения; Y – выходные показатели;

Управление по задающему воздействию происходит по команде, поступающей извне объекта. Такая команда может поступать от водителя или храниться в памяти микропроцессора.

В этом случае значение управляющего воздействия не зависит непосредственно от получающихся при этом выходных показателей. Такие системы относят к разомкнутым программным системам управления (рис. 6.3, б). Программные системы управления отличаются высоким быстродействием.

При больших возмущениях по указанным управляющим воздействиям, определяемым по жестким программам, не удастся обеспечить необходимое качество управления. Если имеется информация о возмущающих воздействиях, то управляющие воздействия можно скорректировать для достижения целей управления, т. е. использовать принцип компенсации (рис. 6.3, в).

В современных системах управления обычно сочетаются все три указанных способа организации управления. С появлением микропроцессорной техники появилась возможность дальнейшего развития и совершенствования систем управления и, в частности, использования принципа адаптации.

Адаптивными называются системы, у которых при изменении внутренних или внешних условий в процессе работы для достижения целей управления меняются структура, алгоритмы или программы (управляющие воздействия). Адаптивные системы могут быть как замкнутыми, так и разомкнутыми.

Получение информации, необходимой для построения управления, не всегда связано с непосредственным прямым измерением значений физических параметров состояния объекта. При наличии достаточно точных математических моделей объекта можно расчетным путем установить значения определенных параметров состояния, которые не могут быть измерены непосредственно, и использовать их для построения управления. В последнем случае появляется возможность прогнозировать результаты определенных управляющих воздействий и возмущений, что особенно важно при построении динамических систем управления.

6.4. Организация и формирование электронного управления работой двигателя

Электронное управление на основе микропроцессорных систем, обладающих развитой памятью и высоким быстродействием, предо-

пределило преимущественное использование цифровых систем управления двигателем. Развитие аналоговых систем с очень высоким быстродействием направлено на применение гибридных схем управления, включающих как аналоговую, так и цифровую части.

Электронная система управления (ЭСУ) включает: *датчики*, установленные на двигателе и машине, обеспечивающие необходимую для управления информацию; *электронный блок управления (ЭБУ)*, формирующий на основе этой информации управляющие воздействия; *исполнительные устройства*, реализующие воздействия по сигналам, поступающим от ЭБУ; *объект управления* – двигатель и провода, обеспечивающие связь между элементами системы.

В последнее время широко используются интеллектуальные датчики с устройствами для первичной обработки информации, которые позволяют разгрузить ЭБУ и повысить помехоустойчивость системы.

ЭБУ на основе микропроцессора имеет устройства для ввода и вывода информации (УВВ), арифметическое логическое устройство (АЛУ), постоянное запоминающее устройство (ПЗУ), оперативное запоминающее устройство (ОЗУ) и электрически программируемое запоминающее устройство (ЭПЗУ).

Для осуществления управления двигателем в ЭСУ заложены алгоритмы ее работы, обеспечивающие следующие функции.

1. Слежение за временем и углом поворота вала двигателя (диспетчер времени), поскольку иные функции управления приведены к определенной фазе рабочего цикла, а в ряде случаев и к определенному цилиндру.

2. Получение, обработка и распределение информации, поступающей от датчиков с учетом их фактической характеристики и приоритета обработки поступающей информации.

3. Распознавание (идентификация) режима работы двигателя (диспетчер режимов) для установления режима работы двигателя и формирования управления. Идентифицируются основные (установившиеся) и неустановившиеся режимы работы.

4. Формирование управления производится после идентификации режима работы двигателя, выбора алгоритма и программы управления с последующими вычислениями необходимых команд для исполнительных устройств.

5. Адаптация, включающая изменения структуры системы и выбор программы управления в зависимости от режима и условий работы двигателя.

6. Вывод управляющих команд на исполнительные устройства в соответствии с результатами обработки выходной информации.

7. Диагностирование работы датчиков и правильности работы системы управления.

8. Обеспечение работоспособности двигателя при отказе одного или нескольких элементов системы управления за счет дополнительных обходных алгоритмов управления.

6.4.1 Управление двигателями с искровым зажиганием и внешним смесеобразованием

В двигателях с искровым зажиганием и внешним смесеобразованием управление мощностью в основном осуществляется изменением количества горючей смеси, поступающей в цилиндры, которое устанавливается водителем, как правило, путем изменения положения дроссельной заслонки.

При организации микропроцессорного управления рабочими процессами таких двигателей замкнутое регулирование используется в ограниченной мере, так как затруднительно измерять важнейшие выходные мощностные, экономические и экологические показатели. Управление рабочими процессами в этом случае строится как разомкнутое программное с использованием коррекции по возмущениям.

В основе программного управления каждым из важнейших управляющих воздействий в ДсИЗ лежит так называемая базовая программа управления (базовая матрица или таблица), по которой определяется необходимое значение управляющего параметра в зависимости от основного или основных режимных параметров. Так, управление подачей топлива, опережением зажигания, количеством рециркулирующих газов и рядом других управляющих воздействий на частичных нагрузках задается в виде базовых матриц в зависимости от частоты вращения вала и нагрузки для прогретого двигателя, работающего на установившемся режиме. Для промежуточных значений режимных параметров, не входящих в матрицу, значения управляющих воздействий находятся при помощи интерполяции.

Прямое измерение крутящего момента на автомобиле представляет определенные трудности, поэтому при управлении двигателями с *центральной* или *распределенным впрыскиванием топлива* для оценки нагрузки используют косвенные параметры, тесно связанные с величиной крутящего момента. В качестве таких параметров, доступных для измерений, могут служить массовый расход воздуха, положение дроссельной заслонки, абсолютное давление или разрежение во впускном трубопроводе после дроссельной заслонки.

Однако между расходом воздуха, положением дроссельной заслонки или давлением во впускном трубопроводе и значением крутящего момента при данной частоте вращения нет однозначной связи. Такая связь зависит от значений управляющих воздействий, качества протекания рабочих процессов в двигателе, его состояния, а в случае использования измерения положения дроссельной заслонки или разрежения в трубопроводе еще и от атмосферных условий. Поэтому точность управления с использованием результатов, указанных выше, косвенных измерений ограничена и меняется в зависимости от режима работы. В связи с этим в современных ЭСУ двигателей с искровым зажиганием часто измеряют все три параметра и в зависимости от режима работы меняют параметр, по которому строится управление, выбирая тот, который дает лучшие результаты.

При построении программного управления двигателем помимо нагрузочно-скоростного режима необходимо учитывать ряд дополнительных факторов.

При возникновении каких-либо возмущающих факторов (недостаточный прогрев двигателя, изменение атмосферных условий, качества топлива и т. д.) или при работе двигателя на неустановившихся режимах управление формируют путем коррекции управления, определенного по базовой матрице с использованием информации корректирующих двух- и одномерных матриц или коэффициентов. Для некоторых управляющих воздействий коррекция управления осуществляется с учетом пяти-шести возмущающих факторов и более.

На специфических режимах (холостой ход, принудительный холостой ход, пуск и т. д.) управление осуществляют по специальным алгоритмам и отдельным программам.

При использовании корректирующих матриц применяют три метода определения итогового значения управляющего воздействия: аддитивный, мультипликативный и смешанный.

В ДСИЗ для определения УОЗ часто используют *аддитивный метод*, и итоговое значение $\varphi_{0.3}$ рассчитывают, суммируя базовое значение опережения зажигания $\varphi_{0.3}(n, P_k)$ со значениями необходимой коррекции угла опережения зажигания с учетом ряда факторов. Базовые значения опережения зажигания при этом выбирают заранее экспериментально из условий получения максимальной топливной экономичности (мощности) с учетом необходимости уменьшения опережения зажигания для снижения выбросов NO и CH.

При построении базовой матрицы в зависимости от частоты вращения (n) и абсолютного давления во впускном трубопроводе (P_k) к полученным значениям $\varphi_{0.3}(n, P_k)$ необходимо, как минимум, алгебраически вводить коррекции по температуре охлаждающей жидкости $\Delta \varphi_{0.3}(t_{охл})$ и по температуре окружающего воздуха $\Delta \varphi_{0.3}(t_0)$ [7]:

$$\varphi_{0.3} = \varphi_{0.3}(n, P_k) + \Delta \varphi_{0.3}(t_{охл}) + \Delta \varphi_{0.3}(t_0) + \dots \quad (6.1)$$

При построении базовой матрицы по цикловому расходу воздуха и частоте вращения поправка на температуру воздуха обычно не вводится.

Возможно введение коррекции опережения зажигания с учетом работы двигателя на неустановившихся режимах и изменения используемого топлива.

ЭСУ позволяет учитывать изменение времени накопления энергии в катушке зажигания в зависимости от напряжения в сети автомобиля. Это дает возможность после определения необходимого УОЗ выбрать момент коммутации первичной цепи катушки зажигания с учетом частоты вращения вала и напряжения сети. Последнее ведет к оптимизации энергии искрообразования и сокращает мощность, потребляемую системой зажигания.

При управлении цикловой подачей топлива в системах с распределенным впрыскиванием бензина используют *мультипликативный*, а чаще *смешанный метод* формирования управления. В этом случае конечное значение управления находят как путем умножения базово-

го управления на корректирующие коэффициенты, так и суммированием базового и корректирующих значений управляющих воздействий с учетом большего числа факторов.

Базовая матрица для определения цикловой подачи топлива задается в зависимости от частоты вращения вала и циклового расхода воздуха $G_{вц}$ в виде необходимых значений α .

При работе ЭСУ величина $G_{вц}$ определяется по показаниям измерителя массового расхода воздуха или рассчитывается по результатам измерений частоты вращения вала, абсолютного давления и температуры воздуха во впускном трубопроводе с использованием вспомогательных матриц, определяемых при калибровке ЭСУ.

Практически в ЭСУ управление каждым воздействием осуществляется независимым контуром. Реализация принципа связанного управления в этом случае достигается за счет совместного выбора значений для всех связанных управляющих воздействий в процессе калибровки ЭСУ.

6.4.2 Управление дизелями

В дизелях управление мощностью осуществляется изменением величины цикловой подачи топлива, которая задается непосредственно водителем или изменяется под воздействием автоматического регулятора частоты вращения (рис. 6.4). В последнем случае задатчик частоты вращения связан с педалью акселератора, а электронный блок, получая сигнал задатчика и информацию о фактической величине частоты вращения, изменяет цикловую подачу топлива и обеспечивает с высокой точностью поддержание заданного скоростного режима.

Таким образом, в дизелях в основном контуре управления мощностью используется принцип регулирования с отрицательной обратной связью.

При формировании управления рабочими процессами в дизелях, как и в ДсИЗ, используется программное управление. Базовые матрицы управления процессами, например, изменения опережения начала и закона подачи топлива, давления наддува, рециркуляции ОГ, обычно строятся в зависимости от частоты вращения вала и от положения органа, дозирующего подачу топлива (при использовании систем с

механическим дозированием цикловой подачи), или от частоты вращения, длительности открытия форсунки и давления впрыскивания топлива (в системах с электрическим дозированием топлива).

Коррекция базовых значений управляющих воздействий ведется с учетом таких факторов, как температура в системе охлаждения двигателя, температура топлива, температура воздуха, давление наддува, характер переходных процессов и др. Для более точного корректирования подачи топлива используется информация о расходе воздуха. Для этого предусмотрены измерители массового расхода воздуха, аналогичные применяемым на ДсИЗ.

По отдельным программам строится управление на режимах пуска и останова двигателя.

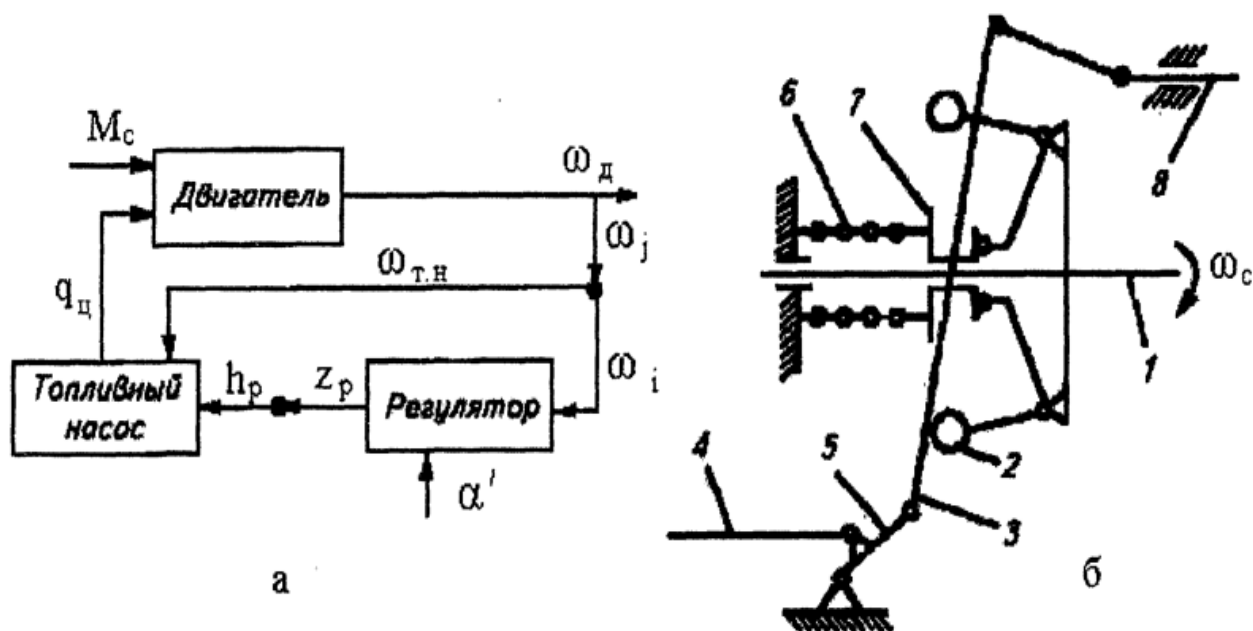


Рисунок 6.4 – Структурная схема САУ угловой скорости вала двигателя (а). Схема работы регулятора скорости дизеля (б): 1 – вал регулятора; 2 – грузы; 3, 5 – рычаги; 4 – тяга; 6 – пружина; 7 – муфта регулятора; 8 – дозатор топливного насоса

6.4.3 Управление двигателями с искровым зажиганием и непосредственным впрыскиванием бензина

В двигателях с искровым зажиганием и непосредственным впрыскиванием бензина в цилиндр при сжигании расслоенных зарядов существенно расширяются пределы возможного обеднения смеси, а

следовательно, и изменение мощности двигателя за счет управления цикловой подачей топлива, как это имеет место в дизелях. Однако пределы возможного обеднения смеси недостаточны для регулирования мощности во всем диапазоне нагрузочных и скоростных режимов. Например при полной нагрузке принципиально необходимо переходить к сжиганию гомогенных смесей. Поэтому в двигателях с непосредственным впрыскиванием бензина, в зависимости от нагрузочно-скоростного режима, приходится переходить от управления мощностью изменением количества горючей смеси к изменению цикловой подачи топлива, при регулировании степени расслоения заряда. В этом случае построение управления всеми воздействиями, в том числе и положением дроссельной заслонки, по расходу воздуха или по давлению во впускном трубопроводе становится невозможным. Поэтому базовые матрицы строят в координатах крутящий момент – частота вращения.

При реализации такого управления механическая связь между педалью водителя и дроссельной заслонкой заменяется электрической. На педали водителя устанавливают задатчик крутящего момента, а дроссельная заслонка по специальной программе управляется при помощи электропривода.

Принципиально значение крутящего момента, необходимое для осуществления такого управления, можно определить тремя способами:

- прямым измерением с применением датчика крутящего момента;
- на основании косвенных измерений;
- при помощи математического моделирования на основе фактических значений вектора управляющих воздействий.

Наиболее часто используют последний способ. В этом случае исходные модели, построенные в виде набора матриц (таблиц), предварительно определяют на основании экспериментов.

Управление протеканием рабочих процессов в таком двигателе также строится с использованием базовых и корректирующих матриц, но изменение крутящего момента в результате коррекции управления должно учитываться при расчете крутящего момента. Это заставляет использовать итерационные процедуры для уточнения значений управляющих воздействий.

6.4.4 Развитие методов управления мощностью двигателей

Электронное управление мощностью двигателей развивается в двух направлениях. *Первое направление* связано с отказом от прямой механической связи педали водителя с органом, регулирующим подачу топлива или количество горючей смеси, поступающей в цилиндры (рис. 6.5).

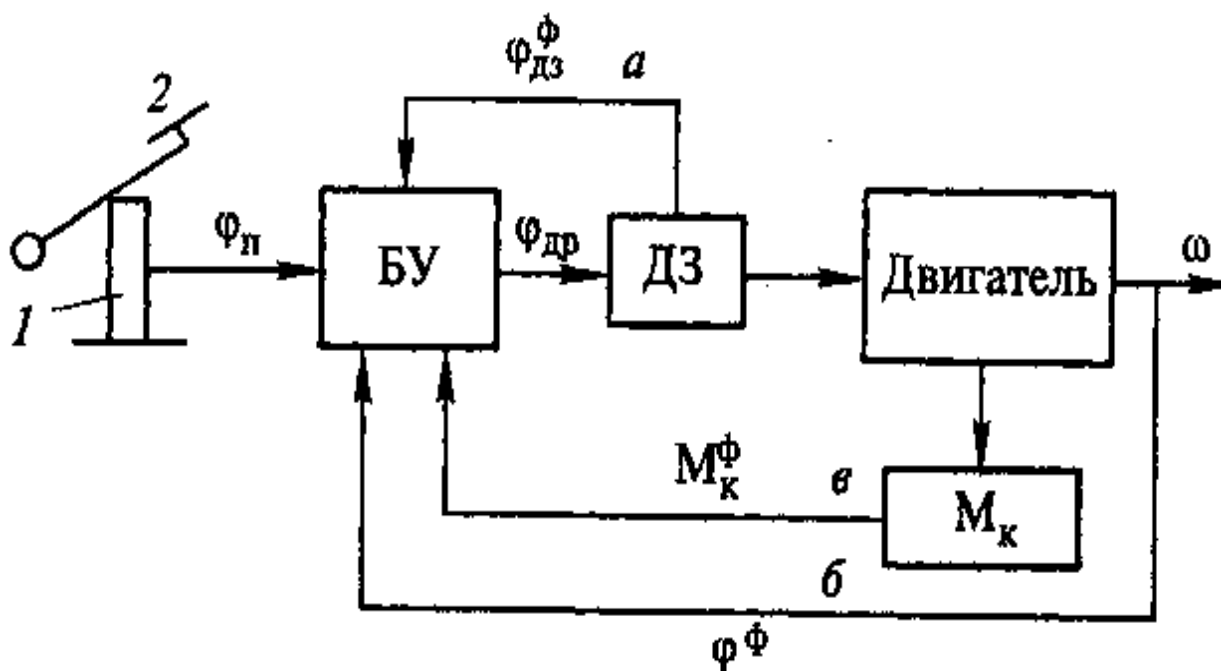


Рисунок 6.5 – Автоматизация управления дроссельной заслонкой (замкнутое регулирование): а – по положению заслонки; б – по частоте вращения вала; в – по величине крутящего момента. Фактическое значение параметра – индекс ϕ ; 1 – датчик положения педали; 2 – педаль водителя

Когда педаль водителя связана с задатчиком, а электронный регулятор при помощи электропривода осуществляет замкнутое управление открытием дроссельной заслонки, возможны три способа осуществления обратной связи.

1. Если задатчик, установленный на педали, определяет величину перемещения дроссельной заслонки, а время перемещения педали – скорость ее открытия, то преимущества такой системы по сравнению с механическим приводом связаны с возможностью точного поддержания заданного открытия заслонки при наличии обратной

связи по датчику положения заслонки. При этом можно программно управлять перемещением дроссельной заслонки во времени и прогнозировать ее положение, что позволяет осуществить контроль протекания переходных процессов и улучшить динамическое управление двигателем.

2. Если задатчик устанавливает заданную частоту вращения и обратная связь осуществляется по скорости вращения вала двигателя, то появляется возможность автоматизации поддержания скорости движения автомобиля.

3. Если же задатчик устанавливает величину крутящего момента, а для обратной связи используются измеренные или вычисленные значения крутящего момента, то появляется возможность не только строить управление по величине крутящего момента, но и использовать адаптивные обучающие алгоритмы. Это связано с тем, что при известном значении крутящего момента достаточно просто определить оптимальное значение угла опережения зажигания или состава горючей смеси и др. При этом появляется возможность создавать самонастраивающиеся системы, учитывающие изменение состояния двигателя в процессе эксплуатации.

Второе направление совершенствования управления мощностью связано с развитием новых способов воздействия на работу двигателя. Так, изменять мощность двигателя можно изменением открытия впускных клапанов, рабочего объема цилиндров (хода поршня) и др., отключением цилиндров или рабочих циклов.

6.4.5 Локально-замкнутое и адаптивное управление

Основным недостатком программного управления является сложность учета при управлении изменения внешних и внутренних факторов, которые не могут быть проконтролированы. Так, затруднительно корректировать управление с учетом износа двигателя, отложений нагара, изменения характеристик датчиков и т. д.

Как указывалось, в отдельных контурах современных ЭСУ используется замкнутое управление. В ДсИЗ оно обычно применяется дополнительно к программному разомкнутому управлению и выполняет частные функции стабилизации, ограничения или адаптации.

Поэтому можно говорить об использовании программного управления с локально-замкнутыми контурами.

К таким локально-замкнутым контурам при управлении ДсИЗ можно отнести:

- замкнутое управление УОЗ, обеспечивающее снижение УОЗ в случае возникновения детонации в двигателе;
- замкнутое управление подачей топлива по сигналу датчика состава смеси (λ -зонду), позволяющее с высокой точностью поддерживать стехиометрический состав горючей смеси ($\alpha \approx 1,0$);
- поддержание постоянного заданного значения $n_{xx \min}$ при изменении внешней нагрузки на двигатель (изменение нагрузки на генератор, включение кондиционера и т. п.), что достигается регулированием количества поступающего в двигатель воздуха при соответствующей коррекции управления топливоподачей и зажиганием;
- управление давлением и температурой наддувочного воздуха (рис. 6.6);
- замкнутое управление клапаном рециркуляции ОГ с обратной связью по сигналу датчика перемещения клапана, позволяющее более точно поддерживать величину открытия клапана, задаваемую программой.

В дизелях помимо использования замкнутого управления частотой вращения в основном контуре также используются локально-замкнутые контуры и в частности:

- замкнутое управление опережением впрыскивания топлива с обратной связью по сигналу датчика, установленного на форсунке;
- регулирование давления и температуры наддувочного воздуха (рис. 6.7);
- управление давлением впрыскивания топлива;
- управление температурой жидкости в системе охлаждения;
- управление рециркуляцией отработавших газов и др.

Проблема учета изменения состояния двигателя и внешних условий в процессе эксплуатации наиболее полно решается при использовании адаптивных систем управления.

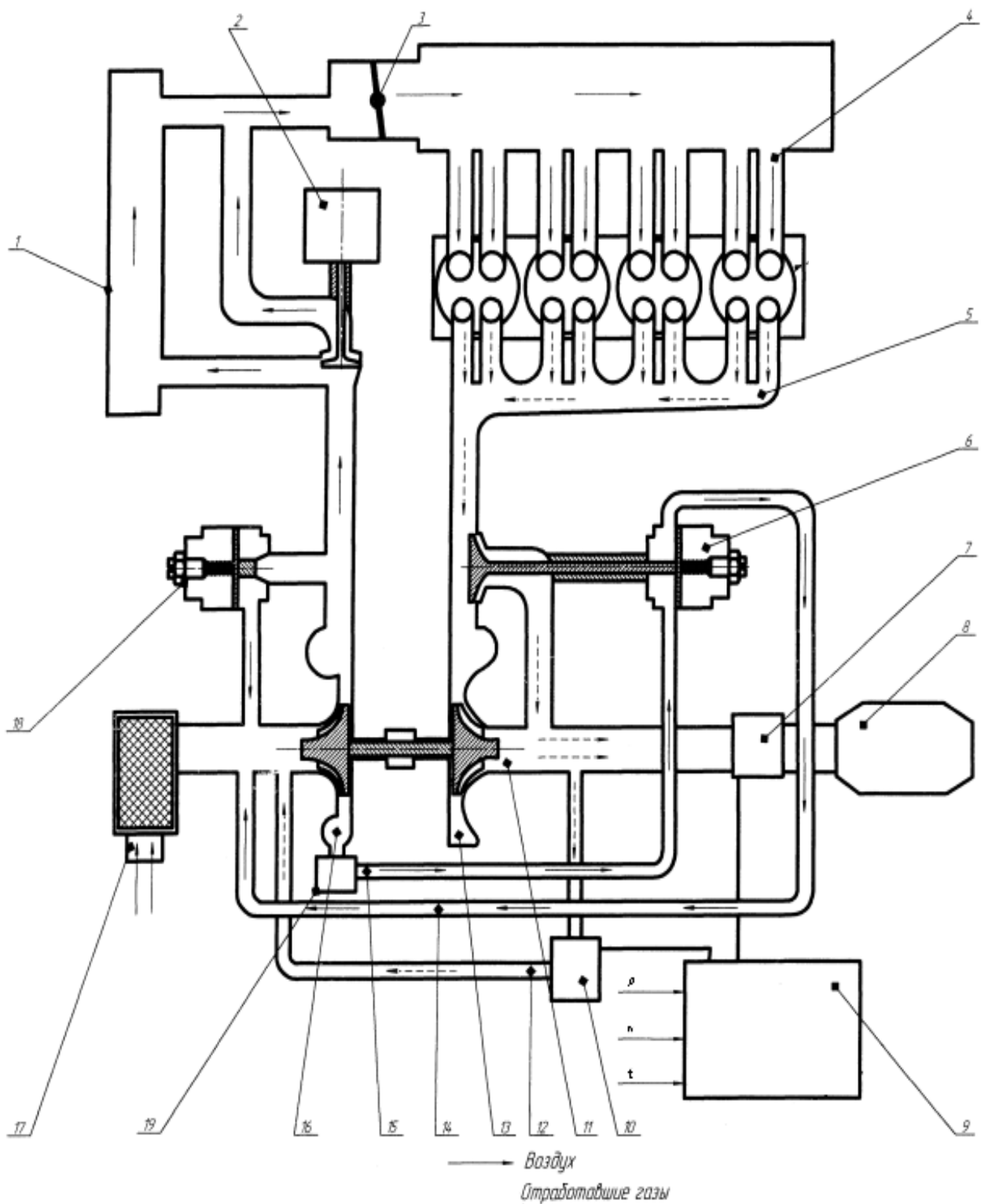


Рисунок 6.6 – Схема управления наддувом двигателя с искровым зажиганием: 1 – охладитель НВ; 2, 6, 18, 19 – клапаны перепуска НВ; 3 – дроссельная заслонка; 4 – впускной коллектор; 5 – выпускной коллектор; 7 – λ -зонд; 8 – нейтрализатор; 9 – ЭБУ; 10 – клапан рециркуляции ОГ; 11 – канал отвода; 12 – канал рециркуляции ОГ; 13 – турбина; 14 – возвратный канал; 15 – воздушный канал; 16 – компрессор; 17 – воздухоочиститель

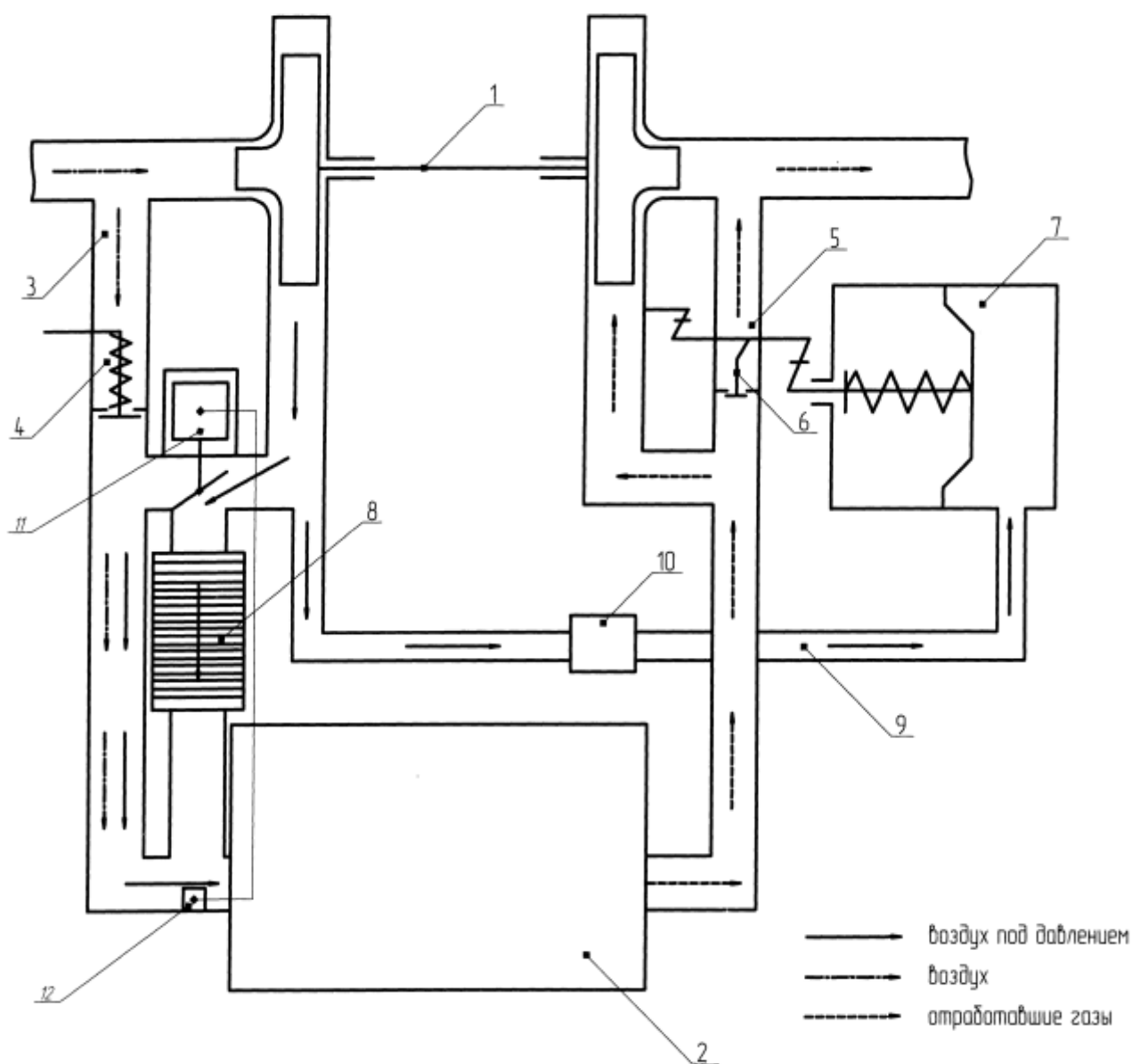


Рисунок 6.7 – Схема управления наддувом дизельного двигателя:
 1 – турбокомпрессор; 2 – двигатель; 3, 5 – обводные каналы;
 4 – автоматический воздушный клапан; 6 – перепускной клапан;
 7 – пневмоцилиндр; 8 – охладитель наддувочного воздуха;
 9 – магистраль управления системой; 10 – кран; 11 – датчик температуры воздуха; 12 – механизм отключения ОНВ

ЭСУ автотракторных двигателей следует отнести к адаптивным системам управления, так как при изменении режима работы, теплового состояния двигателя и ряда других факторов в них происходит изменение и структуры, и алгоритмов, и программ управления. Однако для большинства контуров управления эти изменения происходят по специальным, заранее заложенным программам и значениям

управляющих воздействий на основе информации о контролируемых изменениях условий. Поэтому такие системы можно классифицировать как *программно-адаптивные ЭСУ*. По мере совершенствования ЭСУ в отдельных контурах все чаще используют другой способ адаптивного управления, при котором фактические значения управляющих воздействий при изменении условий заранее не задаются, а устанавливаются лишь требования к качеству управления двигателем, выполнение которых должна обеспечить ЭСУ. Такие системы, в зависимости от структуры и алгоритма, называются адаптивными самонастраивающимися или самоорганизующимися.

6.5 Многопараметрическое управление двигателем

Развитие методов управления рабочими процессами двигателя. Ужесточение требований к топливной экономичности и экологическим показателям автомобилей и тракторов привели к разработке ряда новых способов управляемого воздействия на протекание процессов в двигателях. Современные системы позволяют воздействовать на процессы газообмена, топливоподачи, распыливания топлива и смесеобразования. Имеется возможность влиять на движение заряда в цилиндре, протекание сгорания и образование токсичных веществ, на работу турбокомпрессора, на эффективность нейтрализации ОГ. Разрабатываются конструкции двигателей с изменяемыми в процессе работы степенью сжатия, рабочим объемом цилиндра, числом работающих цилиндров, тактностью.

Некоторые из способов, например, регулируемый наддув с промежуточным охлаждением воздуха, распределенное фазированное впрыскивание топлива в ДсИЗ, управление давлением впрыскивания топлива и законом подачи в дизелях, рециркуляцией ОГ и т. п., уже нашли широкое распространение. Такие способы, как управление скоростью вихревого движения заряда, газодинамической настройкой впускного тракта, изменением подъема клапанов и фаз газораспределения, расслоением заряда, отключением цилиндров и циклов, регулирование температуры жидкости в системе охлаждения в процессе работы, выдержали эксплуатационную проверку и уже используются на новых выпускаемых моделях.



Рисунок 6.8 – Информационное обеспечение и функции комплексной системы управления дизелем с аккумуляторной системой питания

Новые методы управления рабочими процессами создают условия для дальнейшего совершенствования двигателей за счет оптимизации показателей на каждом режиме его работы. При этом возникли и новые проблемы, связанные с разработкой систем, реализующих связанное многопараметрическое управление двигателем с учетом многих критериев качества его работы. Более сложным стал процесс доводки двигателя в комплексе с системой управления. Все это потребовало создания новых технологий, рассчитанных на широкое использование вычислительной техники и автоматизированных исследовательских комплексов.

Комплексные МСУ с многопараметрическим управлением рабочими процессами. Современные ЭСУ осуществляют многопараметрическое управление работой двигателя. Помимо управления мощностью и качеством протекания рабочих процессов ЭСУ контролирует включение ряда устройств и систем, диагностирует работу ЭСУ и работу двигателя. На рисунках 6.8 и 6.9 показаны информаци-

онное обеспечение и функции, выполняемые комплексными ЭСУ дизелем и ДсИЗ автомобиля.



Рисунок 6.9 – Информационное обеспечение и функции комплексной системы управления бензиновым двигателем с распределенным впрыскиванием топлива

Несмотря на ряд принципиальных различий в способах построения управления ДсИЗ и дизелями, тенденции развития их ЭСУ аналогичны.

Для возможности выполнения указанных выше функций на вход систем поступает информация не только от большого числа датчиков, установленных на двигателе, но и по каналам связи от других систем автомобиля. Происходит постепенная интеграция ЭСУ ДВС с системой управления автомобилем и трактором.

По мере разработки новых способов управления рабочими процессами двигателей и новых датчиков для получения необходимой информации функции управления и диагностирования, выполняемые ЭСУ, быстро расширяются.

Совершенствование микропроцессорной техники обеспечивает увеличение интеллектуальных возможностей ЭСУ и позволяет создавать системы, использующие все более сложные и совершенные методы и алгоритмы управления.

Контрольные вопросы

1. Назовите основные задачи управления автотракторным двигателем.
2. Что понимается под термином «концепция двигателя»?
3. Назовите основные причины использования электронного управления двигателем.
4. Назовите основные типы воздействий на автотракторный двигатель.
5. Что характеризуют выходные показатели двигателя?
6. Какие функции выполняют управляющие воздействия на двигатель?
7. Почему двигатель следует рассматривать как стохастический объект управления?
8. Назовите основные принципы автоматического управления двигателями, в чем их различие?
9. Какие элементы входят в состав электронной системы управления двигателем?
10. Назовите основные функции электронной системы управления двигателем.
11. В чем особенности управления ДсИЗ с внешним смесеобразованием и непосредственным впрыскиванием?
12. Назовите особенности управления мощностью автотракторных двигателей.
13. Назовите особенности основных направлений развития электронного управления двигателем.
14. Расскажите об особенностях управления турбонаддувом ДсИЗ.
15. Назовите особенности регулируемого турбонаддува автотракторных дизелей.
16. Назовите особенности информационного обеспечения и функции комплексной системы управления ДсИЗ.
17. В чем особенности информационного обеспечения и функций комплексной системы управления дизелем с аккумуляторной системой питания?

7 ОРГАНИЗАЦИЯ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ ДВИГАТЕЛЕЙ

7.1 Общие сведения и требования безопасности

7.1.1 Общие сведения

Стендовые испытания автотракторных двигателей предусмотрены рабочими программами дисциплин «Тракторы и автомобили» и «Испытание и регулирование автотракторных двигателей» учебных планов бакалавров и магистров направления подготовки «Агроинженерия».

Предлагаемые лабораторные работы способствуют практическому усвоению изложенного в настоящем учебном пособии материала по испытаниям автотракторных двигателей в определенном рабочей программой объеме изучаемых дисциплин.

Целью лабораторных работ является получение студентами практических знаний и приобретение навыков и умений в области стендовых испытаний и регулирования (управления) автотракторных двигателей для эффективного использования и повышения надежности.

7.1.2 Перечень лабораторных работ

1. Обоснование параметров, техническое обслуживание и проверка обкаточно-тормозного стенда.

2. Стендовая обкатка и приемочные испытания тракторного дизеля и автомобильного двигателя с искровым зажиганием после ремонта.

3. Определение дымности отработавших газов автотракторного дизеля.

4. Стендовые испытания тракторного дизеля.

4.1. Нагрузочная (по подаче топлива) характеристика.

4.2. Внешняя скоростная характеристика.

4.3. Внешняя регуляторная характеристика.

4.4. Регулировочная характеристика по давлению на впуске.

4.5. Регулирование дизеля со свободным впуском на постоянную мощность.

5. Стендовые испытания автомобильного двигателя с искровым зажиганием.

5.1. Регулировочная характеристика по составу смеси.

5.2. Регулировочная характеристика по углу опережения зажигания на разных топливах.

5.3. Внешняя скоростная характеристика на разных топливах.

5.4. Определение условной мощности механических потерь.

7.1.3 Подготовка и организация стендовых испытаний двигателей

Перед испытаниями необходимо изучить устройство и работу обкаточно-тормозного стенда, техническую характеристику испытуемого двигателя, правила пользования лабораторной установкой; ознакомиться с приборами и измерительной аппаратурой для определения при испытаниях параметров двигателя и окружающей среды; проверить комплексность и надежность крепления двигателя на стенде, соединения топливопроводов и трубопроводов, работу измерительных устройств и аппаратуры.

До начала испытаний необходимо усвоить методику их выполнения и основные эксплуатационные регулировки двигателя, содержание и порядок заполнения соответствующих разделов отчета по лабораторным работам.

Перед снятием каждой характеристики измеряются и заносятся в протокол испытания температура t_0 , давление p_0 , и влажность ϕ_0 окружающего воздуха.

Лабораторные работы выполняются подгруппой; общее руководство испытаниями осуществляет преподаватель. Он распределяет обязанности, руководит подготовкой лабораторной установки и испытаниями двигателя, контролирует качество выполнения студентами своих обязанностей.

При снятии характеристик рекомендуется организация следующих рабочих мест:

1) пуск и остановка стенда, регулирование нагрузки и скоростного режима двигателя;

2) регистрация температуры и давления масла в системе смазки двигателя;

3) измерение расхода топлива;

- 4) измерение расхода воздуха;
- 5) измерение температуры охлаждающей жидкости и отработавших газов;
- 6) измерение параметров окружающей среды;
- 7) обработка результатов, оформление протокола испытаний и построение графической зависимости.

Перед началом измерений на каждом заданном режиме двигателя должен проработать 3-5 мин для стабилизации измеряемых параметров.

Измерение всех параметров в каждом опыте производится одновременно по сигналу руководителя (преподавателя).

7.1.4 Требования охраны труда при выполнении лабораторных работ

На первом занятии студенты изучают правила техники безопасности, которые следует неукоснительно выполнять во время проведения испытаний.

Запрещается в лаборатории испытаний двигателей пользоваться открытым огнем, хранить топлива и масла.

Общие требования безопасности.

1. Студенты допускаются к выполнению лабораторных работ только после прохождения инструктажа по охране труда в лаборатории на каждом рабочем месте. Проводит инструктаж ведущий преподаватель. О результатах инструктажа на рабочем месте производится запись в специальном журнале с обязательной подписью студентов, прослушавших инструктаж, и лица, проводившего инструктаж.

2. К проведению испытаний при выполнении лабораторной работы студенты могут приступить только после ознакомления с устройством и правилами использования тормозных стендов, приборов и оборудования, прохождения у преподавателя допускового контроля знаний, правил безопасного выполнения экспериментов.

3. При выполнении лабораторных работ возможно воздействие следующих опасных факторов: физических (повышенное напряжение в электрических цепях (127-220-380 V)); химических (наличие в воздухе паров дизельного топлива, бензина, сжиженного газа, отработавших газов); психофизиологических (повышенный шум и вибрация стендового оборудования).

4. Для устранения или доведения опасных и вредных производственных факторов до безопасных и безвредных величин (ПФК и ПФУ) в лаборатории предусмотрены следующие средства защиты:

- приточно-вытяжная вентиляция;
- отвод отработавших газов по газопроводам;
- установка защитных кожухов на вращающихся узлах привода;
- установка резинотканевых демпферов между двигателями и рамой станда; рамой станда и основанием (полом);
- заземление, зануление и автоматическое выключение стандового оборудования;
- использование специальной одежды (халаты).

5. Лаборатория оснащена аптечкой для оказания первой медицинской помощи, огнетушителями ОВХП-10, ОП-2, ящиками с песком и кошмой.

6. При несчастном случае немедленно сообщить о случившемся преподавателю. Студенты должны знать правила и уметь оказать пострадавшему первую медицинскую помощь.

7. Студенты, грубо нарушившие требования безопасности, отстраняются от выполнения работ до особого решения кафедры.

Требования безопасности перед началом работ

Перед выполнением лабораторной работы необходимо:

проверить исправность всего лабораторного оборудования, средств защиты и пожаротушения;

проверить надежность крепления всех приборов и защитных кожухов, экранов, сеток и т.п.;

проверить, свободен ли доступ к общему распределительному щиту и выключателям электроустановок;

убрать из рабочей зоны посторонние предметы и неиспользуемые приборы и инструменты, надеть спецодежду и другие средства индивидуальной защиты.

Требования безопасности во время работы

На занятиях следует выполнять только ту работу, которая предусмотрена заданием преподавателя и под контролем учебного мастера.

Подача электрического тока и отключение его через общий рубильник производится только учебным мастером.

Не оставлять без присмотра работающие установки, электроизмерительные и нагревательные приборы.

Во избежание поражения электрическим током запрещается касаться руками клемм, соединений и других токоведущих деталей.

Во избежание ожогов запрещается касаться нагретых до высокой температуры деталей двигателя, особенно коллекторов и трубопроводов.

Пуск двигателя проводить только по указанию преподавателя и после подачи специального сигнала.

Запрещается включение электрического тормозного стенда с погруженными в раствор электродами реостата. Электроды реостата должны быть выведены из раствора, когда стенд не работает.

Запрещается вращение ротора стенда с частотой более 3000 мин^{-1} во избежание аварии стенда.

Техническое обслуживание и регулировки, устранение появившихся во время работы неисправностей проводить только после останова двигателя.

Требования безопасности в аварийных ситуациях

При любых неисправностях приборов, электроустановок, нагреве проводов, посторонних шумах, запахах гари, дыма, ненормальном стуке в двигателе, тормозном стенде или других агрегатах, немедленно прекратить работу и сообщить об этом преподавателю и учебному мастеру.

В случае воспламенения горючей жидкости пламя следует гасить с помощью специальной кошмы с огнестойкой пропиткой и при необходимости воспользоваться углекислотным или порошковым огнетушителем.

При проливе нефтепродуктов немедленно прекратить работу, сообщить об этом преподавателю, организовать уборку, проветривание и ликвидировать аварийное состояние.

При травме или отравлении оказать пострадавшему помощь и сообщить в медпункт или вызвать скорую помощь.

Требования безопасности по окончании работы

Выключить электропитание всех приборов и электрооборудования.

Выключить двигатель и закрыть кран топливоподающей магистрали.

Навести порядок на рабочем месте. Используемые приборы, инструменты, справочно-методическую литературу сдать лаборанту или учебному мастеру.

Снять спецодежду, индивидуальные средства защиты и выполнить правила личной гигиены.

7.2 Оборудование и приборы для стендовых испытаний двигателей

7.2.1 Устройство и техническая характеристика лабораторной установки для испытаний дизеля

Установка для стендовых испытаний дизеля представляет комплекс, включающий обкаточно-тормозной стенд КИ-5540М, дизель Д-240, контрольно-измерительные устройства для замера расхода топлива и воздуха, регистрации параметров окружающей среды и отработавших газов.

Обкаточно-тормозной стенд и двигатель установлены на специальной платформе и соединены между собой карданным валом.

Пуск стенда и двигателя, их остановка, изменение нагрузки реостатом и подачи топлива дизеля осуществляются с пульта дистанционного управления.

На пульте управления расположены манометры и термометры для контроля давления и температуры масла в системе смазки, наддувочного воздуха, охлаждающей жидкости и отработавших газов испытуемого двигателя, кнопки «пуск» и «стоп» управления стендом, кнопки «выше» и «ниже» (тумблер) исполнительного механизма реостата, сигнальные лампы и тумблер дистанционного управления рейкой топливного насоса.

В таблице 7.1. приведена техническая характеристика лабораторной установки.

Таблица 7.1 – Техническая характеристика лабораторной установки для испытания дизеля

Наименование параметров	Обозначение	Значение параметров
1	2	3
<i>Стенд обкаточно-тормозной КИ-5540М</i>		
Электродвигатель привода	4АНК 26250М4ТЗ	Балансирный асинхронный с фазным ротором
Мощность тормозная	N_T	110
Частота вращения синхронная, мин ⁻¹	n_c	1500
Измерения и пределы регулирования частоты вращения: в моторном режиме, мин ⁻¹ в генераторном режиме, мин ⁻¹	Электронный тахометр 7ТЭ-М4 $n_{\text{мотор}}$ $n_{\text{ген}}$	400-1400 1600-3000
Реостат нагрузочный		Жидкостный $V_6=640\text{л}$
<i>Двигатель испытуемый Д-240</i>		
Число цилиндров и порядок их работы	i	4/1-3-4-2
Диаметр цилиндра и ход поршня, мм	D/S	110/125
Литраж двигателя, дм ³	V_{hi}	4,75
Степень сжатия	ξ	16
Номинальная эксплуатационная мощность, кВт при частоте вращения, мин ⁻¹	N_{e3} / n_H	59/2200
Удельный расход топлива при номинальной мощности, г/(кВт*ч)	g_{eH}	241
Частота вращения коленвала: максимальная холостого хода, мин ⁻¹ при максимальном крутящем моменте, мин ⁻¹	$n_{x \max}$ n_M	2380 1600-1700
Коэффициент запаса крутящего момента номинальный, %	μ	15
Угол опережения впрыскивания топлива, град	θ	26
Моторное масло / летом / зимой / ГОСТ 17479.1-85	–	М-10-В ₂ / М-8-В ₂

1	2	3
<i>Измерение расхода топлива</i>		
Весы бытовые, цена деления 5 г	НРБ-3	–
Секундомер, цена деления 0,01 с	NO.4504-2	–
<i>Расходомер воздуха</i>		
Тип датчика	Трубка ПИТО-Прандтля	–
Тип регистрирующего устройства	Микроманометр ММН-240	–
<i>Датчики температуры ТХК/ТХА</i>		
Пределы измерений, °С	t	0-1400 0-400
Регистрирующее устройство	КСП-4	–
<i>Приборы для измерения параметров окружающей среды</i>		
Температура, °С	Психрометр t ₀	0-45
Влажность воздуха, %	φ ₀	0-100
Давление окружающей среды, кПа	Барометр-анероид БАММ-1 В ₀	80-106
Дымность отработавших газов дизеля: в единицах коэффициента поглощения, м ⁻¹ ; в единицах коэффициента ослабления, %	Дымомер Мета-01, МП 0.1 К N	0,00–∞ 0,0–100,0

7.2.2 Установка для испытаний двигателя с искровым зажиганием

Установка для лабораторных испытаний ДСИЗ состоит из обкаточно-тормозного стенда КИ-5543, двигателя УМЗ-451М, устройств для замера расхода топлива и воздуха, контрольных и измерительных устройств для замера температур и давлений.

Обкаточно-тормозной стенд и двигатель установлены на специальной платформе. Коленчатый вал двигателя через муфту сцепле-

ния, первичный вал коробки передач автомобиля УАЗ-3151 и карданную передачу соединен с валом стенда.

Рычаги управления дроссельной, воздушной заслонками карбюратора, тумблер включения зажигания и кнопка сигнала выведены на отдельную панель.

В таблице 7.2 приведена техническая характеристика лабораторной установки.

Таблица 7.2 – Техническая характеристика лабораторной установки для испытаний ДсИЗ

Наименование параметров	Обозначение	Значение параметров
1	2	3
<i>Стенд обкаточно-тормозной КИ-5543</i>		
Электродвигатель привода	АКБ-82-4	Балансирный асинхронный с фазным ротором
Мощность тормозная, кВт	N_T	55
Частота вращения синхронная, мин ⁻¹	n_c	1500
Измерения и пределы регулирования частоты вращения: в моторном режиме, мин ⁻¹ в генераторном режиме, мин ⁻¹	$n_{\text{мот}}$ $n_{\text{ген}}$	400-1400 1600-3000
Реостат нагрузочный		Жидкостный
<i>Двигатель испытываемый УМЗ-451М</i>		
Число цилиндров и порядок их работы	i	4/1-2-4-3
Диаметр цилиндра и ход поршня, мм	D/S	92/92
Литраж двигателя, дм ³	V_{hi}	2,445
Степень сжатия	ξ	6,7
Мощность нетто (гарантируемая), кВт при максимальной рабочей частоте вращения, мин ⁻¹	$N_H^{\text{max}} / n_{\text{max}}$	55,16/4000
Удельный расход топлива на режиме N_H^{max} , г/(кВт*ч)	$g_{\text{ен}}$	312,8
Максимальный крутящий момент нетто, Н м	$M_{\text{к max}}$	166,7

1	2	3
Частота вращения при максимальном крутящем моменте, мин ⁻¹	n_m	2000-2500
Карбюратор системы питания	К-151	–
Топливо ГОСТ 2084-77	–	А-80
Масло ГОСТ 858-78	–	М-8Б ₁
<i>Измерение расхода топлива</i>		
Весы бытовые ВНЦ, ГОСТ 7327-75	–	0-1000
Секундомер СОПр-2Б. 2-000 ГОСТ-5072, с	–	–
<i>Расходомер воздуха</i>		
Тип датчика	Трубка ПИТО-Прандтля	–
Тип регистрирующего устройства	Микроманометр ММН-240	–
<i>Измерения параметров окружающей среды</i>		
Температура, °С	Психрометр t_0	0-45
Влажность воздуха, %	φ_0	0-100
Давление окружающей среды, кПа	Барометр-анероид БАММ-1 V_0	80-106

7.2.3 Управление стендом и двигателем при испытаниях

Перед пуском стенда и двигателя необходимо открыть расходный кран на топливном баке, поставить в положение «двигатель» кран расходомера топлива и рычаг регулятора частоты вращения (управления дросселем ДсИЗ) установить в положение выключенной подачи топлива (положение 0).

Для пуска стенда и двигателя выполнить последовательно следующие операции.

1. В силовом электрошкафе стенда включить пакетный переключатель. При этом на панели шкафа стенда загорается сигнальная лампа «Напряжение подано», электроды реостата автоматически выводятся из электролита и загорается сигнальная лампа «Электроды реостата выведены».

2. Включить кнопкой «Пуск» магнитный пускатель стенда, при этом подается напряжение на обмотки статора стенда, включается центробежный насос реостата и загорается сигнальная лампа «стенд включен».

3. Поворотом маховичка исполнительного механизма реостата по часовой стрелке ввести электроды реостата в электролит и обеспечить на валу ротора стенда момент, достаточный для проворачивания коленчатого вала с частотой вращения $400-500 \text{ мин}^{-1}$ при давлении в системе смазки двигателя не менее $0,1 \text{ МПа}$.

4. Переводом рычага управления регулятором в положение «1» (подача топлива включена) обеспечить пуск двигателя и вывести электроды реостата из электролита. У ДСИЗ включить зажигание и частично открыть дроссель.

5. Рычагом управления регулятором (дросселем) установить частоту вращения $1800-2000 \text{ мин}^{-1}$, достаточную для перевода стенда в генераторный режим, и обеспечить частичную загрузку двигателя для прогрева.

6. Рычагом управления регулятором (дросселем) перевести двигатель на максимальный частичный (до 3000 мин^{-1}) скоростной режим работы, при этом степень загрузки двигателя обеспечивать изменением погружения электродов реостата в электролит.

Для остановки стенда необходимо:

7. Рычагом управления регулятором (дросселем) установить частичный ($1200-1500 \text{ мин}^{-1}$) скоростной режим работы двигателя.

8. Вывести электроды реостата из электролита. При этом на панели шкафа загорается сигнальная лампа «Электроды реостата выведены».

9. Плавно перевести рычаг регулятора (дросселя) в положение «0» – остановка.

10. Кнопкой «Стоп» на панели шкафа отключить электромашину стенда.

8 ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

8.1 Лабораторная работа №1

Обоснование параметров, техническое обслуживание и поверка обкаточно-тормозного стенда

Цель работы. Ознакомление с устройством, освоение методики обоснования параметров и приобретение практических навыков по техническому обслуживанию и поверке электрического обкаточно-тормозного стенда КИ-5540М (КИ-5543М).

8.1.1 Содержание работы

1. Изучить общее устройство и режимы работы обкаточно-тормозного стенда на базе асинхронной балансирной электрической машины.

2. Ознакомиться с устройством и работой оборудования и приборов стенда для измерения силовых и скоростных параметров.

3. По техническим характеристикам выбрать модель стенда для обкатки и испытаний двигателей _____, графически показать режимы их совместной работы при обкатке и приемо-сдаточных испытаниях двигателей _____.

4. Обосновать параметры редуктора согласования (мультипликатора) к обкаточно-тормозному стенду _____ для обкатки и приемо-сдаточных испытаний _____. Графически показать режимы их совместной работы.

5. Обосновать параметры и схему гидравлического догрузателя к обкаточно-тормозному стенду _____ для испытаний двигателей _____.

6. Выполнить операции ежедневного технического обслуживания обкаточно-тормозного стенда _____.

7. Выполнить операции периодических технических обслуживания обкаточно-тормозного стенда _____.

8. Изучить последовательность и основные средства поверки обкаточно-тормозных стендов.

9. Выполнить поверку обкаточно-тормозного стенда _____ в последовательности, изложенной в п. 2.4.2. По ре-

результатам поверки оформить протокол и свидетельство о поверке стенда.

8.1.2 Оборудование рабочего места

1. Обкаточно-тормозные стенды.
2. Технические характеристики стендов и автотракторных двигателей.
3. Комплект слесарного инструмента.
4. Смазочные материалы и технические жидкости.
5. Компрессор.
6. Средство поверки.

8.1.3 Отчет о лабораторной работе

Отчет по лабораторной работе включает развернутые ответы (с необходимыми графическими зависимостями) на 3, 4 и 5 вопросы подпункта 8.1.1, протокол поверки и свидетельство о поверке обкаточно-тормозного стенда.

Таблица 8.1 – Протокол N поверки обкаточно-тормозного стенда N

Заводской N _____ дата выпуска _____
предприятие-изготовитель _____
принадлежащего _____ (наименование организации) _____

1. Метрологические характеристики
(наименование и значение основных метрологических характеристик)

2. Наименование и обозначение типов используемых средств поверки и их номер

3. Условия проверки _____

4. Результаты поверки

Показания шкалы устройства для измерения крутящего момента в проверенной точке	Масса гирь при возрастающем и убывающем значениях момента, кг		Действительное значение момента, Нм		Погрешность	
	m_{Vi}	m_{yi}	M_{Vi}	M_{yi}	абсолютная, Нм	относительная, %
100						
150						
200						
250						
300						
350						
400						

5. Заключение на основании результатов поверки

_____ к применению годен (не годен)
в качестве рабочего средства измерения

Поверку проводил (должность) _____ (ФИО)

Дата поверки _____

Таблица 8.2 – Свидетельство о периодической ведомственной поверке обкаточно-тормозного стенда

Заводской N _____

Дата выпуска _____

Принадлежащего _____ (наименование организации)

Основные метрологические характеристики

1. Диапазон измерения $M_{кр}$ (Мт), Нм – _____

2. Цена деления шкалы циферблата, Нм – _____

3. Относительная погрешность измерения $M_{кр}$ –

По результатам периодической поверки

(протокол № _____ от _____ 20__ г.

стенд признан годным к применению в качестве рабочего средства измерения.

Очередную поверку провести не позднее _____

Руководитель организации, проводившей проверку _____

Форма записи результатов поверки

1. Отклонение указателя устройства для измерения крутящего (тормозного) момента от нулевой отметки шкалы делений не более _____.

2. Расстояние от оси вращения электромашины до линии действия силы, создающей крутящий (тормозной) момент при юстировке стенда, мм _____.

3. Предел относительной погрешности стенда при измерении крутящего (тормозного) момента, % _____.

Поверку проводил _____ ФИО (подпись)

8.2 Лабораторная работа №2

Стендовая обкатка и испытания автотракторных двигателей после ремонта

Цель работы. Изучение методики и получение практических навыков по обкатке и приемо-сдаточным испытаниям дизельных и бензиновых двигателей.

8.2.1 Содержание работы

(Рекомендуется выполнять отдельно по дизелю и ДсИЗ)

1. Изучить требования к дизельным и бензиновым двигателям, поступающим на обкатку и испытания, содержание основных этапов стендовой обкатки и приемо-сдаточных испытаний.

2. Провести обкатку дизельного (бензинового) двигателя.
3. Провести приемо-сдаточные испытания дизельного и бензинового двигателей.
4. Привести параметры испытанных двигателей к стандартным условиям и сделать заключение о их соответствии техническим требованиям.

8.2.2 Оборудование рабочего места

1. Обкаточно-тормозные стенды К-5540М и КИ-5543М.
2. Дизель Д-240 и ДсИЗ ЗМЗ-402 (УМЗ-451М).
3. Комплект слесарного инструмента, ГСМ и технические жидкости.
4. Приборы и устройства для определения продолжительности и режимов работы двигателей, а также параметров окружающей среды.

8.2.3 Отчет о лабораторной работе

Отчет по обкатке и испытанию дизельного двигателя включает результаты обкатки (формы 3.1-3.2), журнал и протокол приемо-сдаточных испытаний, а также ответы на контрольные вопросы.

Отчет по обкатке и испытанию ДсИЗ включает контрольную карту обкатки двигателя, протокол приемо-сдаточных испытаний двигателя и ответы на контрольные вопросы.

Журнал приемо-сдаточных испытаний дизельного двигателя

Параметры	Усл. обозн.	Размерность	Значение параметров
1	2	3	4
Номер, модель и модификация дизеля			
Номер и марка топливного насоса			
Частота вращения коленчатого вала:			
номинальная	n_n	мин^{-1}	
максимальная холостого хода	$n_{xx \max}$	мин^{-1}	
минимальная холостого хода	$n_{xx \min}$	мин^{-1}	
Крутящий момент (нагрузка)	M_k	$\text{Н}^*\text{м}$	
Номинальная мощность	N_{en}	кВт	

1	2	3	4
Расход топлива:			
контрольная доза топлива	$G_{оп}$	г	
продолжительность расхода дозы топлива	$\tau_{оп}$	с	
часовой расход топлива	G_T	г/с	
удельный расход топлива	g_e	г/(кВт*ч)	
Температура:			
охлаждающей жидкости	$t_{ож}$	°С	
масла	t_M	°С	
топлива	t_T	°С	
Давление масла (при максимальной и минимальной частоте вращения коленвала)	P_M	МПа	
Атмосферное давление	P_o	МПа	
Температура воздуха	t_o	°С	
Относительная влажность воздуха	δ_o	%	
Выявленные дефекты			
Подпись испытателя			
Подпись инженера-контролера			
Дата и примечания			

КОНТРОЛЬНАЯ КАРТА обкатки ДсИЗ

Дата:

Условия обкатки: $P_o =$ МПа; $t_o =$ °С; $\phi_o =$ %.

Начало обкатки _____; Конец обкатки _____;

Продолжительность _____.

Параметр	Условное обозначение	Размерность	Значения параметров
Модель двигателя			
Заводской номер двигателя			
Режимы холодной обкатки:			
частота вращения КВ	$n_{дв}$	мин ⁻¹	
температура охл. жидкости	$t_{ж}$	°С	
давление масла	P_m	МПа	
Режимы горячей обкатки на холостом ходу:			
частота вращения коленвала	$n_{дв}$	мин ⁻¹	
температура охл. жидкости	$t_{ж}$	°С	
давление масла	P_m	МПа	
Режимы горячей обкатки под нагрузкой:			
температура охл. жидкости	$t_{ж}$	°С	
частота вращения коленвала/нагрузка:	$\frac{n_{дв}}{P_d}$	$\frac{\text{мин}^{-1}}{\text{Н}}$	
I ступень			
II ступень			
III ступень			
IV ступень			
V ступень			
VI ступень			
давление масла	P_m	МПа	
Выявленные дефекты			
Подпись моториста			
Подпись контролера			

ПРОТОКОЛ приемо-сдаточных испытаний двигателя

Дата:

Условия обкатки: $P_o =$ МПа; $f_o =$ °С; $\delta_o =$ %.

Начало обкатки _____; Конец обкатки _____;

Продолжительность _____.

Параметр	Условное обозначение	Единица измерения	Значения параметров
Модель двигателя			
Заводской номер двигателя			
Температура охл. жидкости	$t_{ж}$	°С	
Работа при переменных нагрузках: частота вращения/мощность	$\frac{n_{дв}}{N_{дв}}$	$\frac{\text{мин}^{-1}}{\text{МПа}}$	
Параметры холостого хода: минимальная частота вращения холостого хода на х.х.	$\frac{n_{xx}^{\min}}{P_m^{\min}}$	$\frac{\text{мин}^{-1}}{\text{МПа}}$	
максимальная частота вращения холостого хода и давления масла	$\frac{n_{xx}^{\max}}{P_m^{\max}}$	$\frac{\text{мин}^{-1}}{\text{МПа}}$	
Параметры на контрольном нагрузочно-скоростном режиме при:			
мощность/нагрузка	$\frac{N_{дв}}{P_d}$	$\frac{\text{кВт}}{\text{Н}}$	
давление масла	P_m	Мпа	
Приведенная к стандартным условиям мощность	$N_{дв}^n$	кВт	
Продолжительность пуска двигателя от стартера	τ	с	
Оптимальный угол опережения зажигания	φ	град	
Выявленные дефекты			
Заключение			

8.3 Лабораторная работа №3

Определение дымности отработавших газов автотракторного дизеля

Цель работы. Определение дымности отработавших газов автотракторного дизеля при стендовых испытаниях по 13-режимному циклу.

8.3.1 Содержание работы

1. Изучить назначение, устройство и принцип действия дымомера Мета-01. МП 0.1.

2. Изучить методику измерения дымности отработавших газов дизельного двигателя.

3. Определить показатель дымности отработавших газов K на заданных режимах работы дизеля.

4. Построить графическую зависимость дымности отработавших газов дизеля от оборотов коленчатого вала и крутящего момента.

5. Дать оценку влияния параметров регуляторной характеристики дизеля на показатель дымности отработавших газов.

Определение и графическое изображение зависимости K от $n_{дв}$, M_k и g_e позволяет выявить закономерность формирования показателя дымности на различных режимах работы дизеля.

8.3.2 Методика определения дымности отработавших газов дизеля

Запустить стенд и дизель в последовательности, приведенной в п. 7.2.3. Прогреть дизель под нагрузкой до температуры охлаждающей жидкости 73-85°C.

Обеспечить очистку системы выпуска отработавших газов. Для этого необходимо переместить за 0,5-1 с рычаг управления подачей топлива с минимального до максимального положения, повторяя данную операцию 3-4 раза.

Измерение K на максимальных оборотах холостого хода дизеля

Включить дымомер и дождаться его прогрева (на дисплее в течение 7-10 с появится надпись «ПРОГРЕВ ЖДИТЕ»). После прогрева прибора на дисплее появится «РЕЖ». Для измерения на режиме максимальных оборотов холостого хода необходимо выбрать «ТЕК» и подтвердить кнопкой «ВЫБОР», после чего будет показан заряд аккумуляторной батареи (БАТ ХХХ %) и появится строка [K : = 0,00 1/м]. Сделать и записать в протокол испытаний не менее четырех замеров дымности, помещая пробозаборник дымомера в глушитель дизеля на 100-150 мм и удерживая не более 5 с. Перед каждым опытом необходимо выдерживать время автоматической корректировки нуля прибора, что может занять 5-10 с.

Измерение K на заданных нагрузочных режимах работы дизеля

Наружный рычаг регулятора установить в положение, соответствующее максимальной подаче топлива. Рукояткой реостата произвести загрузку и установить необходимую частоту вращения коленчатого вала. После выхода на заданный установившийся режим зафиксировать текущее значение дымности отработавших газов по аналогии с измерением K на максимальных оборотах холостого хода дизеля. Количество опытов на каждом рабочем режиме не менее трех.

8.3.3 Оборудование рабочего места

1. Обкаточно-тормозной стенд КИ-5540М.
2. Дизельный двигатель.
3. Дымометр Мета-01. МП.01.
4. Приборы и устройства для определения режимов работы дизеля и параметров окружающей среды.

8.3.4 Отчет о лабораторной работе

Отчет по лабораторной работе включает результаты измерения дымности ОГ дизеля на разных режимах и графические зависимости дымности от скоростного и нагрузочного режимов работы.

Форма протокола испытаний

Испытательная организация, место проведения и вид испытаний

1 Марка дизеля, заводской номер и наработка

2 Предприятие-изготовитель дизеля

3 Марка дизельного топлива, на котором проводили испытания

4 Дымность дизеля, м⁻¹ или %, – нормы и значения, полученные во время испытаний: на установленных режимах:

Частота вращения коленчатого вала дизеля, мин ⁻¹	Условный расход воздуха, дм ³ /с	Норма дымности, м ⁻¹ или %	Результат определения дымности, м ⁻¹ или %
n _{xx max} 2250 2200 1900 1800 1700	$G_B \approx \frac{V_h \cdot i \cdot n}{30t}$	Таблицы 1 и 2 ГОСТ 17.2.2.02-98	

5 Тип, марка дымометра и его изготовитель

6 Решение о соответствии или несоответствии дизеля, трактора или машины требованиям настоящего стандарта

Ответственный за испытания

должность, ФИО

Подпись

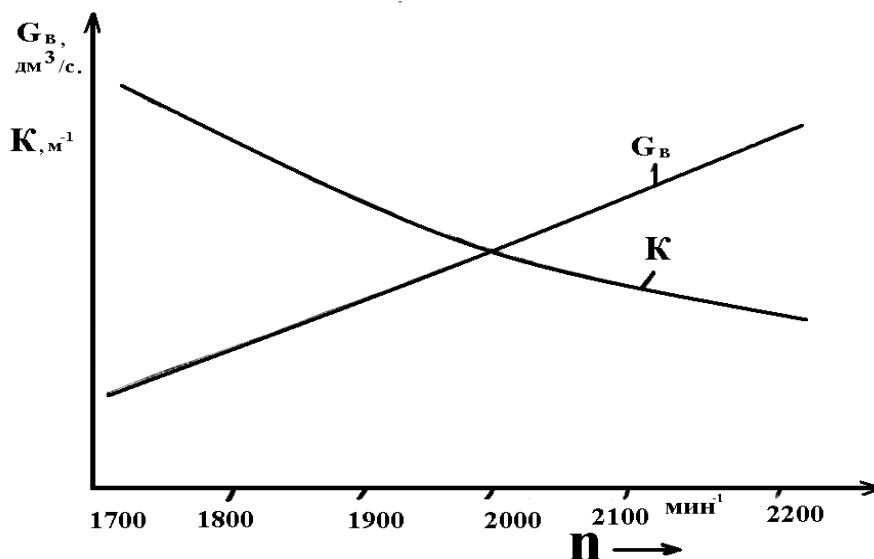


Рисунок 8.1 – Зависимость дымности ОГ дизеля от нагрузочно-скоростного режима работы

8.4 Лабораторная работа №4

Определение характеристик тракторного дизеля

8.4.1 Регулировочная характеристика дизеля по подаче топлива (нагрузочная)

Цель работы. Определение зависимостей эффективной мощности, удельного расхода топлива, коэффициента избытка воздуха и других показателей двигателя от массового расхода топлива при постоянной (номинальной) частоте вращения коленчатого вала.

Определение и графическое изображение зависимостей N_e , g_e , $\alpha=f(G_T)$ при $n=n_n$ необходимо для установления оптимальной (номинальной) подачи топлива насосом, обеспечивающей длительную работу двигателя без перегрева с наиболее полным использованием теплоты, полученной при сгорании топлива.

Методика снятия характеристики

Запустить стенд и двигатель, выполнив последовательно операции, указанные в п. 7.2.3. Прогреть дизель под нагрузкой до температуры охлаждающей жидкости 75-85 °С.

При полностью выведенных электродах реостата установить наружным рычагом регулятора частоту вращения коленвала $n_x = 2000 \text{ мин}^{-1}$ и закрепить в этом положении рейку топливного насоса зажимом. Ограничитель хода рейки установить в положение, обеспечивающее увеличенный ход рейки насоса.

Во время опыта замерить и занести в протокол испытаний момент на динамометре M_k , массовый расход топлива G_T , динамический напор в расходомере воздуха l_B давление масла, температуру охлаждающей жидкости $t_{ож}$ и окружающей среды t_o .

При пользовании автоматизированным расходомером определяется время расходования $T_{оп}$ контрольной навески топлива $G_{оп}$ по электросекундомеру.

Во втором опыте переместить рейку насоса на 1,0-1,5 мм в сторону увеличения подачи топлива. Увеличив загрузку двигателя реостатом, установить вновь частоту вращения коленвала 2000 мин^{-1} . После стабилизации скоростного и нагрузочного режимов замерить указанные выше параметры.

Третий и последующие опыты проводить, перемещая рейку насоса каждый раз примерно на такую же величину, что и во втором опыте. Изменением загрузки двигателя в каждом опыте поддерживать заданную частоту вращения коленвала.

В протоколе отметить появление серого дыма в отработавших газах (начало дымления).

Последний опыт провести при положении рейки топливного насоса, соответствующем наибольшей мощности двигателя. При этом дым должен быть темно-серого цвета, переходящий в черный (степень дымности более 60%). *Работа дизеля на этом режиме недопустима.*

После окончания последнего опыта (всего должно быть не менее шести-восьми опытов) характеристику снять повторно в обратном порядке, уменьшая ход рейки в каждом последующем опыте примерно на одну и ту же величину.

По результатам замеров рассчитать и занести в протокол испытаний значения N_e , g_e , α . По полученным данным построить характеристику по подаче топлива.

Выбор оптимальной регулировки подачи топлива

Анализ регулировочной характеристики по подаче топлива (рис. 8.2) позволяет выделить два характерных режима:

1 – режим наибольшей экономичности; соответствует минимальному удельному эффективному расходу топлива $g_{e \min}$ (максимальному эффективному КПД) двигателя. Характеризуется полным и бездымным сгоранием топлива. Для автотракторных дизелей этому режиму соответствует $\alpha = 1,4-1,9$ и нагрузка 75-80% от полной;

2 – режим максимальной мощности достигается при $\alpha = 1,2-1,3$ и характеризуется сильным дымлением, вследствие ухудшенного смесеобразования, увеличенного расхода топлива и неполного его сгорания.

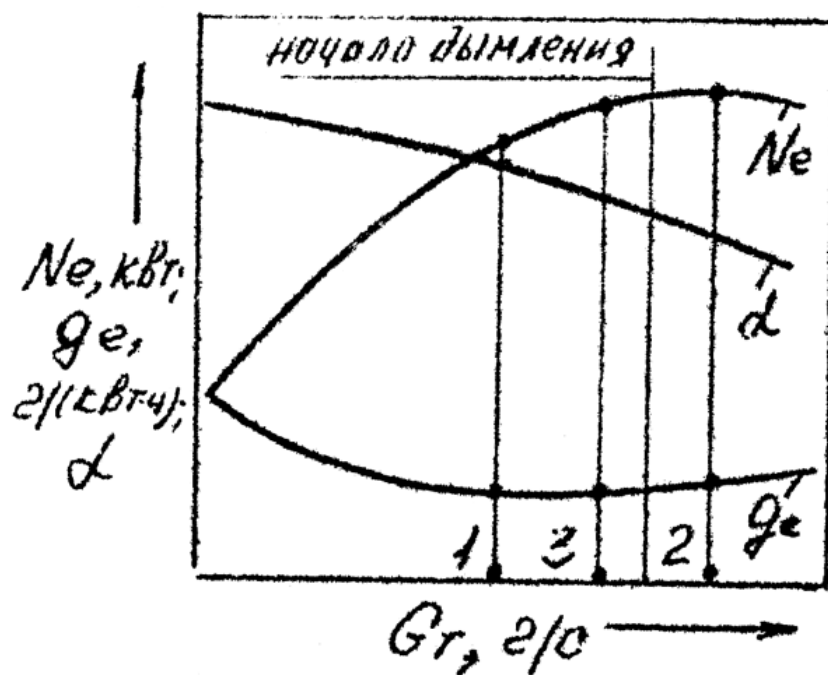


Рисунок 8.2 – Регулировочная характеристика дизеля по подаче топлива

Между режимами 1 и 2 находится оптимальная регулировка расхода топлива, при которой дизель развивает максимально допустимую (номинальную) мощность, установленную техническими условиями.

Оптимальная регулировка подачи топлива (режим 3) может быть определена из условия $g_e / N_e = \min$. Однако в этом случае не обеспечивается достаточный запас крутящего момента. Поэтому номинальную подачу топлива (режим 3) устанавливают несколько ни-

же, исходя из обеспечения необходимого коэффициента приспособляемости по крутящему моменту K_M и исключения дымности отработавших газов. При такой регулировке номинальная мощность двигателя составляет примерно 90% от мощности на режиме начала дымления $\alpha = (1,3-1,4)$ [4].

Изложенный способ регулировки дизеля на номинальную подачу топлива практически применяется на предприятиях по изготовлению и ремонту дизельных двигателей.

Протокол испытаний

Цель

Краткая методика снятия нагрузочной характеристики.

Протокол испытания двигателя _____: температура воздуха _____ °С; барометрическое давление _____ МПа; температура охлаждающей жидкости _____ °С; давление масла _____ МПа.

№ п/п	$n_{дв}, \text{мин}^{-1}$	$M_k, \text{Нм}$	$l_b, \text{мм}$	$t_b, \text{°С}$	$N_e, \text{кВт}$	$G_m, \text{г/с}$	$g_e, \text{г/(кВтч)}$	$G_b, \text{г/с}$	$\rho_0, \text{кг/м}^3$	α
1										
2										
...										
n										

Основные параметры нагрузочной характеристики (по подаче топлива) дизеля _____

Режим работы дизеля	$G_m, \text{г/с}$	α	$N_e, \text{кВт}$	$g_e, \text{г/(кВтч)}$	$M_k, \text{Нм}$
Режим максимальной мощности, $N_{e \max}$					
Режим наивысшей топливной экономичности $g_{e \min}$					
Оптимальная регулировка $N_{e \text{opt}}$					
Начало видимого дымления					

8.4.2 Внешняя скоростная характеристика дизеля

Цель. Определение зависимостей эффективной мощности, крутящего момента, массового и удельного расходов топлива от частоты вращения коленвала двигателя при неизменном положении рейки топливного насоса.

Определение и графическое изображение зависимостей N_e , M_k , G_T , g_e , $\alpha = f(n)$ позволяет выявить динамические и экономические показатели двигателя и установить эксплуатационный скоростной режим, ограниченный зоной максимального крутящего момента и максимальной (номинальной) мощности.

Различают следующие виды скоростной характеристики:

внешнюю, получаемую при положении рейки насоса, соответствующем номинальной подаче топлива (определяется по регулировочной характеристике);

частичную, получаемую при промежуточном положении рейки; *начала дымления* (характеристика предела дымления), получаемую при положении рейки, соответствующем началу видимого дымления на каждом скоростном режиме;

предельную, получаемую при положении рейки, соответствующем значительному дымлению на каждом скоростном режиме.

Методика снятия внешней скоростной характеристики

После пуска прогреть дизель до температуры охлаждающей жидкости 75-85 °С.

Наружным рычагом регулятора включить полную подачу топлива и, нагружая реостатом, установить номинальную частоту вращения $n_x = 2200 \text{ мин}^{-1}$ коленвала двигателя. Зажимом закрепить рейку топливного насоса.

Плавное увеличение нагрузки, установить минимально устойчивую частоту вращения коленвала (1300-1400 мин^{-1}). После стабилизации скоростного режима замерить и занести в протокол испытаний значения M_k , G_T , I_B , $t_{ож}$, t_M , t_B , t_0 .

Во втором и последующих опытах проводить замеры параметров при увеличении частоты вращения коленвала каждый раз на 100-150 мин^{-1} , что достигается уменьшением нагрузки тормозного стенда. В последнем опыте двигатель должен работать с наименьшей

нагрузкой при частоте вращения коленвала на 100-200 мин⁻¹ больше номинальной.

Всего должно быть не менее восьми опытов. После окончания последнего опыта постепенно повышают нагрузку тормоза и ведут испытания в обратном порядке.

По результатам замеров рассчитать и занести в протокол испытаний значения N_e , M_k , g_e , G_T , по которым построить внешнюю скоростную характеристику.

Для более полного отражения рабочего процесса двигателя на характеристике показывают зависимости коэффициента избытка воздуха и температуры отработавших газов.

Анализ характеристики

Анализ внешней скоростной характеристики (рис. 8.3) позволяет выделить следующие скоростные режимы:

1 – предельный режим устойчивой работы двигателя при наибольшей нагрузке n_{min} . При снижении частоты вращения ниже предельной двигатель работает неустойчиво и глохнет;

2 – режим максимального крутящего момента n_M . Зона 1-2 в условиях эксплуатации практически не используется;

3 – режим минимального удельного эффективного расхода топлива. На этом режиме обеспечивается наиболее полное сгорание топлива;

4 – номинальный режим, установленный заводом-изготовителем n_N ;

5 – режим максимальной мощности n_N .

В зоне 2-5 по мере снижения частоты вращения коленвала несколько увеличивается крутящий момент и уменьшается удельный расход топлива. Это обусловлено тем, что, несмотря на уменьшение цикловой подачи топлива при снижении скоростного режима, увеличивается коэффициент наполнения и повышается коэффициент избытка воздуха.

В зоне 4-5 возможно появление дыма в отработавших газах из-за сокращения продолжительности смесеобразования при повышении скоростного режима.

Исходя из изложенного, эксплуатационный скоростной режим на внешней характеристике целесообразно ограничить зоной 2-4 ($n_M - n_N$).

Пологое протекание кривой крутящего момента снижает приспособляемость дизеля к перегрузкам и приводит к недоиспользованию его мощности при работе с неустановившимися нагрузками. Для частичного устранения этого недостатка у автотракторных и комбайновых дизелей применяют корректоры, которые за счет дополнительного перемещения рейки увеличивают подачу топлива при перегрузке. Это повышает коэффициент приспособляемости по крутящему моменту и улучшает динамические качества двигателя.

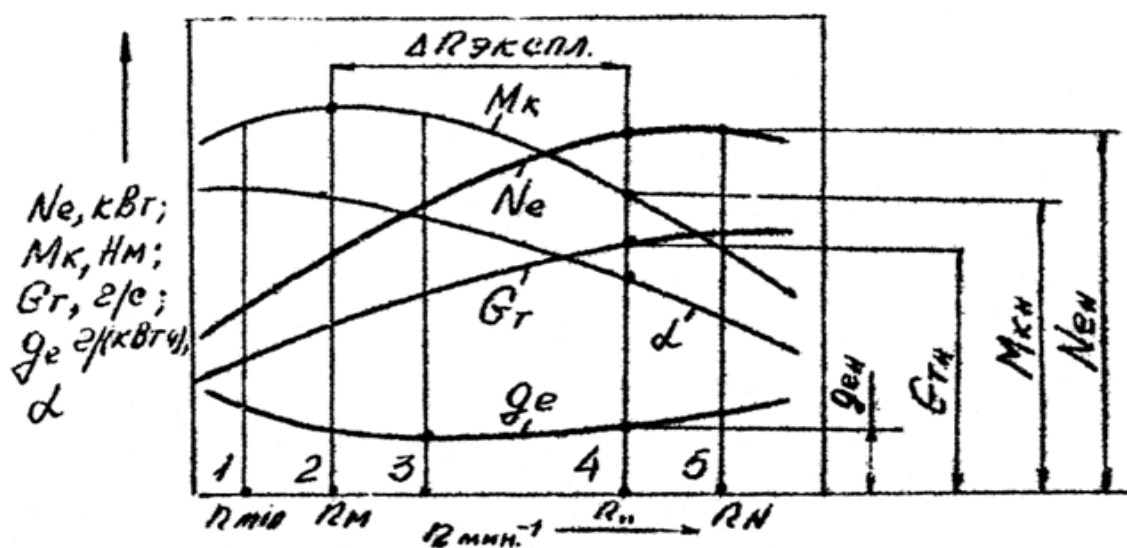


Рисунок 8.3 – Внешняя скоростная характеристика дизеля

Протокол испытаний

Цель:

Краткая методика снятия скоростной характеристики без регулятора.

Протокол испытания двигателя _____: температура воздуха _____ °С; барометрическое давление _____ МПа; температура охлаждающей жидкости _____ °С; давление масла _____ МПа.

№ п/п	$n_{дв},$ $мин^{-1}$	$M_k,$ Нм	$l_B,$ мм	$t_B,$ °С	$N_e,$ кВт	$G_m,$ г/с	$g_e,$ г/(кВтч)	$G_B,$ г/с	$\rho_0,$ кг/м ³	α
1										
2										
...										
n										

Основные параметры скоростной характеристики

Скоростной режим дизеля	$n_{дв}$, мин ⁻¹	N_e , кВт	g_e , г/(кВтч)	M_k , Нм	α	K_M	M_k , %
Режим максимальной мощности, $N_{e\ max}$							
Режим наивысшей топливной экономичности $g_{e\ min}$							
Оптимальная регулировка $N_{e\ opt}$							

8.4.3 Внешняя регуляторная характеристика дизеля

Цель. Определение зависимостей эффективной мощности, крутящего момента, массового и удельного расходов топлива от частоты вращения коленвала двигателя при неизменном положении органов управления всережимным регулятором.

Определение и графическое изображение зависимостей N_e , M_k , G_T , $g_e = f(n)$ позволяют наиболее полно оценить мощностные, экономические и динамические показатели двигателя на регуляторе, а также тяговые и динамические характеристики машин различных типов и назначений.

Различают следующие виды регуляторной характеристики:

внешнюю, получаемую при положении наружного рычага регулятора, соответствующем полной подаче топлива;

частичную, получаемую при промежуточном положении рычага регулятора, соответствующем частичной подаче топлива.

Методика снятия внешней регуляторной характеристики

После пуска прогреть дизель до температуры охлаждающей жидкости: 75-85 °С. Регуляторную характеристику целесообразно снимать, начиная с режима холостого хода и заканчивая областью глубоких перегрузок при частоте вращения коленвала, составляющей не более 85% частоты вращения при максимальном крутящем моменте. Наружный рычаг регулятора устанавливается в положение, соответствующее максимальной подаче топлива.

Первый опыт провести без нагрузки. Электроды реостата должны быть полностью выведены из электролита. После стабилизации скоростного режима замерить и занести в протокол испытаний значения n , M_k , G_T , $t_{ож}$, t_M , t_B , t_0 .

Во втором опыте двигатель загрузить реостатом приблизительно до $0,25 N_{ен}$ и через 2-3 мин замерить вышеуказанные параметры.

Третий и четвертый опыты провести при нагрузках, соответствующих примерно $0,5 N_{ен}$ и $0,75 N_{ен}$.

Пятый опыт провести на режиме номинальной мощности $N_{ен}$ при n_H (для Д-240 $n_H = 2200 \text{ мин}^{-1}$).

Для выявления характера протекания корректорной ветви характеристики последующие опыты провести при частотах вращения коленчатого вала соответственно: $n_H - 100$; $n_H - 200$; $n_H - 300$; $n_H - 400$; $n_H - 500$; $n_H - 600 \text{ мин}^{-1}$.

Продолжительность опытов при режимах перегрузки следует сократить, поскольку при них двигатель испытывает значительные механические и тепловые напряжения. После окончания последнего опыта испытания ведут в обратном направлении, снижая нагрузку до нуля.

По результатам замеров рассчитать и занести в протокол испытаний значения $N_{ен}$, M_k , g_e , по которым построить регуляторную характеристику.

Анализ характеристики

Анализ регуляторной характеристики (рис. 8.4) позволяет выделить следующие режимы:

1 – режим предельно минимальной частоты вращения коленвала n_{min} ;

2 – режим максимального крутящего момента n_M ;

3 – режим минимального удельного расхода топлива находится между режимами максимальным крутящим моментом и номинальным;

4 – номинальный режим n_H , установленный предприятием-изготовителем, при котором двигатель развивает максимальную на регуляторе (номинальную) мощность;

5 – режим начала действия регулятора n_p ;

6 – режим максимальной частоты вращения, коленвала на холостом ходу $n_{x \max}$. На этом режиме мощность и крутящий момент равны нулю, а расход топлива G_{Tx} составляет 25-30% от номинального.

Кривые регуляторной характеристики состоят из двух ветвей – регуляторной (от $n_{x \max}$ до n_H) и корректорной (от n_H до $n_{x \max}$).

Динамические свойства и приспособляемость двигателя к преодолению кратковременных перегрузок без перехода на низшую передачу оценивают коэффициентом приспособляемости по крутящему моменту K_M и коэффициентом приспособляемости по частоте вращения.

Относительный диапазон измерения частоты вращения коленвала при работе дизеля на регуляторной ветви оценивается степенью неравномерности регулятора δ_p .

Протокол испытаний

Цель:

Краткая методика снятия скоростной характеристики с регулятором.

Протокол испытания двигателя _____: температура воздуха ____°С; барометрическое давление ____ МПа; температура охлаждающей жидкости _____°С; давление масла _____ МПа.

№ п/п	$n_{дв}, \text{мин}^{-1}$	$l_B, \text{мм}$	$t_B, ^\circ\text{C}$	$N_e, \text{кВт}$	$G_m, \text{г/с}$	$g_e, \text{г/(кВтч)}$	$\rho_0, \text{кг/м}^3$	α
1								
2								
...								
n								

Параметры скоростной характеристики с регулятором _____

Режим работы дизеля	$N_e, \text{кВт}$	$n_{дв}, \text{мин}^{-1}$	$G_T, \text{г/с}$	$g_e, \text{г/(кВтч)}$	$M_k, \text{Нм}$	α	K_M	$M_k, \%$	$\delta, \%$	K_o
Номинальный, N_{eH}										
Максимального крутящего момента, $M_{k \max}$										
Максимальной частоты вращения холостого хода, $n_{xH \max}$										

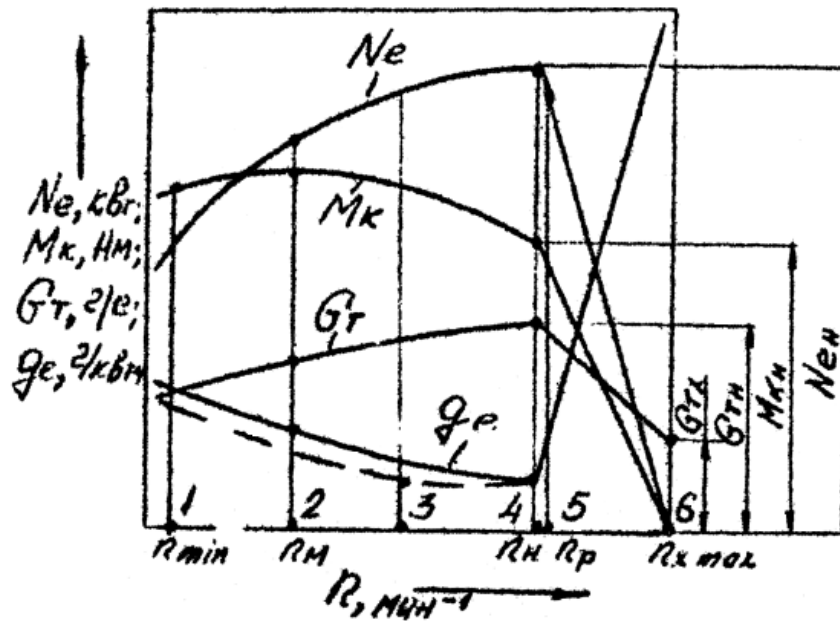


Рисунок 8.4 – Регуляторная характеристика дизеля

8.4.4 Регулировочная характеристика дизеля по давлению на впуске

Цель. Определение зависимостей эффективной мощности, удельного расхода топлива, коэффициента избытка воздуха от сопротивления комбинированной системы очистки воздуха ΔP_{Σ} дизеля.

Определение и графическое изображение зависимостей N_e , g_e , $\alpha = f(\Delta P_{\Sigma})$ позволяет установить допустимое сопротивление воздухоочистителя.

Методика снятия характеристики

После пуска и прогрева дизеля установить рычаг регулятора в положение, соответствующее полной подаче топлива, и реостатом загрузить до номинального режима ($n_n = 2200 \text{ мин}^{-1}$). После стабилизации скоростного режима замерить и занести в протокол испытаний значения P_y , G_T , l_b , ΔP_{Σ} .

Во втором опыте переместить на 1/3 хода рычаг заслонки, установленной во впускном тракте дизеля для имитации сопротивления воздухоочистителя, от нулевого положения (заслонка открыта) в сторону ее закрытия. Изменением нагрузки установить вновь номиналь-

ную частоту вращения коленвала и после ее стабилизации замерить указанные выше параметры.

Третий и четвертый опыты провести, переместив рычаг заслонки соответственно на 2/3 хода и в положение «закрыто», поддерживая изменением нагрузки номинальную частоту вращения коленвала.

После окончания четвертого опыта, перемещая рычаг заслонки в обратном направлении примерно на одну и ту же величину, определить повторно параметры двигателя.

По результатам замеров рассчитать и построить зависимости N_e , g_e , $\alpha = f(\Delta P_\Sigma)$.

Обоснование допустимого сопротивления воздухоочистителя

Анализ полученных зависимостей (рис 8.5) позволяет определить влияние сопротивления воздухоочистителя на эффективные показатели двигателя и установить допустимую его величину, Допустимое сопротивление воздухоочистителя, вызванное его загрязнением для всех дизелей, должно быть не более 7000 Па.

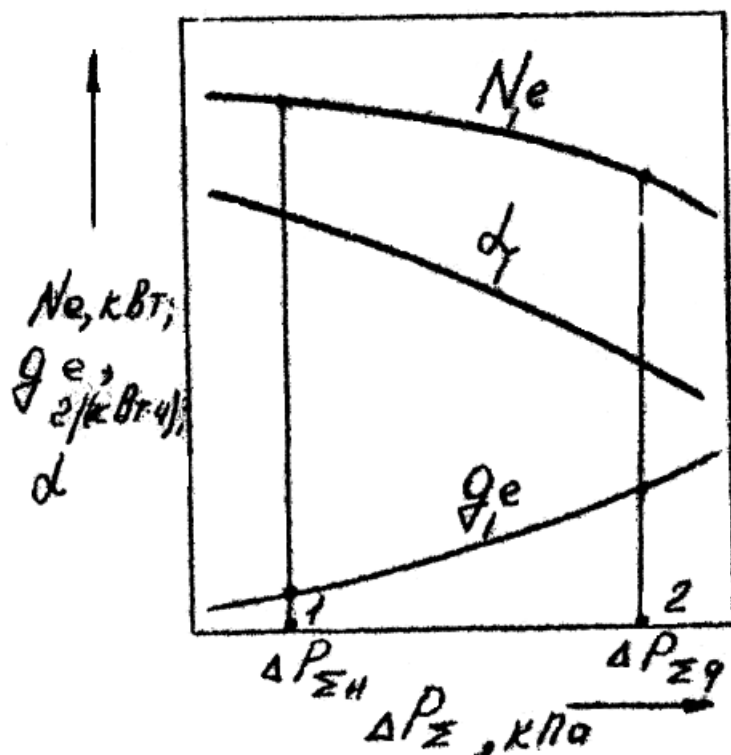


Рисунок 8.5 – Влияние сопротивления воздухоочистителя на эффективные показатели двигателя

Режим 1 соответствует начальному сопротивлению воздухоочистителя (2,6-4,0 кПа), а режим 2 – допустимому (7,0 кПа).

Допустимый в эксплуатации диапазон ΔP_{Σ} находится в интервале ($\Delta P_{\Sigma q} - \Delta P_{\Sigma n}$) и определяет возможную наработку воздухоочистителя до достижения сопротивления. Чем шире интервал ($\Delta P_{\Sigma q} - \Delta P_{\Sigma n}$), тем больше наработка до технического обслуживания воздухоочистителя.

Протокол испытаний

Цель:

Краткая методика снятия характеристики.

Протокол испытания двигателя _____: барометрическое давление _____ МПа; температура охлаждающей жидкости _____ °С; температура воздуха _____ °С;

№ п/п	ΔP_{Σ} , кПа	M_k , Н*м	G_T , г/с	l_B , мм	N_e , кВт	g_e , г/(кВтч)	G_B , г/с	α
1								
2								
...								
n								

8.5 Лабораторная работа №5

Определение характеристик автомобильного двигателя с искровым зажиганием

8.5.1 Регулировочная характеристика по составу смеси

Цель работы. Определение зависимостей эффективной мощности, удельного расхода топлива, коэффициента избытка воздуха, других показателей двигателя от массового расхода топлива при постоянной частоте вращения коленчатого вала.

Определение и графическое изображение зависимостей N_e , g_e , $\alpha = f(G_T)$ при $n = \text{const}$ необходимо для установления оптимальной регулировки подачи топлива карбюратором или форсунками. Расход топлива во время опытов изменяют при помощи иглы основного

жиклера. Дроссельную заслонку при этом устанавливают в положение полного открытия.

Методика снятия характеристики

Проверить и установить лимб октан-корректора прерывателя-распределителя зажигания на отметку «Ноль».

Ввернуть, а затем вывернуть на 7 (семь) оборотов регулировочную иглу жиклера главной дозирующей системы карбюратора.

Запустить стенд и двигатель, прогреть двигатель до температуры охлаждающей жидкости 70-80 °С.

В первом опыте при полностью открытой дроссельной заслонке, увеличивая нагрузку двигателя, реостатом установить частоту вращения коленчатого вала $n_{дв} = 2500 \pm 5 \text{ мин}^{-1}$.

После стабилизации скоростного режима работы двигателя замерить и занести в протокол испытаний усилие на тормозе P_y , время $\tau_{оп}$ сгорания установленной на опыт навески топлива $G_{оп}$, динамический напор воздуха I_v по микроманометру, температуру масла, охлаждающей жидкости, окружающей среды и барометрическое давление.

Во втором опыте ввернуть иглу жиклера на 0,5 оборота. Изменив нагрузку двигателя реостатом, установить вновь частоту вращения коленчатого вала двигателя 2500 мин^{-1} . После стабилизации скоростного и нагрузочного режимов замерить указанные выше параметры.

Третий и последующие опыты проводить, вворачивая иглу жиклера каждый раз на 0,5 оборота в сторону уменьшения расхода топлива. Изменением нагрузки двигателя тормозом в каждом опыте поддерживать заданную частоту вращения.

Последний опыт провести на самом обедненном составе горючей смеси, при котором еще возможна устойчивая работа двигателя в данном скоростном режиме. После этого характеристику снимают в обратном порядке, отвертывая регулировочную иглу жиклера-карбюратора в каждом последующем опыте на 0,5 оборота.

По результатам замеров рассчитать и занести в протокол испытаний значения N_e , g_e , α . По полученным данным построить характеристику по составу смеси.

Выбор оптимальной регулировки карбюратора

Анализ регулировочной характеристики по составу смеси (рис. 8.6) позволяет выделить две характерные регулировки карбюратора:

1 – соответствует наиболее экономичному режиму работы двигателя при $g_{e \min}$ и $\eta_{e \max}$, что достигается приготовлением в карбюраторе бедной смеси ($\alpha = 1,05-1,15$) и наиболее полным превращением теплоты сгораемого топлива в индикаторную работу. Эффективная мощность двигателя на этом режиме $N_{e g_{e \min}} = (0,85 - 0,90)N_{e \max}$;

2 – соответствует режиму максимальной мощности, который достигается при $\alpha = 0,8-0,9$. Имеет место неполное сгорание топлива из-за недостатка кислорода, при максимальной скорости сгорания. Экономичность двигателя ухудшается на 15-20%.

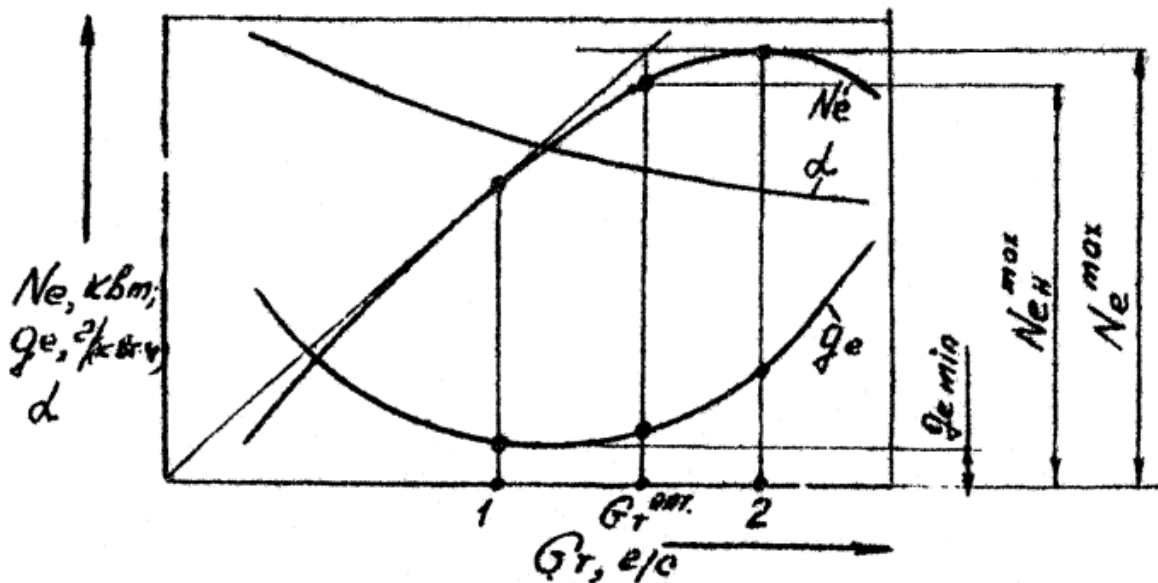


Рисунок 8.6 – Регулировочная характеристика ДсИЗ по составу смеси

Между регулировками 1 и 2 находится оптимальная регулировка карбюратора (режим G_T^{opt}), при которой двигатель развивает максимально допустимую (номинальную) мощность, установленную техническими условиями. Она может быть определена из условия $g_e/N_e = \min$.

Для установления оптимальной регулировки карбюратора можно применять способ двух касательных или способ треугольника. Способ двух касательных к кривой $N_e = f(G_T)$ заключается в следую-

щем. Из начала координат (см. рис. 8.6) к кривой $N_e = f(G_T)$ проводят первую касательную. Точка касания соответствует режиму минимального удельного расхода топлива. Из точки максимальной мощности параллельно оси абсцисс проводят вторую касательную к кривой $N_e = f(G_T)$. Перпендикуляр к оси абсцисс из точки пересечения этих двух касательных отметит расход топлива G_T^{opt} , соответствующий оптимальной регулировке карбюратора.

Изложенный способ выбора оптимальной регулировки карбюратора применяется на предприятиях по изготовлению и ремонту карбюраторных двигателей.

Протокол испытаний

Цель:

Краткая методика

Протокол испытания двигателя _____: температура воздуха _____°С; барометрическое давление _____МПа; температура охлаждающей жидкости _____°С; давление масла _____МПа.

№ п/п	P_y , кг	τ , с	l_b , мм	$t_{окр}$, °С	N_e , кВт	G_T , г/с	g_e , г/(кВтч)	G_b , г/с	α
1									
2									
...									
n									

Параметры характеристики по составу смеси двигателя _____

Режим работы двигателя	G_T , г/с	α	N_e , кВт	g_e , г/(кВтч)
Максимальной мощности, $N_{e\ max}$				
Наивысшей экономичности, $g_{e\ min}$				
Оптимальная регулировка, $N_{e\ opt}$				

8.5.2 Регулировочная характеристика по установочному углу опережения зажигания

Цель. Установление зависимости эффективной мощности, массового и удельного расходов топлива и других показателей работы двигателя от установочного угла опережения зажигания в градусах поворота коленчатого вала относительно ВМТ при неизменной частоте вращения и полном открытии дроссельной заслонки.

Графическое изображение зависимостей N_e , G_T , $g_e = f(\varphi_{\text{заж}})$ при $n_{\text{дв}} = n_{\text{max}}$ необходимо для определения оптимального установочного угла опережения зажигания, обеспечивающего минимальный удельный расход топлива и максимальную мощность.

Установочный угол опережения зажигания изменяют поворачиванием корпуса прерывателя-распределителя с помощью винтового регулировочного устройства (октан-корректора). При наличии центробежного и вакуумного автоматов опережения зажигания их рекомендуется перед испытаниями выключать для повышения стабильности угла опережения зажигания. Испытания проводят на марке бензина, рекомендованной техническими условиями завода-изготовителя.

Методика снятия характеристики

Установить оптимальную регулировку карбюратора, которая определена при снятии регулировочной характеристики по составу смеси.

После пуска прогреть двигатель до температуры охлаждающей жидкости 70-80°C.

Первый опыт проводят при установленном вручную позднем зажигании (угол опережения зажигания по октан-корректору равен 4°).

При полностью открытой дроссельной заслонке, изменяя нагрузку тормозом, установить заданную постоянную частоту вращения коленвала (2500 мин⁻¹). После стабилизации скоростного режима работы двигателя замерить и занести в протокол испытаний значения P_y , $\tau_{\text{оп}}$, $G_{\text{оп}}$, $t_{\text{ож}}$, t_o .

Второй и последующие опыты проводить при увеличении установочного угла опережения зажигания по октан-корректору каждый раз на 2°-3°. Заданную частоту вращения коленвала поддерживать изменением нагрузки тормоза.

Последний опыт провести при угле опережения зажигания на $8-10^\circ$ больше рекомендованного заводом-изготовителем. При детонации (интенсивных стуках) испытания продолжать не следует.

После выявления режима максимальной мощности выполнить три опыта в обратном направлении, уменьшая угол опережения зажигания на $2-3^\circ$.

Во время испытаний в протоколе зафиксировать возникновение различаемых на слух детонационных стуков двигателя.

По результатам замеров рассчитать и занести в протокол испытаний значения N_e , g_e , G_T , по которым построить регулировочную характеристику по установочному углу опережения зажигания.

Анализ характеристики

Анализ регулировочной характеристики по установочному углу опережения зажигания (рис. 8.7) показывает, что для данных скоростного и нагрузочного режимов работы двигателя наиболее выгодным является такой угол опережения, при котором двигатель имеет наименьший удельный расход топлива и развивает максимальную мощность.

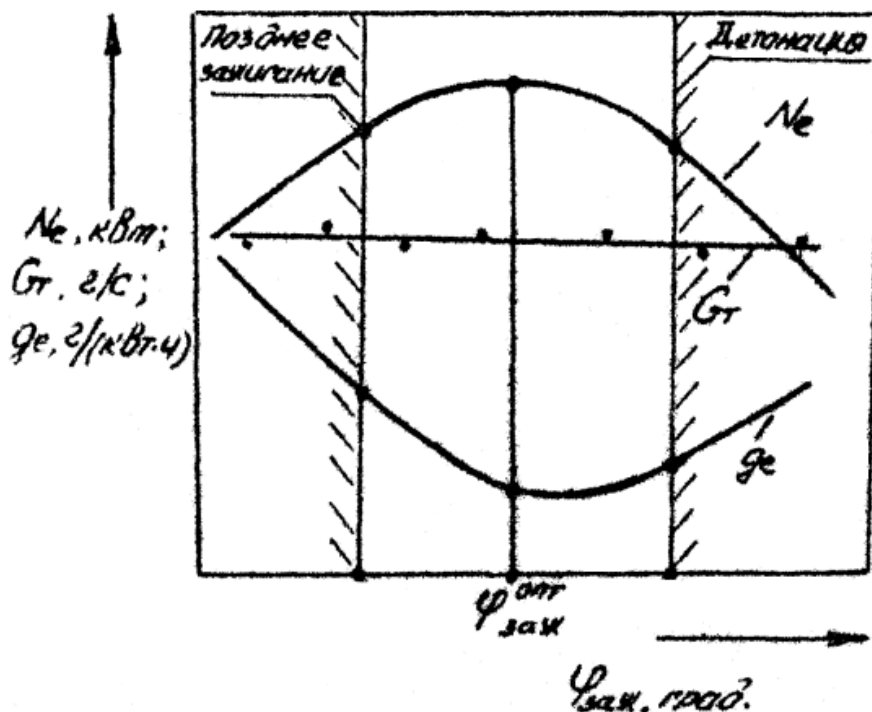


Рисунок 8.7 — Регулировочная характеристика карбюраторного двигателя по установочному углу опережения зажигания

На массовый расход топлива весьма незначительное влияние может оказывать только подогрев горючей смеси.

При позднем зажигании процесс сгорания смещается на такт расширения. Вследствие этого понижается давление в конце сгорания, увеличиваются потери теплоты в систему охлаждения и с отработавшими газами. Указанное вызывает перегрев двигателя, снижение индикаторного и механического КПД, повышение токсичности отработавших газов, увеличение износа поршневых колец и цилиндров.

При раннем зажигании значительная часть топлива сгорает до прихода поршня в ВМТ. Повышение при этом температуры и давления газов может явиться причиной возникновения детонации. Это вызывает перегрев двигателя, снижение его индикаторного и механического КПД. Продолжительная работа двигателя с детонацией недопустима.

При повышении частоты вращения коленвала оптимальный угол опережения зажигания должен быть увеличен, а при понижении – уменьшен. Эту функцию выполняет обычно центробежный автомат.

При уменьшении нагрузки (прикрытие дроссельной заслонки) наимыгоднейший угол опережения зажигания возрастает. Объясняется это снижением скорости сгорания смеси из-за понижения коэффициента наполнения и возрастания коэффициента остаточных газов. Указанную функцию выполняет обычно вакуумный автомат.

Протокол испытаний

Цель:

Краткая методика

Протокол испытания двигателя _____: температура воздуха _____ °С; барометрическое давление _____ МПа; температура охлаждающей жидкости _____ °С; давление масла _____ МПа.

№ п/п	θ , град.	P_y , кг	τ , с	$t_{окр}$, °С	N_e , кВт	G_T , г/с	g_e , г/(кВтч)	$t_{вых}$, °С
1								
2								
...								
n								

Параметры характеристики по углу опережения зажигания

Режим работы двигателя	θ , град	N_e , кВт	g_e , г/(кВтч)	G_T , г/с
Оптимальный				
Детонация				
Позднее зажигание				

8.5.3 Скоростная характеристика

Цель. Определение зависимости мощности нетто (эффективной), крутящего момента массового и удельного расходов топлива от частоты вращения коленвала двигателя при полностью открытой дроссельной заслонке и оптимальной регулировке зажигания.

Определение и графическое изображение зависимостей N_e , M_k , G_T , g_e , $\alpha = f(n)$ позволяет выявить динамические и экономические показатели двигателя, установить эксплуатационный режим, оценить его приемистость и быстроходность. Для более полного отражения рабочего процесса двигателя на характеристике дополнительно показывают зависимость коэффициента наполнения, механических потерь и других величин.

Характеристику, снятую при полностью открытой дроссельной заслонке, называют *внешней*, а снятую при некотором промежуточном ее положении – *частичной*.

Для двигателя, снабженного ограничителем частоты вращения, скоростные характеристики определяют [3] как с включенным, так и с отключенным ограничителем.

Методика снятия внешней скоростной характеристики

После пуска прогреть двигатель до температуры охлаждающей жидкости 70-80°C.

Первый опыт проводят при минимальной рабочей частоте вращения коленвала $n_{\min}=600-800 \text{ мин}^{-1}$ и полностью открытой дроссельной заслонке, которую задают нагрузкой тормоза. При отсутствии повышенной передачи между двигателем и стендом указанное условие невыполнимо. Поэтому *первый опыт* проводят при

$n_m = 2000 - 2500 \text{ мин}^{-1}$. После стабилизации скоростного режима замерить и занести в протокол испытаний значения P_y , $\tau_{оп}$, $G_{оп}$, I_b , $t_{ож}$, t_o , t_r .

Второй и последующие опыты проводить при увеличении частоты вращения коленвала каждый раз на 200-300 мин^{-1} , что достигается постепенным уменьшением нагрузки.

Число опытов должно быть достаточным, чтобы достичь области перегиба кривой (обычно 7-8). В зоне N_e^{\max} интервалы скоростного режима между опытами уменьшить до 100-150 мин^{-1} .

Последний опыт с минимальной нагрузкой провести при частоте вращения на 5-10% больше той, что соответствует максимальной мощности нетто, или при срабатывании ограничителя частоты вращения.

После окончания последнего опыта, постепенно увеличивая нагрузку, провести испытания в обратном порядке.

По результатам замеров рассчитать и занести в протокол испытаний значения N_e , M_k , g_e , G_T , η_v , α , по которым построить внешнюю скоростную характеристику.

Анализ характеристики

Анализ внешней скоростной характеристики (рис. 8.8) позволяет выделить следующие скоростные режимы:

1 – минимальной рабочей частоты вращения n_{\min} , при которой двигатель работает устойчиво не менее 10 мин [3] с полностью открытой дроссельной заслонкой;

2 – частота вращения, соответствующая максимальному крутящему моменту, n_m ;

3 – частота вращения, соответствующая минимальному удельному расходу топлива, n_{ge} ;

4 – максимальная рабочая частота вращения, соответствующая максимальной (гарантированной) мощности нетто, n_{\max} ;

5 – максимальная частота вращения холостого хода при срабатывании ограничителя частоты вращения n_{xx}^{\max} .

Эксплуатационный скоростной режим работы двигателя должен быть ограничен в пределах от n_m до n_{\max} .

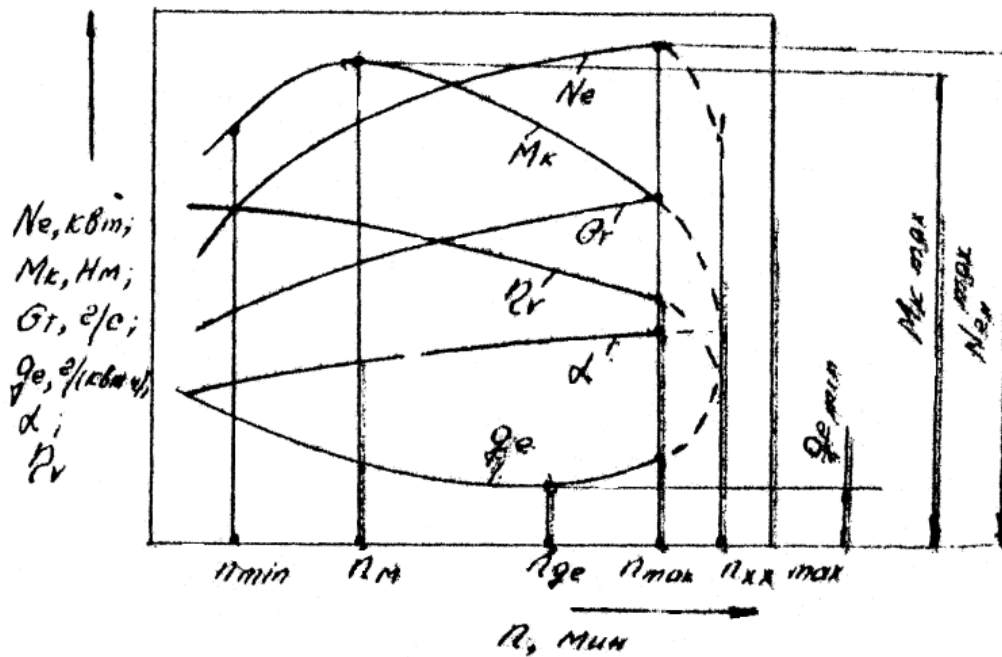


Рисунок 8.8 – Внешняя скоростная характеристика карбюраторного двигателя

По данным скоростной характеристики определяют, отвечают ли найденные значения гарантированной мощности нетто $N_{ен}^{max}$, максимального крутящего момента $M_{кн}^{max}$ и минимального удельного расхода топлива техническим условиям, установленным заводом-изготовителем.

Динамические качества, характеризующие способность двигателя преодолевать кратковременные перегрузки без перехода на низшую передачу, оценивают коэффициентом запаса крутящего момента M_k и коэффициентом приспособляемости по частоте вращения K_0 .

Для повышения динамических качеств двигателя смесь автоматически (с помощью экономайзера) обогащается при снижении частоты вращения коленвала, уменьшая при этом α и увеличивая η_v .

Протокол испытаний

Цель:

Краткая методика

Протокол испытания двигателя _____: температура воздуха _____°С; барометрическое давление _____МПа; температура охлаждающей жидкости _____°С; давление масла _____МПа; степень открытия дроссельной заслонки _____%.

№ п/п	$n_{\text{об}},$ мин ⁻¹	$P_y,$ кг	$\tau,$ с	I_B	$M_K,$ Н*М	$N_e,$ кВт	$G_T,$ г/с	$g_e,$ г/(кВтч)	α
1									
2									
...									
n									

Основные параметры скоростной характеристики

Скоростной режим двигателя	$n_{\text{об}},$ мин ⁻¹	$N_e,$ кВт	$g_e,$ г/(кВтч)	$M_K,$ Н*М	K_M	$M_K,$ %
Максимальной мощности, $N_{e \text{ max}}$						
Наивысшей топлив- ной экономичности, $g_{e \text{ min}}$						
Оптимальный ско- ростной диапазон, $n_{\text{об opt}}$						

8.5.4 Определение условной мощности механических потерь

Цель. Определение зависимости условной мощности механических потерь и равномерности работы цилиндров от скоростного режима.

Определение и графическое изображение зависимостей $N_i, N_{\text{мп}}, \eta_m, \eta_e, \Delta = f(n)$ позволяют установить соотношение индикаторной мощности и условной мощности механических потерь, определить наиболее экономичный скоростной режим работы двигателя и оценить равномерность работы цилиндров.

Методика проведения эксперимента

После пуска прогреть двигатель до температуры охлаждающей жидкости 70-80°C. Эксперимент проводят *при полностью открытой дроссельной заслонке* на скоростных режимах 2200, 2600 и 3000 мин⁻¹ методом выключения цилиндров.

Первую серию опытов проводят при $n_{дв} = 2200 \text{ мин}^{-1}$. Для этого нагрузкой тормоза, при полном открытии дросселя, устанавливают заданную частоту вращения коленвала. При работе всех цилиндров (*первый опыт*) после стабилизации скоростного режима замерить и занести в протокол испытаний значения $P_y, \tau_{он}, G_{он}, t_{ож}$.

Второй и последующие опыты проводить при последовательном выключении каждого цилиндра (отключением провода высокого напряжения от свечи). Замер параметров $P_y, t_{он}, G_{он}$ при работе с выключенным цилиндром производить между 10 и 15 с после выключения каждого цилиндра при частоте вращения, отличающейся от заданной не более чем на 1% [1]. Перед выключением очередного цилиндра двигатель должен поработать на всех включениях цилиндрах 2-3 мин до восстановления принятого теплового режима.

По результатам замеров рассчитать и занести в протокол испытаний значения $N_e, N_i, N_{мп}, \eta_e, \eta_m, \Delta$.

При работе всех цилиндров эффективная мощность двигателя

$$N_e = \sum_1^K N_{iK} - N_{мп}. \quad (8.1)$$

При отключении первого цилиндра

$$N_e - I = \sum_1^{K-1} N_{iK-1} - N_{мп}. \quad (8.2)$$

Разница этих двух измерений дает индикаторную мощность первого (отключенного) цилиндра

$$N_i I = \sum_1^K N_{iK} - \sum_1^{K-1} N_{iK-1}. \quad (8.3)$$

Определив последовательным перебором индикаторные мощности всех цилиндров, можно найти индикаторную мощность N_i двигателя и условную мощность механических потерь $N_{мп}$.

$$N_i = \sum_1^K N_{iK}. \quad (8.4)$$

$$N_{мп} = N_i - N_e. \quad (8.5)$$

По формулам, приведенным в п. 1.3.2, определяются значения η_m, η_e .

Коэффициент равномерности работы цилиндров двигателя найдется из выражения

$$\Delta = N_{i \min} / N_{i \max}, \quad (8.6)$$

где $N_{i \min}$ и $N_{i \max}$ – соответственно минимальное и максимальное значения условной индикаторной мощности цилиндров.

Вторую и третью серию опытов проводить соответственно при $n_{\text{дв}} = 2600$ и 3000 мин^{-1} , определяя указанные выше параметры двигателя.

По результатам испытаний построить зависимости N_i , $N_{\text{МП}}$, η_m , η_e , $\Delta = f(n)$.

Анализ полученных результатов

Анализ полученных зависимостей (рис. 8.9) позволяет определить характер изменения индикаторной мощности, условной мощности, механических потерь и равномерности работы цилиндров двигателя в зависимости от частоты вращения коленчатого вала. Индикаторная мощность двигателя увеличивается с повышением частоты вращения коленвала, что обусловлено снижением теплоотдачи в систему охлаждения и утечкой газов из цилиндра вследствие уменьшения продолжительности цикла, и улучшением процессов смесеобразования.

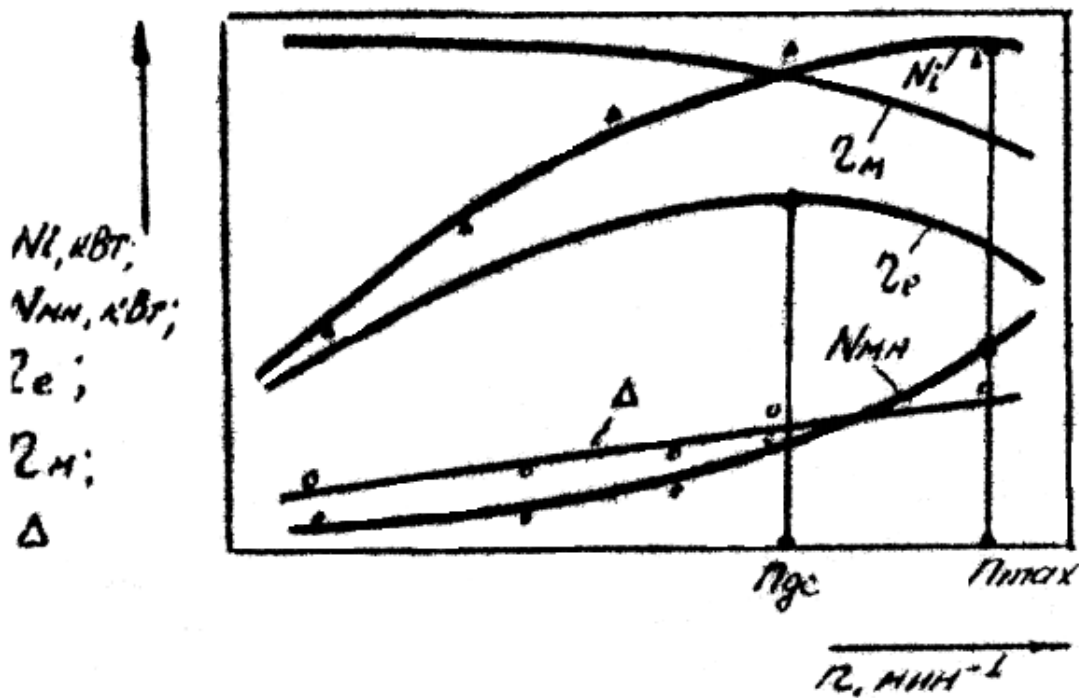


Рисунок 8.9 – Изменение параметров рабочего процесса двигателя от скоростного режима

Условная мощность механических потерь возрастает пропорционально квадрату частоты вращения коленвала, что вызывает уменьшение механического КПД двигателя.

Максимальная рабочая частота вращения n_{\max} коленвала определится из условия

$$(N_i - N_{\text{мп}}) = \max, \quad (8.7)$$

а наиболее экономичный скоростной режим n_{ge} соответствует значению $\eta_{e \max}$, так как $n_e = 82,7/g_e$.

По данным зависимостям определяют соответствие указанных режимов скоростной характеристики двигателя техническим условиям завода-изготовителя.

Коэффициент равномерности работы цилиндров Δ позволит оценить техническое состояние, правильность регулировки распределения отдельных цилиндров и совершенство конструкции двигателя. Для исправных и правильно отрегулированных двигателей $\Delta \rightarrow 1$.

Протокол испытаний

Цель:

Краткая методика испытаний.

Протокол испытания двигателя _____: температура воздуха _____°С; барометрическое давление _____ МПа; температура охлаждающей жидкости _____°С.

$n_{об},$ мин ⁻¹	$N_e,$ кВт	$N_{i1},$ кВт	$N_{i2},$ кВт	$N_{i3},$ кВт	$N_{i4},$ кВт	$N_i,$ кВт	$N_{мп},$ кВт	Δ	η_m	η_e
2200										
2600										
3000										

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ 18509-88. Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 58 с.
2. ГОСТ 14846-81. Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 53 с.
3. Селиванов, Н.И. Испытание и регулирование автотракторных двигателей: учеб. пособие / Н.И. Селиванов, В.С. Кирин; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 1997. – 150 с.
4. Селиванов, Н.И. Обкатка и испытание тракторных и комбайновых дизелей при ремонте / Н.И. Селиванов; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 1990. – 34 с.
5. Ремонт дизелей сельхозназначения / П.М. Кривенко [и др.]. – М.: Агропромиздат, 1990. – 271 с.
6. Стенды обкаточно-тормозные ГОСНИТИ (паспорт). – М.: ГОСНИТИ, 1990. – 67 с.
7. Двигатели внутреннего сгорания. Кн.1. Теория рабочих процессов: учеб. для вузов / В.Н. Луканин [и др.]. – М.: Высш. шк., 2005. – 479 с.
8. Николаенко, А.В. Теория, конструкция и расчет автотракторных двигателей / А.В. Николаенко. – М.: Колос, 2002. – 414 с.
9. Селиванов, Н.И. Основы теории, расчет и испытание автотракторных двигателей: учеб. пособие / Н.И. Селиванов, С.А. Зыков; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2002. – 167 с.
10. Перевод карбюраторных двигателей с бензина «Нормаль-80» на высокооктановое топливо / Н.И. Селиванов [и др.] // Вестн. КрасГАУ. – Красноярск, 2011. – № 7. – С. 119-123.
11. Обоснование допусков на регулировочные параметры топливной аппаратуры автотракторных дизелей / Н.И. Селиванов [и др.] // Транспортные средства Сибири. – Красноярск: Изд-во КГТУ, 1995. – С. 120-125.
12. ГОСТ 17.2.2.01-84. Дизели автомобильные. Дымность отработавших газов. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 12 с.
13. ГОСТ 17.2.2.02-98. Нормы и методы определения дымности ОГ дизелей тракторов и самоходных с.-х. машин. – М.: Изд-во стандартов, 1998. – 16 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1 ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ, ВИДЫ И МЕТОДЫ ИСПЫТАНИЙ АВТОТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ	5
1.1 Основные параметры двигателей	5
1.2 Виды и методы испытаний автотракторных двигателей.....	8
1.3 Определяемые параметры и обработка результатов испытаний двигателей	9
1.3.1 Определяемые параметры и погрешности измерений	9
1.3.2 Обработка результатов испытаний.....	11
1.3.3 Приведение параметров двигателя к стандартным условиям..	13
1.4 Требования безопасности и производственной санитарии	16
2 СТЕНДОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОБКАТКИ И ИСПЫТАНИЙ АВТОТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ.	18
2.1 Устройство и режимы работы обкаточно-тормозных стендов ..	18
2.2 Обоснование параметров стенда	24
2.3 Техническое обслуживание обкаточно-тормозных стендов	32
2.4 Проверка обкаточно-тормозных стендов	34
2.4.1 Операции, средства и условия проверки	34
2.4.2 Проведение проверки.....	35
2.4.3 Оформление результатов проверки.....	39
3 ОБКАТКА И ПРИЕМОЧНЫЕ ИСПЫТАНИЯ АВТОТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ	41
3.1 Требования к двигателям, поступающим на обкатку	41
3.2 Обкатка двигателей	42
3.2.1 Холодная обкатка	42
3.2.2 Горячая обкатка на холостом ходу.....	44
3.2.3 Горячая обкатка под нагрузкой	45
3.2.4 Ускорение приработки двигателей.....	47
3.2.5 Проверка качества пуска двигателей	47
3.3 Приемочный контроль	59
3.3.1 Приемо-сдаточные испытания дизелей	59
3.3.2 Приемочный контроль двигателей с искровым зажиганием ..	72
3.3.3 Технический осмотр и органолептический контроль	74
3.4 Обкатка и испытания двигателей при текущем ремонте.....	76
4 ИСПЫТАНИЯ АВТОТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА ТОКСИЧНОСТЬ.....	78
4.1 Токсичность отработавших газов	78
4.1.1 Нормируемые токсичные вещества	78

4.1.2	Ненормируемые токсичные вещества и смеси	81
4.1.3	Основные пути снижения токсичности отработавших газов..	82
4.2	Нормирование и контроль токсичности отработавших газов двигателей с искровым зажиганием	83
4.2.1	Контроль токсичности отработавших газов при эксплуатации автомобилей	84
4.2.2	Контроль токсичности отработавших газов на стенде с беговыми барабанами.....	86
4.2.3	Стендовые испытания двигателя по 13-режимному циклу	88
4.3	Снижение токсичности отработавших газов двигателей с искровым зажиганием	90
4.3.1	Совершенствование систем топливоподачи и зажигания.	90
4.3.2	Рециркуляция отработавших газов	91
4.3.3	Нейтрализация отработавших газов.....	93
4.3.4	Снижение выброса СН при пуске и прогреве двигателя	96
4.3.5	Новые топлива	98
4.3.6	Использование бедных смесей и расслоенных зарядов.....	99
4.4	Нормирование токсичности и дымности отработавших газов дизелей.....	101
4.4.1	Контроль дымности отработавших газов при эксплуатации дизелей.....	102
4.4.2	Контроль токсичности отработавших газов дизеля на тормозном стенде	104
4.5	Снижение токсичности и дымности отработавших газов дизелей.....	106
4.5.1	Совершенствование процессов смесеобразования и сгорания.....	106
4.5.2	Рециркуляция отработавших газов	109
4.5.3	Нейтрализация отработавших газов.....	110
4.5.4	Топлива, присадки и фильтры для частиц.....	112
5	ХАРАКТЕРИСТИКИ ДВИГАТЕЛЕЙ	117
5.1	Классификация характеристик и анализ режимов работы двигателей	117
5.2	Регулировочные характеристики двигателей	120
5.2.1	Характеристики по составу смеси	120
5.2.2	Характеристики по установочным углам опережения зажигания и впрыскивания топлива.....	124
5.3	Нагрузочные характеристики двигателей	128
5.4	Скоростные характеристики двигателей	130

5.4.1	Скоростная характеристика двигателя с искровым зажиганием	132
5.4.2	Внешняя скоростная характеристика дизеля, формирование внешней характеристики	136
6	УПРАВЛЕНИЕ ДВИГАТЕЛЯМИ.....	143
6.1	Требования к управлению работой двигателя	143
6.2	Особенности двигателя как объекта управления.....	146
6.3	Основные принципы автоматического управления двигателем	149
6.4.	Организация и формирование электронного управления работой двигателя.....	151
6.4.1	Управление двигателями с искровым зажиганием и внешним смесеобразованием.....	153
6.4.2	Управление дизелями	156
6.4.3	Управление двигателями с искровым зажиганием и непосредственным впрыскиванием бензина.....	157
6.4.4	Развитие методов управления мощностью двигателей	159
6.4.5	Локально-замкнутое и адаптивное управление	160
6.5	Многопараметрическое управление двигателем	164
7	ОРГАНИЗАЦИЯ И ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ ДВИГАТЕЛЕЙ.....	168
7.1	Общие сведения и требования безопасности	168
7.1.1	Общие сведения.....	168
7.1.2	Перечень лабораторных работ	168
7.1.3	Подготовка и организация стендовых испытаний двигателей	169
7.1.4	Требования охраны труда при выполнении лабораторных работ	170
7.2	Оборудование и приборы для стендовых испытаний двигателей	173
7.2.1	Устройство и техническая характеристика лабораторной установки для испытаний дизеля.....	173
7.2.2	Установка для испытаний двигателя с искровым зажиганием.....	175
7.2.3	Управление стендом и двигателем при испытаниях	177
8	ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ.....	179
8.1	Лабораторная работа №1. Обоснование параметров, техническое обслуживание и поверка обкаточно-тормозного стенда	179

8.2 Лабораторная работа №2. Стендовая обкатка и испытания автотракторных двигателей после ремонта.....	182
8.3 Лабораторная работа №3. Определение дымности отработавших газов автотракторного дизеля	187
8.4 Лабораторная работа №4. Определение характеристик тракторного дизеля.....	190
8.5 Лабораторная работа №5. Определение характеристик автомобильного двигателя с искровым зажиганием	202
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	216

ИСПЫТАНИЯ АВТОТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Учебное пособие

Селиванов Николай Иванович

Редактор В.А. Сорокина

Санитарно-эпидемиологическое заключение № 24.49.04.953.П. 000381.09.03 от 25.09.2003 г.
Подписано в печать 7.10.2014. Формат 60x84/16. Бумага тип. № 1.
Печать – ризограф. Усл. печ. л. 17,75. Тираж 170 экз. Заказ № 418
Издательство Красноярского государственного аграрного университета
660017, Красноярск, ул. Ленина, 117