

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
ИРКУТСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ**

П. А. Болоев, О. Н. Хороших, П. И. Ильин

ТРАКТОРЫ И АВТОМОБИЛИ

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

**ИСПЫТАНИЯ СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ
ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**



УДК 681.3(075.8)
ББК 40.72Я73
Т 381

Рекомендовано к изданию научно-методическим советом ФГБОУ ВПО
Иркутской государственной сельскохозяйственной академии
Протокол №8 от 28.04.2014 г.

Тракторы и автомобили
Испытания системы питания двигателей внутреннего сгорания

Составители: Болоев П.А. - д.т.н., профессор кафедры технического обеспечения АПК ФГБОУ ВПО Иркутской государственной сельскохозяйственной академии;
Ильин П.И. - к.т.н., доцент кафедры ЭМТП, БЖД и ПО ФГБОУ ВПО Иркутской государственной сельскохозяйственной академии;
Хороших О.Н. - к.т.н., доцент кафедры технического обеспечения АПК ФГБОУ ВПО Иркутской государственной сельскохозяйственной академии.

Рецензенты: Бураев М.К. - д.т.н., профессор, зав. кафедрой технического сервиса и общеинженерных дисциплин ФГБОУ ВПО Иркутской государственной сельскохозяйственной академии;
Анахин В.Д. - д.т.н., профессор кафедры Машиноведения ФГБОУ ВПО Бурятского государственного университета.

В настоящем учебном пособии изложены методики по регулированию и испытанию автотракторных двигателей. Рассмотрены оборудование и приборы для проверки, регулирования и испытания систем топливоподачи.

Приведены справочные данные по регулировочным параметрам автотракторных двигателей и их систем топливоподачи.

Для студентов специальностей 110301.65 - Механизация сельскохозяйственного производства, 110304.65 - Технология обслуживания и ремонта машин в АПК и направлений 110800.62 - Агроинженерия, 190600.62 - Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов

ISBN

УДК 631.3
ББК 40.7

© ФГБОУ ВПО Иркутская государственная
сельскохозяйственная академия

ТРЕБОВАНИЯ ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ И ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ САНИТАРИИ

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

2. Показатели шума, микроклимата и содержания вредных веществ в рабочей зоне испытателей, а также вибрация на рабочих местах и органах управления двигателем, испытательным стендом и измерительными приборами не должны превышать предельно допустимых значений, предусмотренных санитарными нормами.

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

4. Выпускные трубопроводы стенда и выпускной ресивер должны иметь теплоизоляцию, температура на их наружных поверхностях не должна превышать 70° С.

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

ОБОРУДОВАНИЕ И ПРИБОРЫ ДЛЯ ПРОВЕРКИ, РЕГУЛИРОВАНИЯ И ИСПЫТАНИЯ ДИЗЕЛЬНОЙ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ

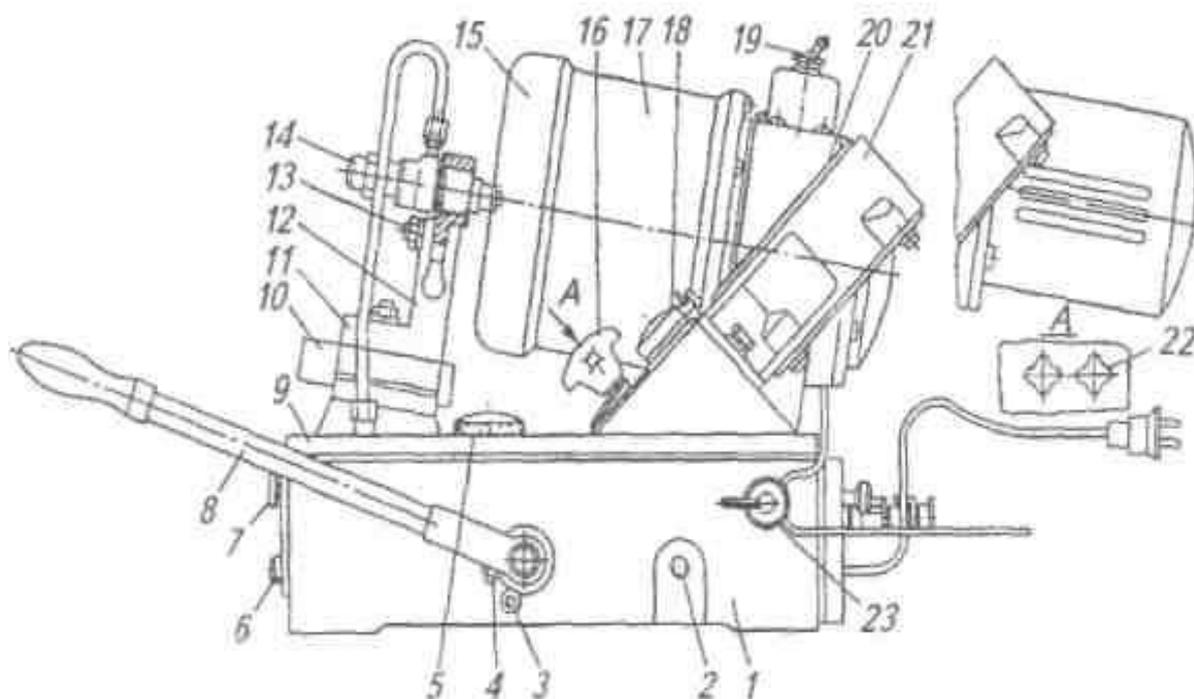
Для проведения контрольно-регулирующих испытаний топливной аппаратуры (топливных насосов высокого давления, форсунок, отдельных элементов этих узлов - плунжерных пар, нагнетательных клапанов, распылителей и др.) используют различные приборы и оборудование. Чтобы правильно отрегулировать топливную аппаратуру, как на заводах, так и на ремонтных предприятиях, необходимо использовать аналогичное контрольно-регулирующее оборудование, проводить испытания и регулировки в соответствии с принятыми методиками и стандартами (ГОСТ 8669-82, 10579-88, 8670-82), определяющими требования к испытаниям форсунок, отдельных прецизионных пар, а также топливных насосов (рисунок 1).

Прибор КИ-3333 предназначен для испытания всех видов форсунок отечественных тракторных и комбайновых дизелей: регулировка давления начала впрыскивания, проверка форсунки на герметичность и качество распыливания топлива.

Корпус прибора 1 одновременно служит емкостью для дизельного топлива. В корпусе установлены топливный фильтр и насос высокого давления с ручным приводом 8. На корпусе прибора установлен кронштейн крепления форсунки 14 со сменными вставками (для испытания различных форсунок), камера впрыска 17 с подсветкой распыливаемого топлива и вентилятор для отсоса паров впрыскиваемого топлива. Для проведения измерений прибор оснащен манометром 20, секундомером 18.

Схема работы прибора показана на рисунке 2. Для проведения испытаний рукояткой 12 ручного привода топливного насоса высокого давления 11 нагнетают топливо в гидравлический аккумулятор 7 и в испытываемую форсунку 5. При открытом кране 9 манометр 8 регистрирует давление в системе при проверке герметичности и момент впрыска при регулировке давления

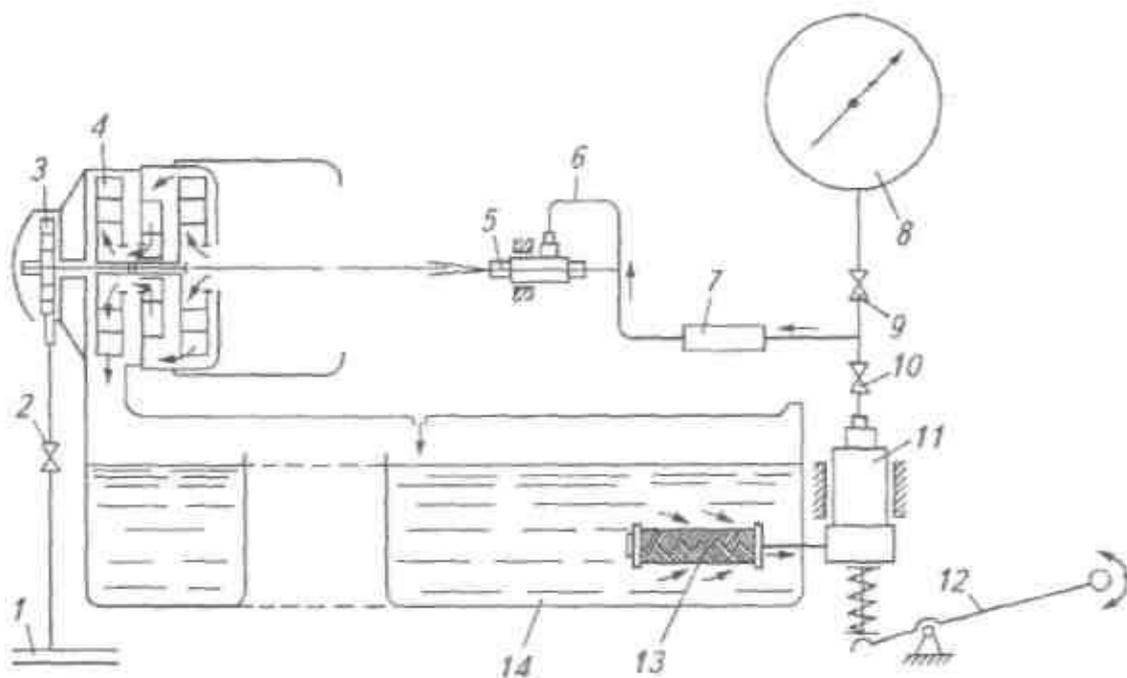
начала впрыскивания. Впрыснутое топливо засасывается вентилятором 4 и сбрасывается в топливный бак 14. При регулировке давления начала впрыскивания форсункой и при оценке качества распыливания кран 10 открыт. Его закрывают при оценке гидравлической плотности форсунки.



1 - корпус прибора; 2 и 3 - винты для выпуска воздуха из насоса высокого давления и крепления эксцентрика привода плунжера насоса; 4 - зажим для крепления рукоятки; 5, 9 и 22 - крышки горловины топливного бака, корпуса и воздушной турбинки; 6 - спускная пробка; 7 - указатель уровня топлива; 8 - рукоятка насоса; 10 - установочная плита для крепления кронштейна; 11 - топливопровод высокого давления; 12 - кронштейн; 13 - зажим; 14 - испытываемая форсунка; 15 - подсветка факела; 16 - кран отключения манометра; 17 - камера впрыска; 18 - секундомер; 19 - выключатель электрического тока; 20 - манометр; 21 - корпус манометра; 22 - кран для подвода воздуха; 23 - кран отключения насоса

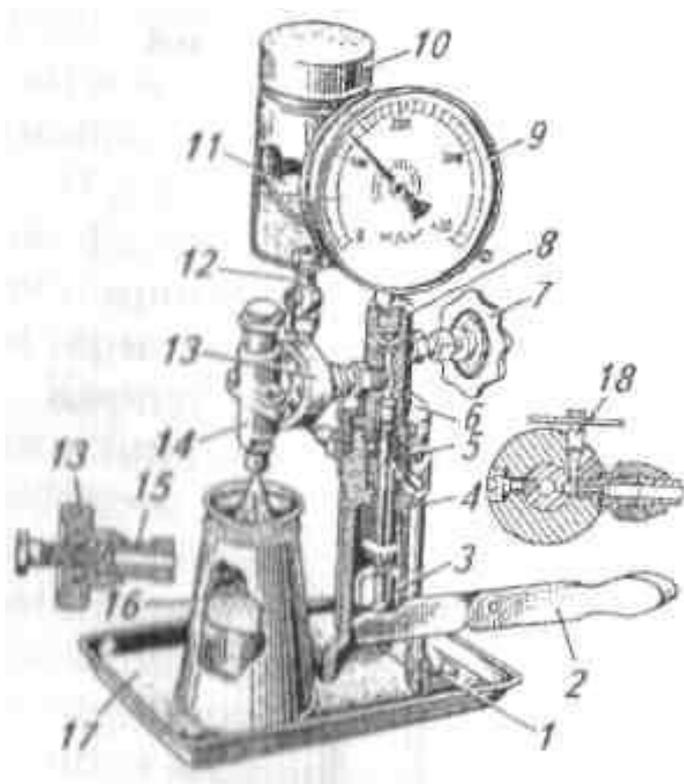
Рисунок 1 – Прибор КИ-3333 для испытания и регулировки форсунок

Прибор КИ-562 (КП-1609А) более прост по сравнению с предыдущей моделью прибора для проверки и испытания форсунок дизелей на стационарных и передвижных диагностических ремонтных установках (рисунок 3). Прибор выполняет все описанные ранее операции по регулировке форсунок.



1 - воздушная магистраль; 2 - кран подвода воздуха; 3 - воздушная турбинка; 4 - вентилятор; 5 - испытываемая форсунка; 6 - топливопровод высокого давления; 7 - гидравлический аккумулятор; 8 - манометр; 9 и 10 - краны отключения манометра и насоса; 11 - насос высокого давления; 12 - рукоятка; 13 и 14 - топливные фильтр и бак

Рисунок 2 – Схема работы прибора КИ-3333 при испытании и регулировке форсунок

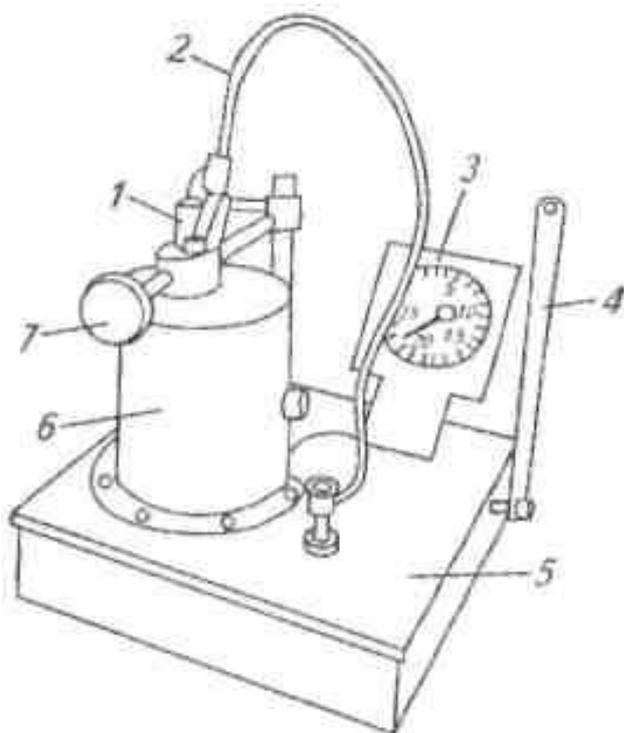


1 - корпус прибора, 2 - ручной привод; 3 - направляющая; 4 и 5 - плунжерная и нагнетательной пары; 6 - гайка корпуса; 7 и 13 - маховички; 8 - корпус распределителя; 9 - манометр; 10 - бачок; 11 - фильтр; 12 - кран; 14 - форсунка; 15 - соединительный штуцер; 16 - глушитель; 17 - противень; 18 - вентиль для выпуска воздуха

Рисунок 3 – Прибор КИ-562 (КИ-1609А) для испытания и регулировки форсунок

Прибор имеет бачок для хранения топлива 10, плунжерную 4 и нагнетательную 5 пару с ручным приводом 2, манометр 9, испытываемую форсунку 14, установленную на стенде с помощью маховичка 13. Топливо впрыскивают в резервуар.

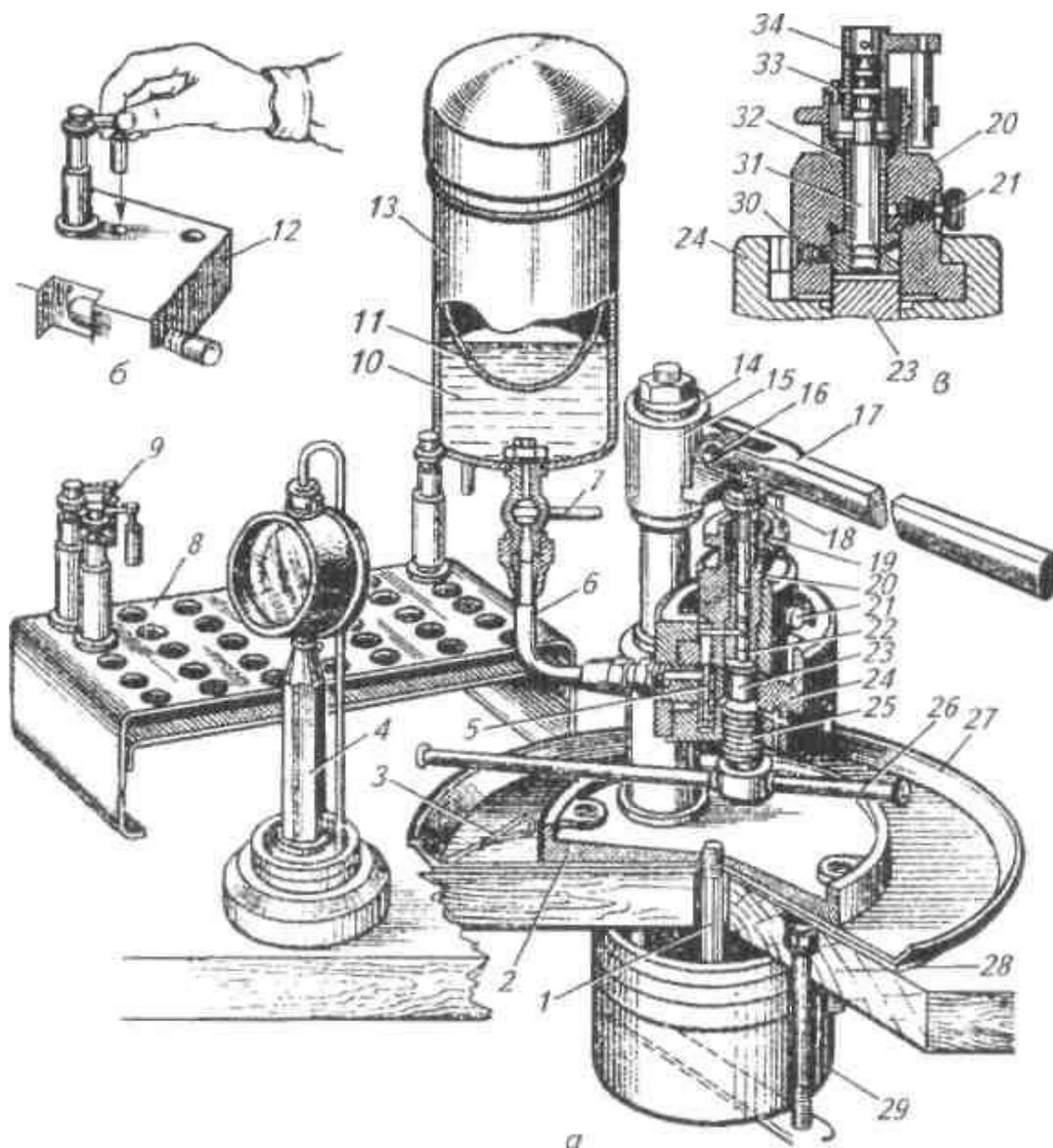
Прибор ДД-2110 (рисунок 4) – современная модификация прибора КП-1609А, обеспечивающая выполнение всех вышеперечисленных функций.



1 - форсунка; 2 - топливопровод; 3 - манометр; 4 - рукоятка накачивающего насоса; 5 - топливный бак; 6 - защитный цилиндр для впрыскивания топлива; 7 - фиксатор форсунки

Рисунок 4 – Прибор ДД-2110 для испытания и регулировки форсунок

Прибор КИ-759 (КП-1640А) предназначен для определения гидравлической плотности плунжерных пар топливных насосов по времени просачивания дозы топлива из замкнутого объема надплунжерного пространства при постоянном давлении через зазор между плунжером и его втулкой (рисунок 5).

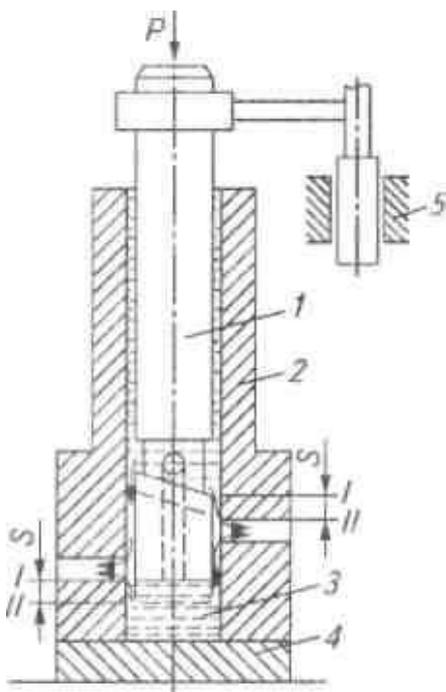


а - прибор КИ-759 (КП-1640А); б - проверка правильности положения поводка на плунжере насоса типа 4ТН-8.5Х10; в - испытание плунжерной пары насоса дизеля КДМ-100 (Д-108); 1 - трубка для стока отработавшей рабочей жидкости; 2 - основание прибора; 3 - отвертка для винта-фиксатора втулки плунжера топливного насоса дизеля КШДМ-100 (Д-108); 4 - подставка с секундомером; 5 - фиксатор; 6 - трубка; 7 - кран; 8 - тара для плунжерных пар; 9 - плунжерная пара; 10 - рабочая жидкость; 11 - матерчатый материал; 12 - приспособление МП-1613 для разборки и сборки головок и секций топливных насосов и форсунок; 13 - бак для рабочей жидкости; 14 - упор; 15 - втулка; 16 - шарикоподшипник; 17 - рычаг; 18 - ролик; 19 - плунжер топливных насосов типа 4ТН-8.5Х10; 20 - установочная головка; 21 - винт-фиксатор втулки плунжера насосов типа 4ТН-8.5Х10; 22 - втулка плунжера; 23 - подпятник (стальной цилиндр с притертыми торцами); 24 - корпус прибора; 25 - нажимной винт; 26 - вороток нажимного винта; 27 - поддон; 28 - прокладка; 29 - банка для сбора отработавшего топлива; 30 - винт-фиксатор втулки плунжерного насоса дизеля КДМ-100 (Д-108); 31 - плунжер топливного насоса дизеля КДМ-100 (Д-108); 32 - втулка плунжера; 33 - винт для крепления поводка на плунжере; 34 - поводок

Рисунок 5 – Прибор КИ-759 (КП-1640А)

для испытания плунжерных пар на гидравлическую плотность

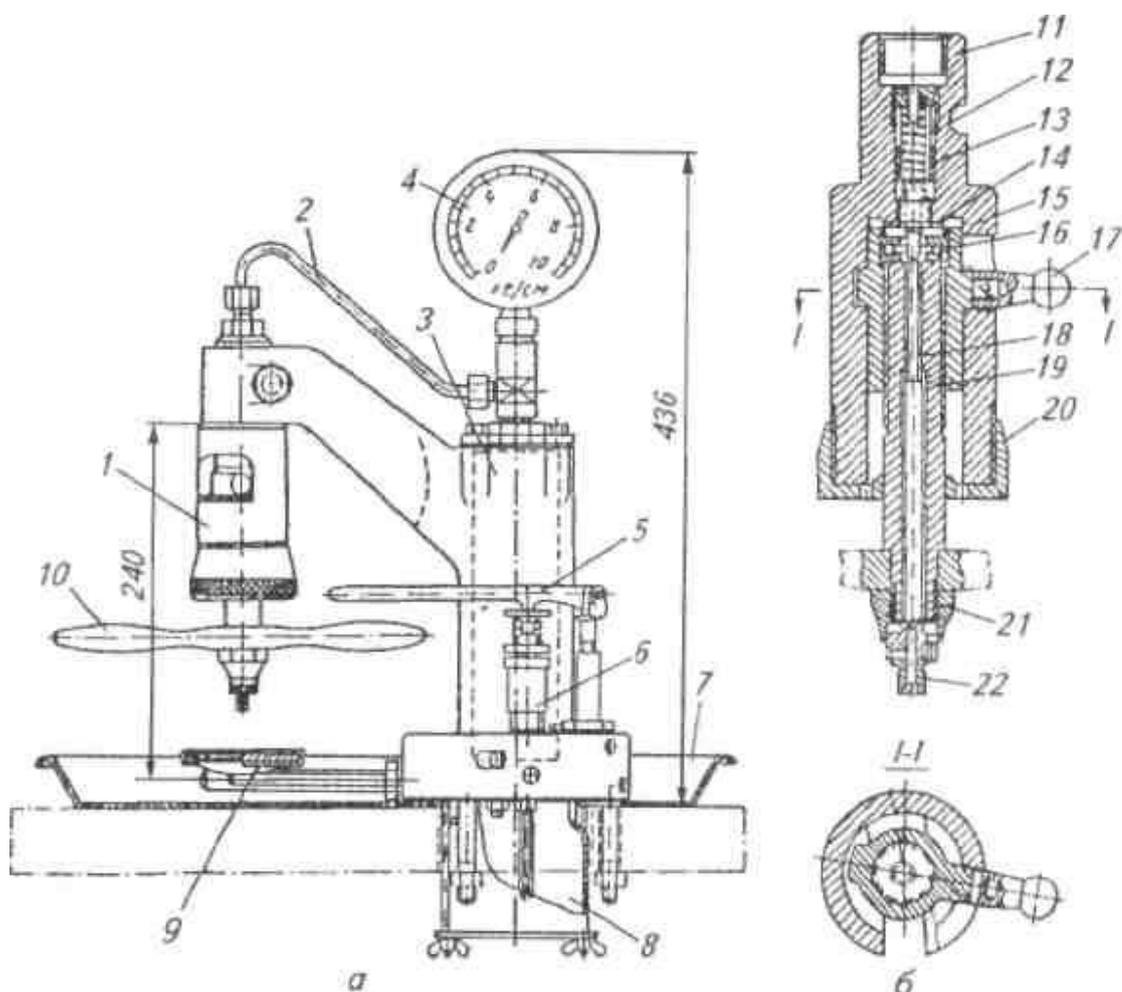
Принципиальная схема работы прибора показана на рисунке 6. Втулка 2 плунжера установлена на стенде в перевернутом положении. Нижнее отверстие втулки плотно закрыто притертой пластиной 4. Полость втулки заполняют смесью топлива и масла определенной вязкости. Через верхнее отверстие во втулку устанавливают плунжер, нагружаемый определенной массой P . Гидравлическую плотность оценивают по времени опускания плунжера за период его активного хода, т. е. между моментами начала и конца подачи топлива за счет просачивания его через зазоры.



1 - плунжер; 2 - втулка; 3 - рабочая жидкость; 4 - пластина; 5 - фиксатор углового положения плунжера; I - положение кромки плунжера, соответствующее моменту начала подачи топлива (начало испытаний); II - положение кромки плунжера, соответствующее окончанию подачи топлива (коней испытаний); S - активный ход плунжера; P - давление на плунжер при испытании

Рисунок 6 – Положение плунжера во втулке при испытании на гидравлическую плотность

Прибор КИ-1086 (ПНК) предназначен для проверки гидравлической плотности нагнетательных клапанов по запирающему конусу и по разгрузочному пояску (рисунок 7). Прибор состоит из устройства 1 для крепления нагнетательного клапана, ручного подкачивающего насоса 6, гидравлического аккумулятора 3, манометра 4 и предназначен для проверки герметичности только разгрузочного пояска и суммарной гидравлической плотности его запирающего конуса. При проверке суммарной плотности микрометрический винт 22 вывернут, не касается стержня клапана 14, обеспечивая тем самым посадку его на седло. Проверку проводят, повышая давление в гидравлическом аккумуляторе 3 насосом 6 до давления 0.85 МПа, а затем измеряя время его падения в интервале давлений 0.8...0.7 МПа.



а - прибор КИ-1086; б - устройство для крепления нагнетательного клапана в сборе; 1 - устройство для крепления нагнетательного клапана; 2 - трубка; 3 - гидравлический аккумулятор; 4 - манометр; 5 - рукоятка; 6 - подкачивающий насос; 7 - противовес; 8 - банка; 9 - воронка; 10 - рукоятка; 11 - корпус; 12 - пружина; 13 - поршень; 14 - испытываемый клапан с прокладкой; 15 - кольца; 16 - упорный шарикоподшипник; 17 - рукоятка; 18 и 19 - винты; 20 и 21 - гайки; 22 - микрометрический винт

**Рисунок 7 – Прибор КИ-1086 (ПНК)
для испытания нагнетательных клапанов топливных насосов**

При проверке плотности только разгрузочного пояса микрометрический винт 22 вворачивают до касания со стержнем нагнетательного клапана, а затем поднимают винт еще на 0.2 мм. В этом случае также повышают давление в гидравлическом аккумуляторе до 0.25 МПа и затем регистрируют время падения давления в диапазоне 0.2...0.1 МПа.

Стенды для испытания топливных насосов высокого давления - достаточно сложное оборудование, предназначенное для обеспечения условий ис-

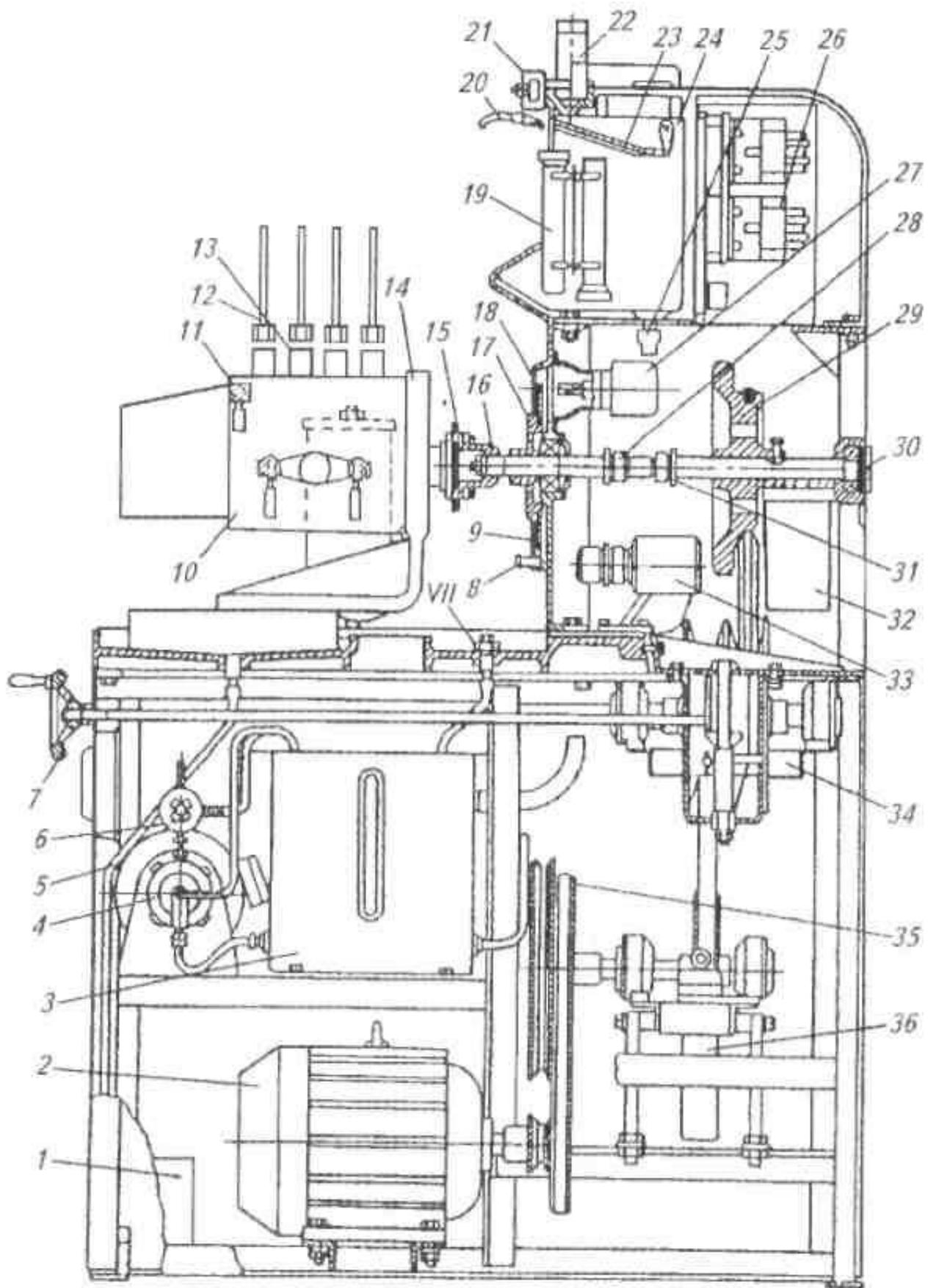
пытаний дизельной топливной аппаратуры, предполагающее испытание и оценку как отдельных элементов системы питания дизеля, так и ее комплексную оценку в целом для обеспечения нормальных условий эксплуатации дизеля, заданных ГОСТами. Наиболее распространены следующие стенды: КИ-921М (СДТА-2), КИ-22205, ДД-1-03 (КИ-15711) и Моторпал NS-110.

Несмотря на значительные отличия, большинство из них пригодны для проведения контрольно-регулирующих испытаний, так как позволяют оценить основные параметры топливных систем дизелей: подачу топлива, начало и продолжительность его впрыска, изменение начала впрыска относительно начала подачи топлива, давления начала открытия нагнетательных клапанов, параметры топливоподкачивающих насосов, состояние топливных фильтров и др. С помощью стендов можно оценить отдельные характеристики форсунок, топливных насосов высокого давления, регуляторов частоты вращения и работу системы питания дизеля в целом.

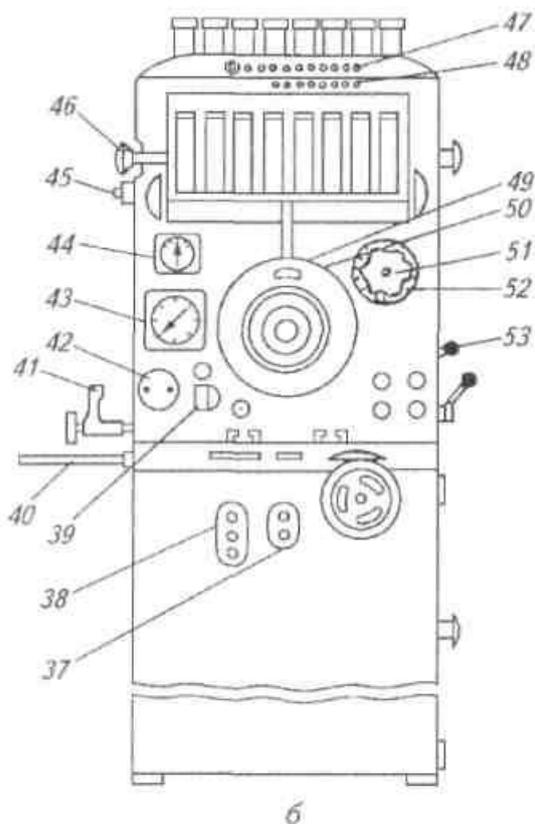
Общая конструкция стенда **КИ-921 М (СДТА-2)** и основные органы управления показаны на рисунке 8.

Основные части стенда: электрический клиноременный регулируемый привод топливного насоса; устройство для установки испытуемого топливного насоса на стенде и его соединения с механизмом привода; система топливоподдачи; устройства для измерения подачи топлива; приборы для измерения частоты вращения, давления и температуры; устройство для проверки углов начала подачи и впрыска топлива; устройства управления стендом.

Испытываемый топливный насос 10 с помощью кронштейна 14 крепят на рабочем столе стенда (рисунок 8). Привод топливного насоса высокого давления осуществляется от электродвигателя 2, через клиноременную передачу 35, вариатор частоты вращения 34, систему шкивов, валов и соединительную муфту 16.



a



а - продольный разрез стенда с насосом;
 б - вид спереди; 1 - бак для топлива; 2 - электродвигатель привода; 3 - топливный бак; 4 - стендовый топливный насос; 5 - трубка для стекающего топлива; 6 - предохранительный клапан; 7 - маховик вариатора для изменения частоты вращения вала привода; 8 - штуцер; 9 - рычаг управления счетчиков циклов; 10 - испытываемый топливный насос; 11 - вентиль выпуска воздуха из системы подачи топлива; 12 - трубопровод высокого давления; 13 - штуцер; 14 - кронштейн крепления испытываемого топливного насоса; 15 - текстолитовая шайба; 16 - соединительная муфта; 17 - ступица градуированного диска; 18 - градуированный диск; 19 - мензурка; 20 - гибкая трубка; 21 - панель включения датчиков; 22 - датчик начала впрыска топлива; 23 - шторка для отсечки подачи топлива в мензурку;

24 - резервуар для слива топлива в бак; 25 - трубка для слива топлива в бак; 26 - командоаппарат; 27 - стробоскоп; 28 - ведущая звездочка привода для испытания поршневого подкачивающего насоса; 29 - ведомый шкив вариатора; 30 - вал привода испытываемого насоса; 31 - ведущая звездочка привода счетчика-автомата и тахогенератора; 32 - фильтр тонкой очистки топлива магистрали высокого давления; 33 - привод для испытания поршневого подкачивающего насоса; 34 - вариатор частоты вращения; 35 - контрпривод с передачами первой и второй ступеней; 36 - топливный фильтр магистрали низкого давления; 37 - кнопка пускателя электродвигателя стендового топливного насоса; 38 - кнопка реверсивного пускателя электродвигателя привода; 39 - гнездо для крепления зажима при испытании шестеренного подкачивающего насоса; 40 - удлинитель для сбора утечки топлива при испытании поршневого подкачивающего насоса; 41 - зажим для крепления испытываемого подкачивающего насоса; 42 - гнездо для привода шестеренного подкачивающего насоса; 43 - манометр магистрали низкого давления; 44 - тахометр; 45 - кронштейн для крепления испытываемого топливного фильтра; 46 - ручка для поворота мензурок при вылипании из них топлива; 47 - тумблер для включения или выключения датчика; 48 - гнездо для присоединения гибкой трубки; 49 - нулевая риска на корпусе стенда; 50 - визирная проволока неподвижного диска; 51 - рукоятка для установки счетчика-автомата на заданную частоту вращения; 52 - шкала счетчика циклов; 53 - рукоятка для включения счетчика - автомата; I...VII - штуцер стенда

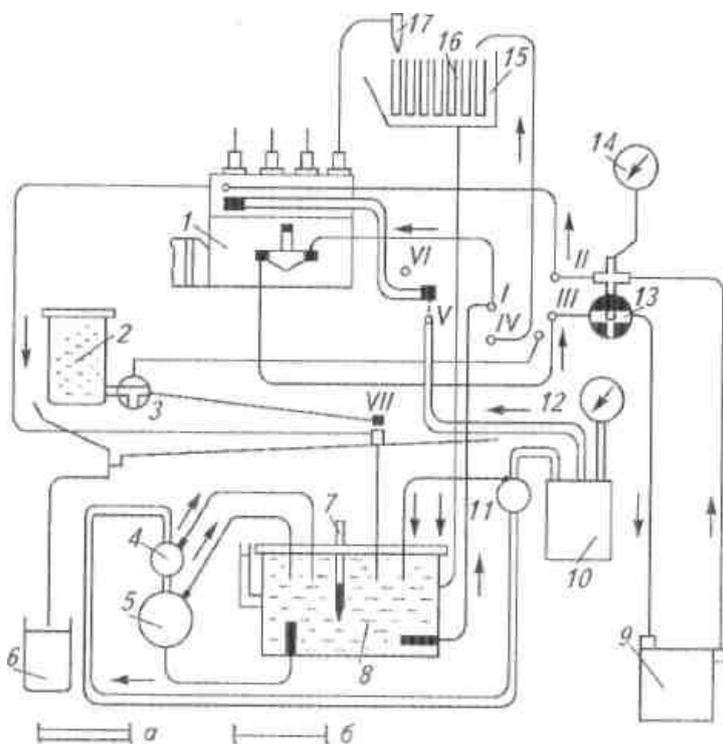
Рисунок 8 – Стенд КИ-921М

Система топливоподачи стенда (рисунок 8) включает основной топливный бак 3, стендовый насос высокого давления 4, магистрали подачи топлива к фильтрам тонкой очистки 32, а затем к топливоподкачивающему насосу испытываемого топливного насоса высокого давления 10, от которого топливо по трубопроводам высокого давления 12 через форсунки поступает в мензурки 19. После испытаний топливо сливается по трубопроводам в бак 1. Система оснащена манометрами в магистралях низкого и высокого давлений. Принципиальная схема топливоподачи показана на рисунке 9.

На стенде использовано простейшее устройство для измерения подачи топлива – мензурки с верхним заполнением, которые для повторения опытов опорожняют, переворачивая их.

Для измерения текущей частоты вращения служит тахометр 44. Частоту вращения регулируют маховиком 7 вариатора 34 (рисунок 8).

Для облегчения испытаний при измерении, топливо поступающее в мензурки 19, подают за 1 мин. Для этого имеется счетчик циклов, который при проведении испытаний всегда устанавливают на число циклов (впрысков топлива), равное частоте вращения вала топливного насоса высокого давления.



а - топливопровод высокого давления; б - топливопровод низкого давления; 1 - испытуемый топливный насос; 2 - мерный цилиндр; 3 - кран мерного цилиндра; 4 - предохранительный клапан; 5 - стендовый насос высокого давления; 6 - бачок для загрязненного топлива; 7 - термометр; 8 - топливный бак; 9, 10 - фильтры тонкой очистки; 11 - дроссель; 12, 14 - манометры; 13 - кран; 15 - передний бак; 16 - мензурки; 17 - форсунка; I...VII - выходные штуцеры топливной системы

Рисунок 9 – Схема топливоподачи в стенде КИ-921 М (СДТА-2)

Для определения углов начала подачи и впрыскивания топлива используют градуированный диск 18, установленный на вале насоса, и стробоскоп 27.

Принцип работы стенда показан на рисунке 10. Перед проведением испытаний вариатором стенда устанавливают желаемую частоту вращения. Счетчиком циклов 10 устанавливают число циклов подачи, равное частоте вращения вала насоса. Нажимая на рукоятку 11, начинают отсчет циклов подачи и одновременно отодвигают шторку 9, обеспечивая поступление топлива из форсунок 7 в мензурку 5. После отсчета заданного числа циклов шторка 9 автоматически возвращается в исходное положение, предотвращая дальнейшее попадание топлива в мензурки. В процессе впрыскивания топливо из форсунки 7 попадает на контакты электрического датчика 6 начала впрыска топлива, который, в свою очередь, передает электрический сигнал на стробоскопическое устройство 4. Импульсные вспышки стробоскопической лампы высвечивают на градуированной шкале диска 13 деление шкалы, соответствующее углу начала впрыскивания топлива.

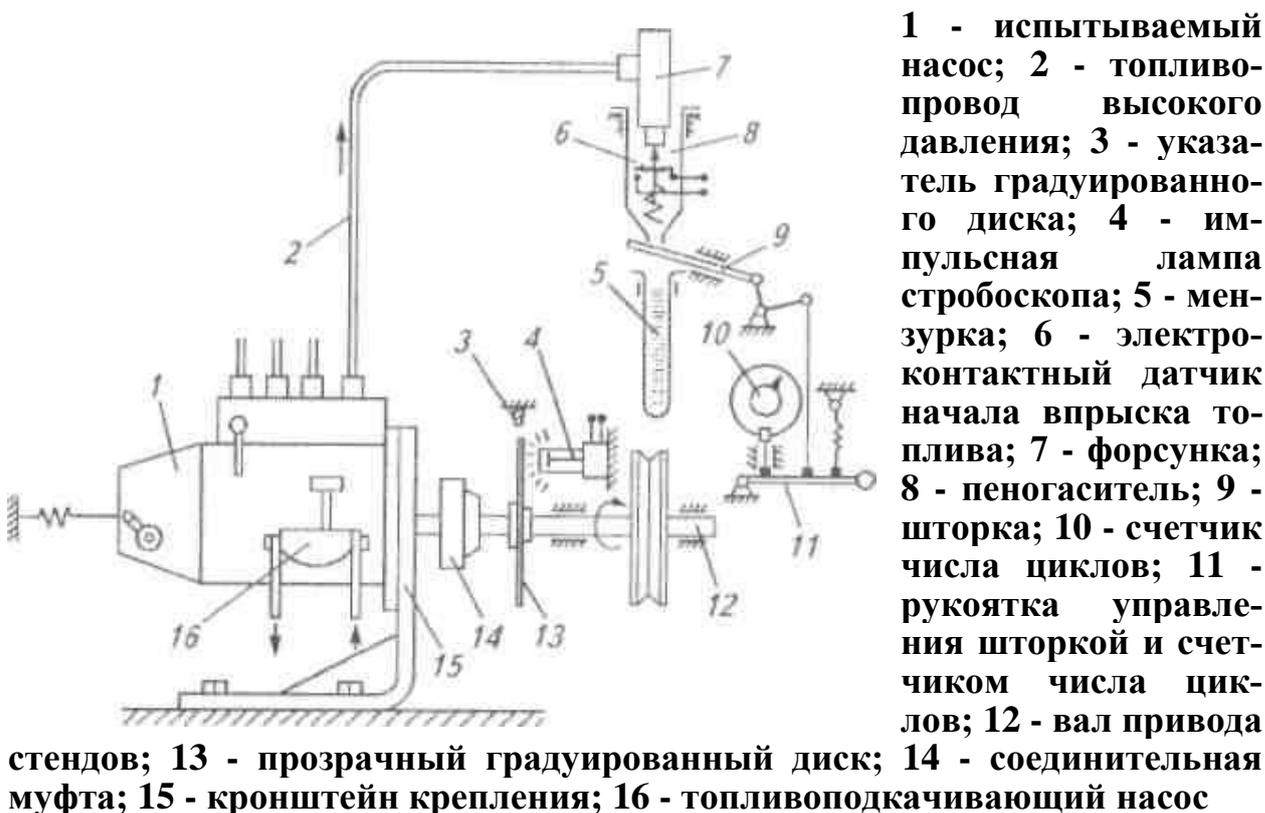
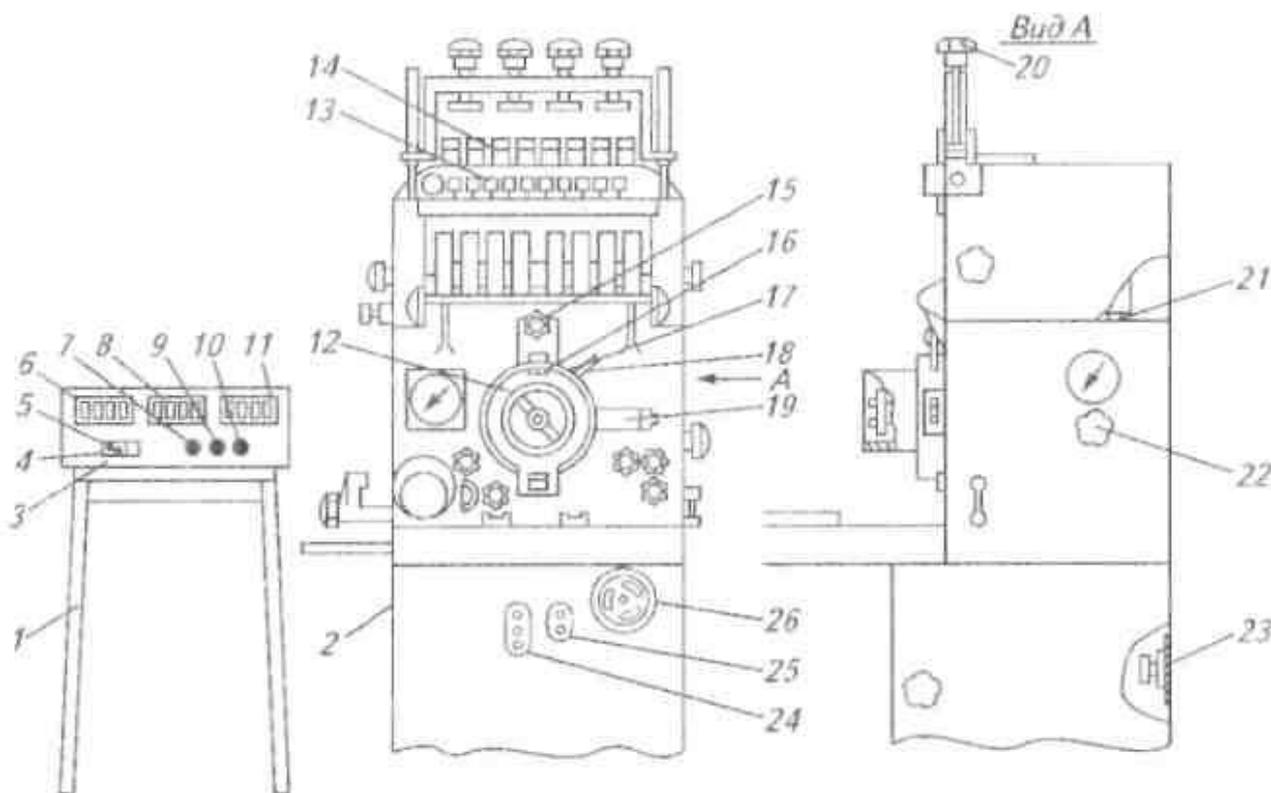


Рисунок 10 – Схема работы стенда КИ-921 М (СДТА-2) при испытании топливного насоса высокого давления

Особенности измерения других параметров топливной аппаратуры описаны в лабораторных работах.

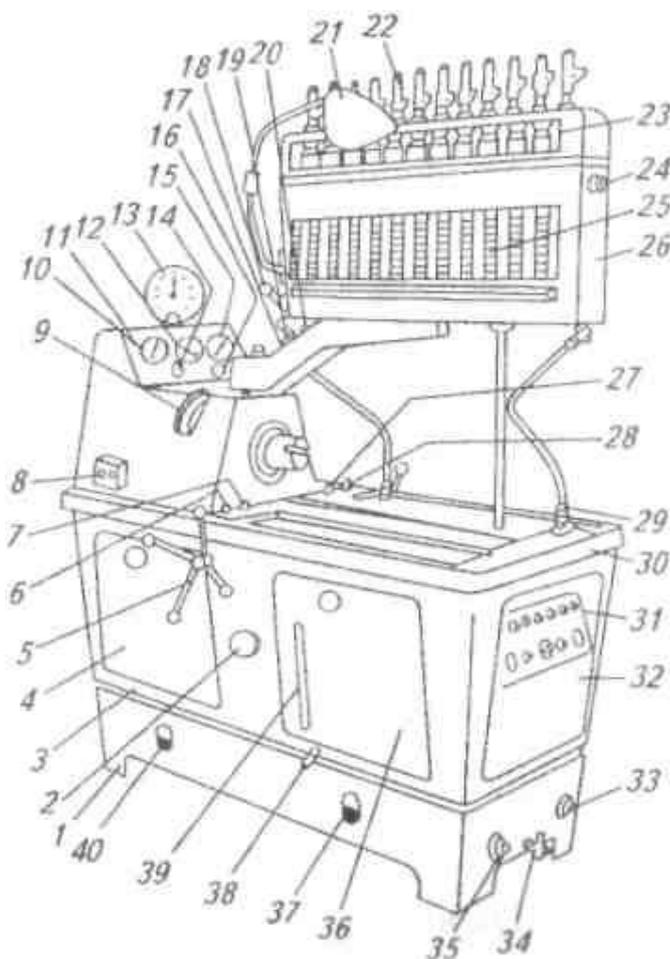
Стенд КИ-22205 изготовлен на базе стенда КИ-921М и отличается электронным блоком измерения частоты вращения вала насоса, электронным счетчиком циклов подач топлива и электронным измерением момента впрыска топлива (рисунок 11).



1 - подставка электронного измерительного блока; **2** - тумблер включения стенда; **3** - блок электроники; **4** и **5** - клавиши «Угол» и «Подача»; **6** - индикаторные лампы «Число циклов»; **7** - кнопка «Пуск»; **8** - индикаторные лампы; **9** - кнопка «Стоп»; **10** и **13** - тумблеры включения блока электроники в сеть и управления датчиками начала впрыскивания; **11** - переключатель циклов; **12** - кожух; **14** - датчики начала впрыскивания; **15** - маховик зажима кожуха; **16** - стрелка-указатель; **17** - контрольные риски; **18** - ручка поворота кожуха; **19** - фотодатчик; **20** - прижим датчиков начала впрыскивания; **21** - электрошкаф; **22** - рукоятка вентиля; **23** - заземляющее устройство; **24** - трехэлементная кнопочная станция управления электродвигателем вала привода стенда; **25** - двухэлементная кнопочная станция управления привода насоса высокого давления; **26** - маховик изменения частоты вращения вала привода стенда

Рисунок 11 – Стенд КИ-22205

Стенд «Моторпал NC - 110» производства Республики Чехия позволяет выполнять все регулировочные операции по топливному насосу высокого давления, проверять и регулировать топливоподкачивающий насос и форсунку (рисунок 12).



1 - стол; 2 - трехходовой кран; 3 - рама стола; 4, 36 - передние кожухи; 5 - штурвал управления частотой вращения стенда; 6, 7 - штуцеры подключения трубопроводов; 8 - кнопки включения и выключения электродвигателя стенда; 9 - маховик; 10, 15 - манометры; 11, 31 - панели управления; 12 - вакуумметр; 13 - тахометр; 14, 16 - регулировочные краны; 17 и 18 - рычаги поворотный и слива топлива; 19, 20 - кнопки включения и выключения числа ходов; 21 - лампа; 22 - форсунка; 23 - стакан-успокоитель; 24 - кнопка управления; 25 - мензурки; 26 - измерительный блок; 27, 28 - штуцеры; 29 - штуцер слива топлива; 30 - рабочая плита; 32 - электрический шкаф; 33 и 35 - штуцеры подвода и отвода охлаждающей воды; 34, 38 - сливные краны; 37, 40 - окна для контроля уровня топлива и масла; 39 - мензурка контроля подачи топлива

Рисунок 12 - Общий вид стенда «Моторпал NC-110»

Отличительная особенность стенда – наличие гидравлического привода между электродвигателем стенда и валом испытываемого насоса, что обеспечивает плавное и точное регулирование частоты вращения испытываемого насоса при любой его подаче. Поэтому в нижней части корпуса стенда имеются два бака с соответствующими указателями уровня масла и топлива.

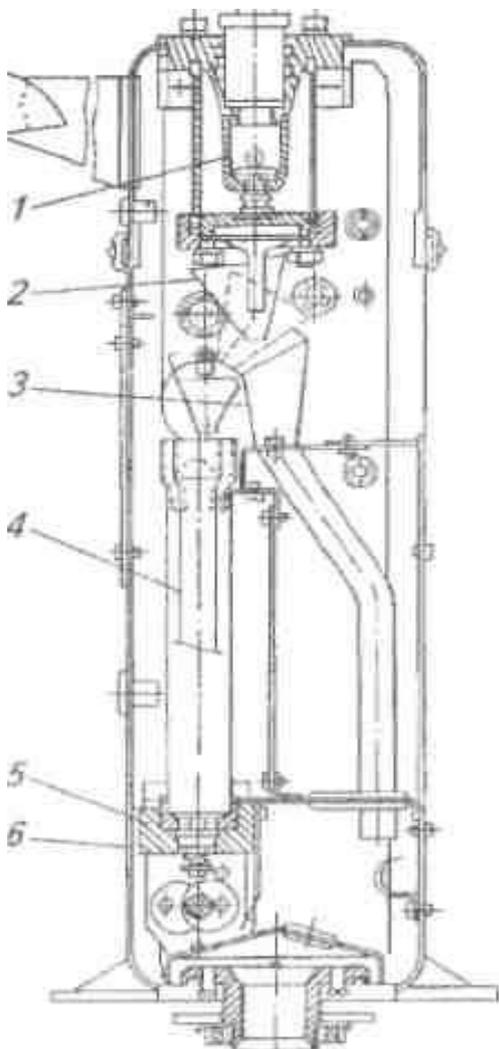
Стенд имеет стробоскопическое устройство для определения момента

начала впрыскивания топлива, обеспечивающее высокую точность измерения и регулирования.

Топливная система стенда разделена на секции высокого и низкого давления. Секция низкого давления предназначена для проверки подкачивающего насоса, а секция высокого давления - для проверки и регулирования момента начала подачи топлива, а также для контроля форсунок и их распылителей.

Стенд имеет оригинальную систему измерения подачи топлива (рисунок 13). Каждая из форсунок производит впрыск в стеклянные уловители (прозрачные стаканы 1), соединенные с трехходовым краном. В первом положении трехходового крана топливо из уловителя поступает в сливной желоб 3, во втором положении - топливо вытекает в измерительную мензурку, а

в третьем - топливо сливается из мензурок и стеклянного уловителя.



1 - стакан-успокоитель; 2 - поворотный желобок; 3 - сливной желоб; 4 - мензурка; 5 - блок клапанов; 6 - корпус.

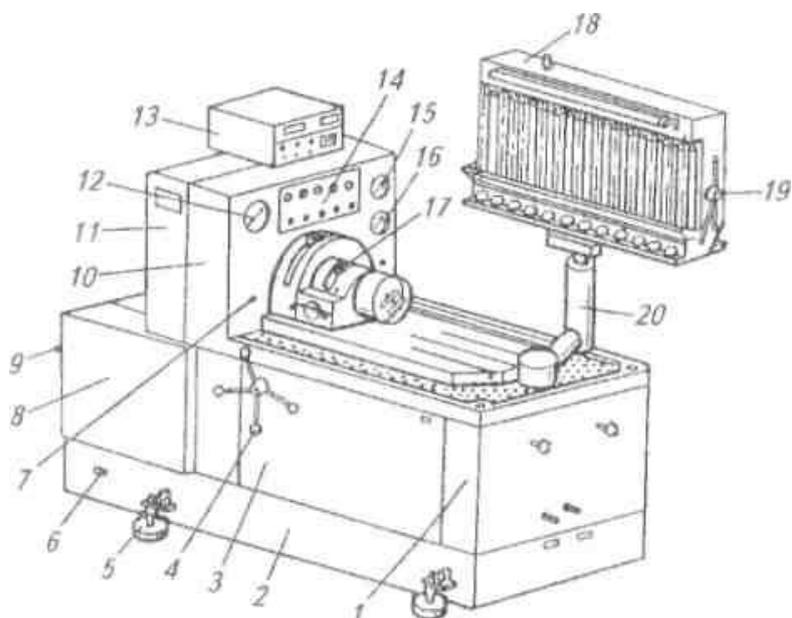
Рисунок 13 – Устройство для замера производительности секций топливного насоса

Основные органы управления стендом показаны на рисунке 12: кнопки пуска и останова электродвигателя стенда 8; штурвал управления частотой вращения стенда 5; маховик 9 служит для регулирования чередования впрыска топлива секциями насоса; кнопки включения 19 и выключения 20 счетчика циклов, измерительный блок 26 с мензурками 25, установленными на поворотном рычаге 17. В стаканах-успокоителях

23 установлены форсунки 22. Топливо из форсунок может поступать в мензурки или сливной желоб в зависимости от режима работы счетчика циклов. Сливают топливо вручную, передвигая рычаг 18.

Стенд ДД-1-03 (КИ-15711М-01-03) - один из наиболее современных отечественных стендов для испытания и регулирования топливной аппаратуры автотракторных и комбайновых дизелей. Общий вид стенда показан на рисунке 14.

Стенд состоит из следующих основных частей: основание 2, литая плита, выходной вал, мерный блок 18, электрошкаф 8, тахометр 13, гидropередача с приводом от электродвигателя, система топливоподдачи низкого и высокого давлений, измерительные приборы 12, 15, 16 и пульт управления 14.



1 - корпус; 2 - основание; 3 - крышка боковая; 4 - маховик; 5 - опора виброизоляционная; 6 - болт; 7 - выключатель; 8 - электрошкаф; 9 - автоматический выключатель; 10 и 11 - крышки передняя и задняя; 12 - термометр; 13 - тахометр; 14 - пульт управления; 15, 16 - манометры; 17, 19 - маховики управления; 18 - мерный блок; 20 - кронштейн поворотный мерного блока

ного блока

Рисунок 14 – Стенд для испытания дизельной топливной аппаратуры КИ-15711М-01-03 (ДЦ-1-03)

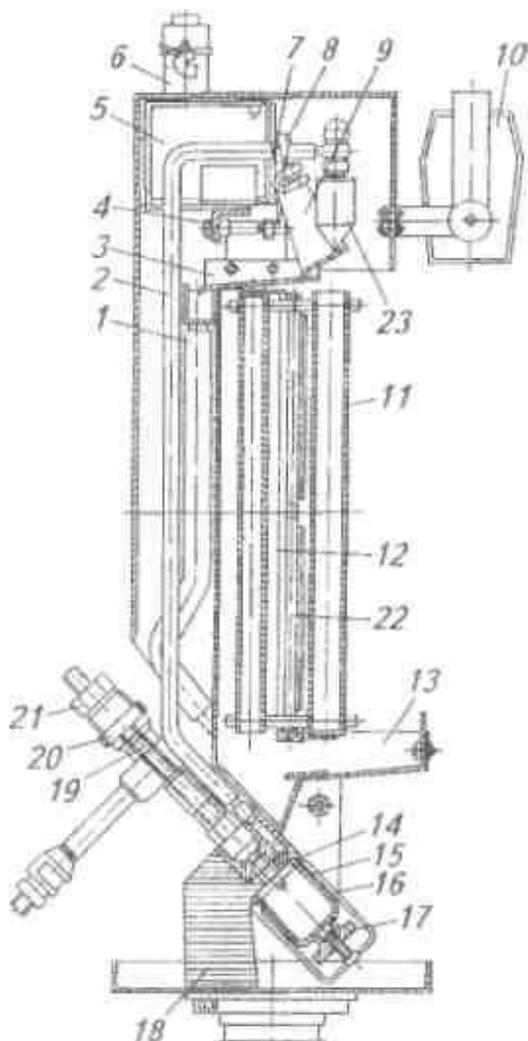
В основании стенда выполнены топливный бак и бак гидropередачи. В топливном баке находятся стендовый насос, фильтр грубой очистки, фильтр приемо-сетчатый, теплообменник.

На основании установлен насос гидropередачи с электродвигателем, электрошкаф 8, бак загрязненного топлива, а на чугунной плите (рабочем столе) – выходной вал для соединения с испытываемым насосом и мерный

блок 18 с поворотным кронштейном 20. На передней панели прибора размещены: манометры топливной системы 15 и 16, термометр, блок электронных приборов – тахометр 13 и счетчик циклов, пульт управления 14 и два аварийных выключателя 7 стенда.

Для изменения частоты выходного вала стенда предусмотрен гидропривод, предполагающий изменение частоты вращения в диапазоне 0...1400 мин⁻¹ с помощью регулируемого гидронасоса, а далее до 3000 мин⁻¹ за счет регулируемого гидромотора. Изменение частоты вращения регулируется маховиком 4.

Стенд имеет мерный блок для измерения подачи секций топливного насоса высокого давления (рисунок 15).



1 и 2 - трубки топливные; 3, 13 - лотки; 4 - винт; 5 - электромагнит; 6 - разъем; 7 - толкатель; 8 - рычаг; 9 - шторка; 10 - светильник; 11 и 12 - мензурки на 135 мл и на 40 мл; 14 - прокладка; 15 - пружина; 16 - стакан-отстойник стеклянный; 17 - зажим; 18 - корпус; 19 - шпилька; 20, 21 - гайки крепления; 22 - рамка; 23 - блок успокоителей.

**Рисунок 15 – Мерный блок стенда
КИ 15711М-01-03**

На корпусе 18 мерного блока можно устанавливать форсунки различ-

ных типов, меняя лишь крепления. Блок оснащен двумя рядами мензурок 11 и 12, что позволяет использовать тот или иной ряд мензурок (на 135 мл или 40 мл) с помощью поворотной рамки 22.

Форсунки стенда герметично соединены со стеклянными стаканами-отстойниками, куда впрыскивается топливо, которое по трубопроводам поступает к блоку успокоителей 23 и стекает по шторке 9 в топливный бак. При проведении измерений шторка 9 отодвигается электромагнитом 5, и топливо поступает в мензурки 11 или 12.

Контрольные вопросы и задания

1. Укажите основные цели и задачи проведения испытаний топливной аппаратуры автотракторных дизелей.

2. Каковы основные требования, предъявляемые к приборам и стендам, применяемым при испытании топливной аппаратуры дизелей?

3. Назовите приборы, предназначенные для проверки прецизионных пар топливной аппаратуры, форсунок и топливных насосов высокого давления.

4. Каково назначение, общее устройство, принцип действия и измеряемые параметры приборов КИ-3333, КП-1609А и ДД-2110?

5. Назначение, общее устройство, принцип действия и измеряемые параметры приборов КП-1640А и КИ-1086?

6. Объясните назначение, общее устройство, принцип действия и измеряемые параметры стендов КИ-921М, КИ-22205, КИ-15711М-1-03.

РЕГУЛИРОВАНИЕ ТОПЛИВНОГО НАСОСА НА ПОДАЧУ И РАВНОМЕРНОСТЬ ЦИКЛОВОЙ ПОДАЧИ ТОПЛИВА

Цель работы. Проверить и предварительно отрегулировать топливный насос в сборе с регулятором. Определить угол начала подачи топлива насосом и угол начала впрыска топлива форсункой, номинальную подачу топлива и неравномерность распределения подачи топлива по секциям топливного насоса. Отрегулировать названные параметры в соответствии с техническими требованиями.

Приборы и оборудование. Стенд для испытания дизельной топливной аппаратуры СДТА-2, моментоскоп.

Порядок выполнения работы.

1. Предварительно регулируют топливный насос на определенное значение и равномерность цикловой подачи топлива.

Топливный насос, укомплектованный проверенными прецизионными парами, устанавливают на стенде СДТА-1 и подсоединяют топливопроводы.

Предварительную регулировку топливного насоса на равномерность подачи топлива проводят при номинальном режиме работы, т. е. номинальной частоте вращения и при номинальном положении рейки топливного насоса.

Производительность насоса оценивают по цикловой подаче топлива, так как это небольшое значение, и чтобы уменьшить погрешность ее измерения, испытания проводят для нескольких последовательных циклов. Число циклов задают счетчиком циклов стенда. Обычно число циклов (т. е. число рабочих ходов плунжера) устанавливают равным частоте вращения кулачкового вала - частоте вращения за 1 мин. Подача топлива каждой насосной секцией соответствует минутной подаче топлива, измеряемой в см³/мин. Цикловую подачу топлива определяют после испытаний, разделив минутную подачу на число циклов испытаний (см³/цикл или мм³/цикл).

Для проведения испытаний запускают стенд, регулируют номинальную

частоту вращения вала привода стэнда (в соответствии с паспортными данными топливного насоса), устанавливают и закрепляют рычаг управления насосом на упоре максимальной частоты вращения. Счетчиком циклов задают число циклов испытаний, равное частоте вращения стэнда, включают механизм отсчета циклов. При этом топливо начинает подавать каждая насосная секция в свою мензурку. Через 1 мин впрыскивание топлива в мензурки прекращается. При правильной предварительной сборке насоса с регулятором, рейка топливного насоса на этом режиме должна находиться в положении, обеспечивающем номинальную подачу топлива в каждую мензурку. Если подача топлива отдельными насосными секциями отличается от паспортных данных, насос надо регулировать по подаче и по неравномерности подачи топлива по секциям топливного насоса.

Неравномерность подачи топлива по секциям насоса определяется

$$\delta = \frac{q_{ц.маx} - q_{ц.мин}}{q_{ц.ср.}} \cdot 100\%$$

ГДЕ: $q_{ц.маx}$, $q_{ц.мин}$ – соответственно максимальная и минимальная цикловые подачи топлива насосными секциями;

$q_{ц.ср.}$ – среднеарифметическая подача топлива, $q_{ц.ср.} = \frac{q_{ц.маx} + q_{ц.мин}}{2}$.

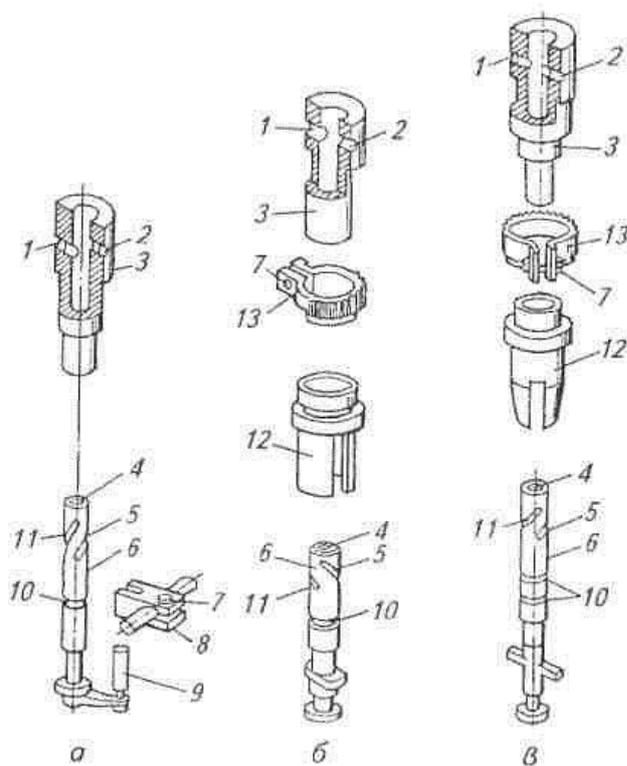
Неравномерность подачи не должна превышать определенного значения, устанавливаемого для каждого насоса и этапов регулировки и проверки неравномерности. Для большинства насосов допустимая неравномерность подачи топлива при номинальном режиме составляет 3 % при регулировке насоса и 6 % при его повторной проверке (таблица 1). Если цикловая подача топлива и неравномерность подачи не соответствуют техническим условиям, стэнд останавливают, проводят регулировку насосных секций и повторяют испытания.

Подачу топлива какой-либо насосной секцией изменяют за счет смены положения плунжера данной секции относительно неподвижной рейки топливного насоса. В разных насосах это осуществляют по-разному, что связано

с особенностями конструкции плунжерных пар (рисунок 1).

Таблица 1 – Значения допустимой неравномерности подачи топлива насосом на основных режимах в зависимости от числа плунжерных секций в топливном насосе

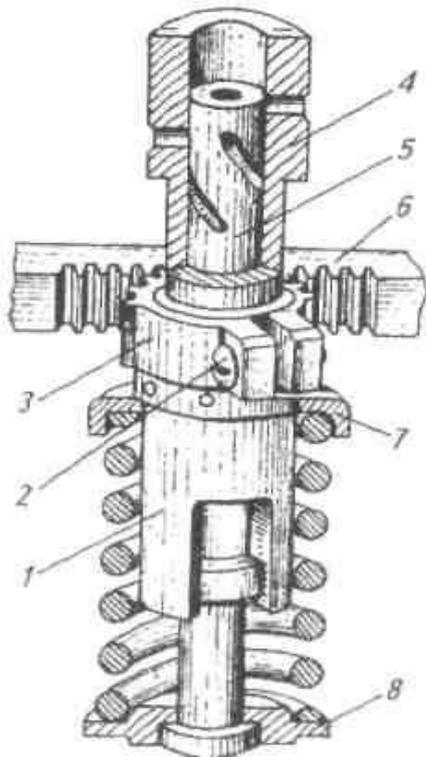
Число плунжерных секций в топливном насосе	Режим подачи топлива			
	номинальный при		холостой при	
	проверке, %	регулировке, %	проверке, %	регулировке, %
2	3	6	20	25
3	3	6	25	30
4	3	6	30	35
6	3	6	35	40
8	3	6	40	50
10	3	6	45	60
12 и более	4	8	55	75



а - УТН 8,5x10; *б* - УТНМ; *в* - ЯЗ-ТА; 1 и 2 - впускное и перепускное окна; 3 - втулка плунжера; 4 - осевое сверление плунжера; 5 - разгрузочная канавка; 6 - плунжер; 7 - стяжной болт; 8 - хомут; 9 - поводок; 10 - канавка гидроуплотнителя; 11 - отсечная кромка; 12 - поворотная втулка; 13 - сектор

Рисунок 1 – Плунжерные пары различных топливных насосов

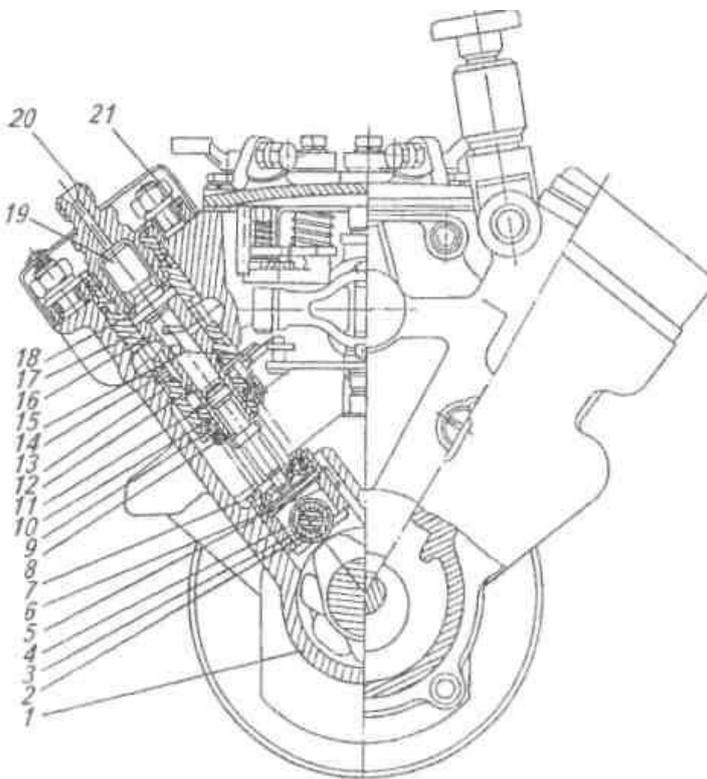
Например, в насосе типа УТН 8.5 х 10 (рисунок 1, а) для поворота плунжера б относительно рейки ослабляют затяжку болта 7 крепления хомута 8 и перемещают его вдоль рейки: для увеличения подачи – в сторону приводной шестерни насоса, для уменьшения – в сторону регулятора.



1 - поворотная втулка; 2 - стяжной винт; 3 - зубчатый венец; 4 - втулка плунжера; 5 - плунжер; 6 - рейка; 7 и 8 - верхняя и нижняя тарелки пружины

Рисунок 2 – Схема регулирования цикловой подачи топлива в секции насоса УТНМ

В насосе УТНМ (рисунок 2) подачу регулируют, изменяя положение поворотной втулки 1 (в которой установлен плунжер) относительно зубчатого венца рейки 6 топливного насоса. Стяжной винт 2 зубчатого хомута втулки предварительно ослабляют. Для увеличения подачи втулку в зубчатом хомуте поворачивают влево (по часовой стрелке, если смотреть на насос сверху).

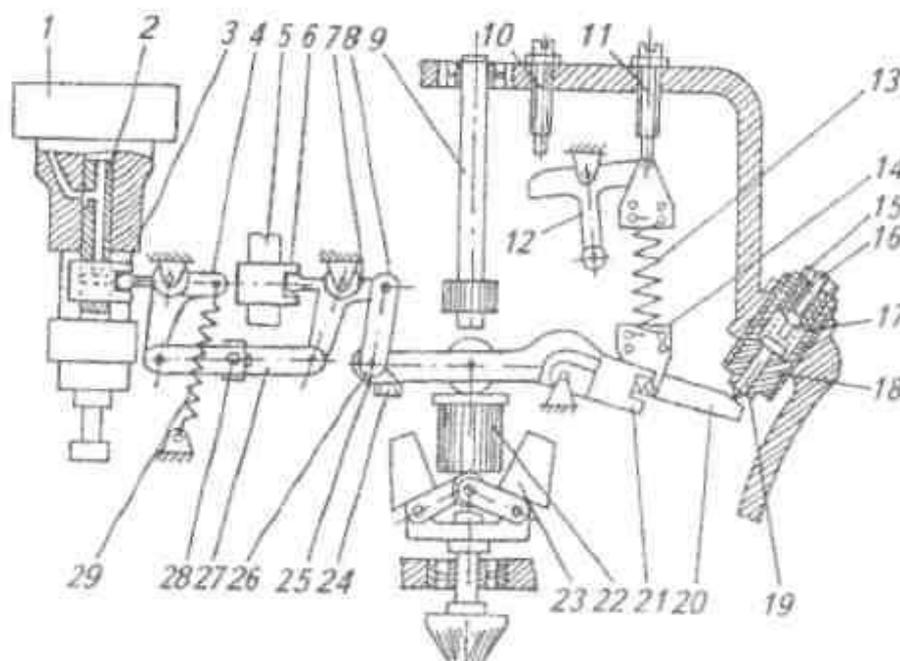


1 - корпус; 2 - ролик толкателя; 3 - ось ролика; 4 - кулачковый вал; 5 - пята толкателя; 6 - сухарь; 7 - тарелка пружины толкателя; 8 и 16 - втулки поворотная и плунжера; 9 - пружина толкателя; 10 - шайба; 11 - плунжер; 12, 13 - уплотнительные кольца; 14 - установочный штифт; 15 - рейка; 17 - корпус секции; 18 - прокладка нагнетательного клапана; 19 - нагнетательный клапан; 20 - штуцер; 21 - фланец корпуса насосной секции

Рисунок 3 – Топливный насос дизеля КамАЗ

В насосе двигателя КамАЗ (рисунок 3) для изменения цикловой подачи топлива ослабляют гайку крепления фланца насосной секции 21 и поворачивают корпус насосной секции 17 относительно корпуса 1 насоса. Увеличение подачи обеспечивается при повороте корпуса насосной секции против часовой стрелки.

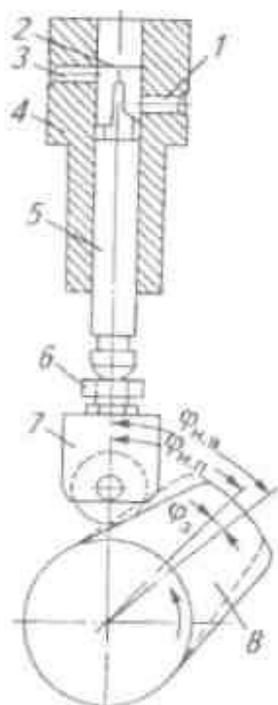
В насосах распределительного типа НД-21 регулирование неравномерности подачи топлива, подаваемого в отдельные цилиндры, в пределах одной секции не предусмотрено. В насосах типа НД-22 (рисунок 4) неравномерность подачи топлива между секциями насоса осуществляют изменением длины регулировочной тяги 27 между приводами дозаторов двух секций.



1 - втулка плунжера; 2 и 3 - плунжер и дозатор первой секции; 4, 7 - рычаги привода дозатора первой и второй секций; 5 и 6 - плунжер и дозатор второй секции; 8 - тяга основного рычага; 9 - валик регулятора; 10 и 11 - винты «Стоп» и максимальной частоты вращения; 12 - рычаг управления регулятором; 13 - пружина регулятора; 14 - серьга пружины регулятора; 15 - винт корректора; 16 - ограничитель; 17, 18, 19 и 20 - пружина, корпус, шток и рычаг корректора; 21 - основной рычаг; 22 - муфта регулятора; 23 - груз регулятора; 24 - стяжной болт основного рычага; 25 - эксцентриковый палец; 26 - шип эксцентрикового пальца; 27 - регулировочная (основная) тяга; 28 - болт тяги; 29 - пружина пускового обогапителя

Рисунок 4 – Схема регулятора топливного насоса распределительного типа НД-22/6

2. Регулируют топливный насос на момент начала подачи топлива. Начало подачи топлива каждой насосной секцией должно соответствовать определенному углу поворота кулачкового вала. Начало подачи топлива может оцениваться двумя параметрами: углом геометрического начала подачи топлива $\varphi_{н.п.}$ и углом опережения начала впрыскивания топлива форсункой $\varphi_{н.в.}$. Взаимное положение кулачка, плунжера и впускного отверстия втулки плунжера в момент геометрического начала подачи топлива схематично показано на рисунке 5. Углом геометрического начала подачи топлива считается угол между осью симметрии кулачка и осью плунжера в момент геометрического начала подачи топлива, измеряемый в градусах поворота кулачкового вала $\varphi_{н.п.}$. Разница этих углов $\varphi_3 = \varphi_{н.п.} - \varphi_{н.в.}$ – угол запаздывания начала впрыскивания топлива форсункой по сравнению с моментом подачи топлива насосом.

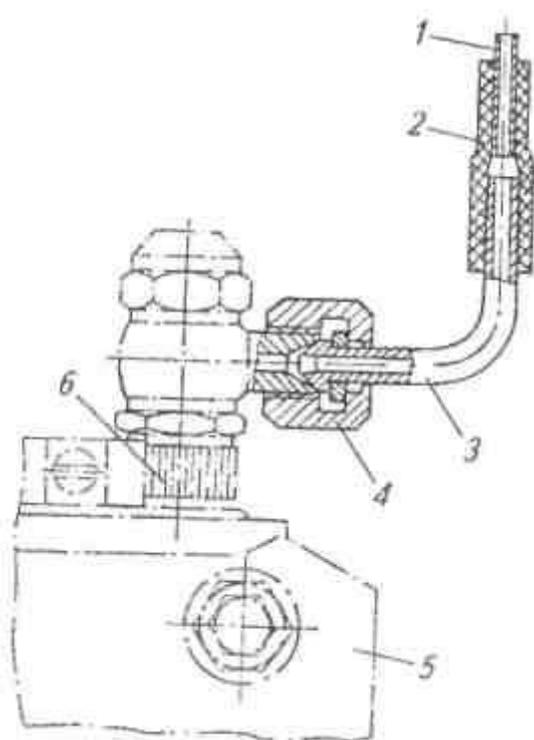


1 - отсечное отверстие втулки плунжера; 2, 4 - торец и втулка плунжера; 3 - впускное отверстие; 5 - плунжер; 6 - регулировочный болт толкателя; 7 - толкатель плунжера; 8 - кулачок вала насоса; $\varphi_{н.п.}$ - угол геометрического начала подачи топлива; $\varphi_{н.в.}$ - угол начала впрыска; φ_3 - угол запаздывания начала впрыска топлива

Рисунок 5 – Схема измерения угла геометрического начала подачи топлива и угла действительного начала подачи топлива (начала впрыска)

Угол геометрического начала подачи топлива может быть определен даже при неработающем стенде с помощью моментоскопа (рисунок 6), который для регулировки устанавливают на штуцер проверяемой насосной секции вместо топливопровода высокого давления. Как правило, регулировку начинают с первой насосной секции. Однако в некоторых двигателях регули-

ровку начинают с другой секции, например в двигателе КамАЗ-740 – с восьмой, а в КамАЗ-741 – с десятой секции. Рычаг управления регулятором устанавливают на упор максимальной частоты вращения. Проворачивая вручную кулачковый вал топливного насоса, обеспечивают заполнение системы топливом до его поступления в моментоскоп; продолжая медленно вращать вал насоса, регистрируют момент начала движения уровня топлива (мениска) в стеклянной трубке 1 моментоскопа. Угол начала подачи топлива определяют по шкале градуированного диска стенда напротив нулевого деления его неподвижной шкалы в момент начала движения топлива.



1 и 2 - стеклянная и резиновая трубки; 3 - топливопровод; 4 - гайка; 5 - корпус топливного насоса; 6 - штуцер насосной секции

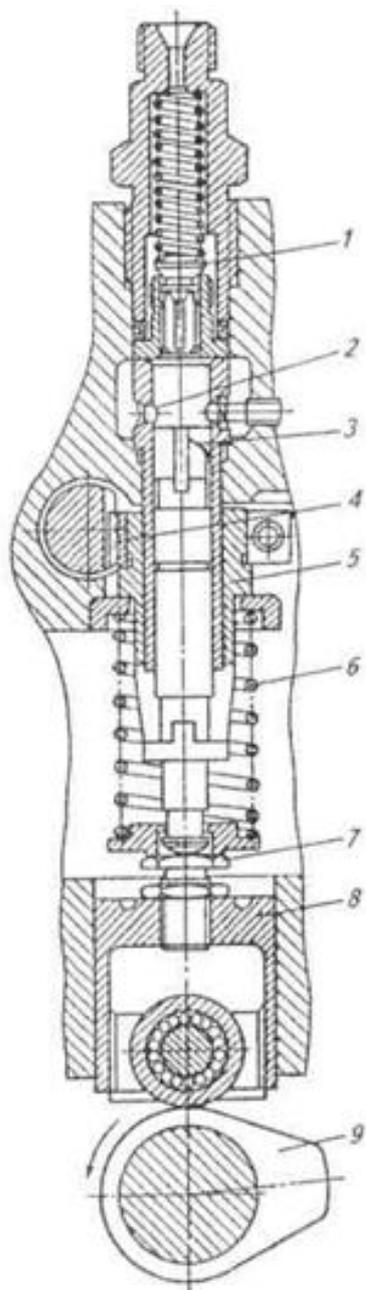
Рисунок 6 – Установка моментоскопа на штуцере насосной секции

Если угол опережения подачи насоса отклоняется от паспортных данных более чем на 0.5° , секцию насоса необходимо отрегулировать.

В насосах типа УТН-5, ТН и других угол измеряют регулировочным болтом 7 толкателя 8 (рисунок 7). Для этого ослабляют контргайку регулировочного болта. Для увеличения угла болт выворачивают, для уменьшения – заворачивают. По окончании регулировки контргайку затягивают. Если при регулировке болт толкателя был вывернут, то перед запуском стенда вручную проворачивают вал насоса, убеждаясь, что при подъеме плунжера он не

упирается в седло нагнетательного клапана.

В насосах двигателей КамАЗ и насосах распределительного типа НД угол начала подачи может быть отрегулирован заменой нижней тарелки пружины плунжера различной толщины (предусмотрено 19 размерных групп для насосов двигателей КамАЗ в диапазоне 3.6...4.5 мм и 11 размерных групп для насосов типа НД в диапазоне 2.8...3.9 мм).



1 - нагнетательный клапан; 2 - впускное окно; 3 - отсечная кромка плунжера; 4 - поворотное устройство; 5 - плунжер; 6 - пружина; 7 - регулировочный болт; 8 - толкатель; 9 - кулачок

Рисунок 7 – Секция топливного насоса с золотниковым регулированием (насосов типа УТНМ; ТН)

Определение угла начала подачи топлива начинают с первой секции, повторяют для остальных секций топливного насоса. При равномерном чередовании рабочих ходов угол начала подачи в следующей по порядку работы секции будет отличаться от предыдущего на $360^\circ/i$ (где i – число цилиндров двигателя). Например, для насоса УТНМ угловой интервал составит 90° , а для насоса восьмицилиндрового двигателя КамАЗ – 45° . При регулировке некоторых двигателей надо учитывать, что нумерация секций насосов и цилиндров не совпадает. Так, соответствие секций насоса и цилиндров двигателя КамАЗ-740 следующее.

Порядок работы цилиндров двигателя 1 5 4 2 6 3 7 8.

Угол начала подачи, град 42.5 87.5 132.5 177.5 222.5 267.5 312.5 357.5.

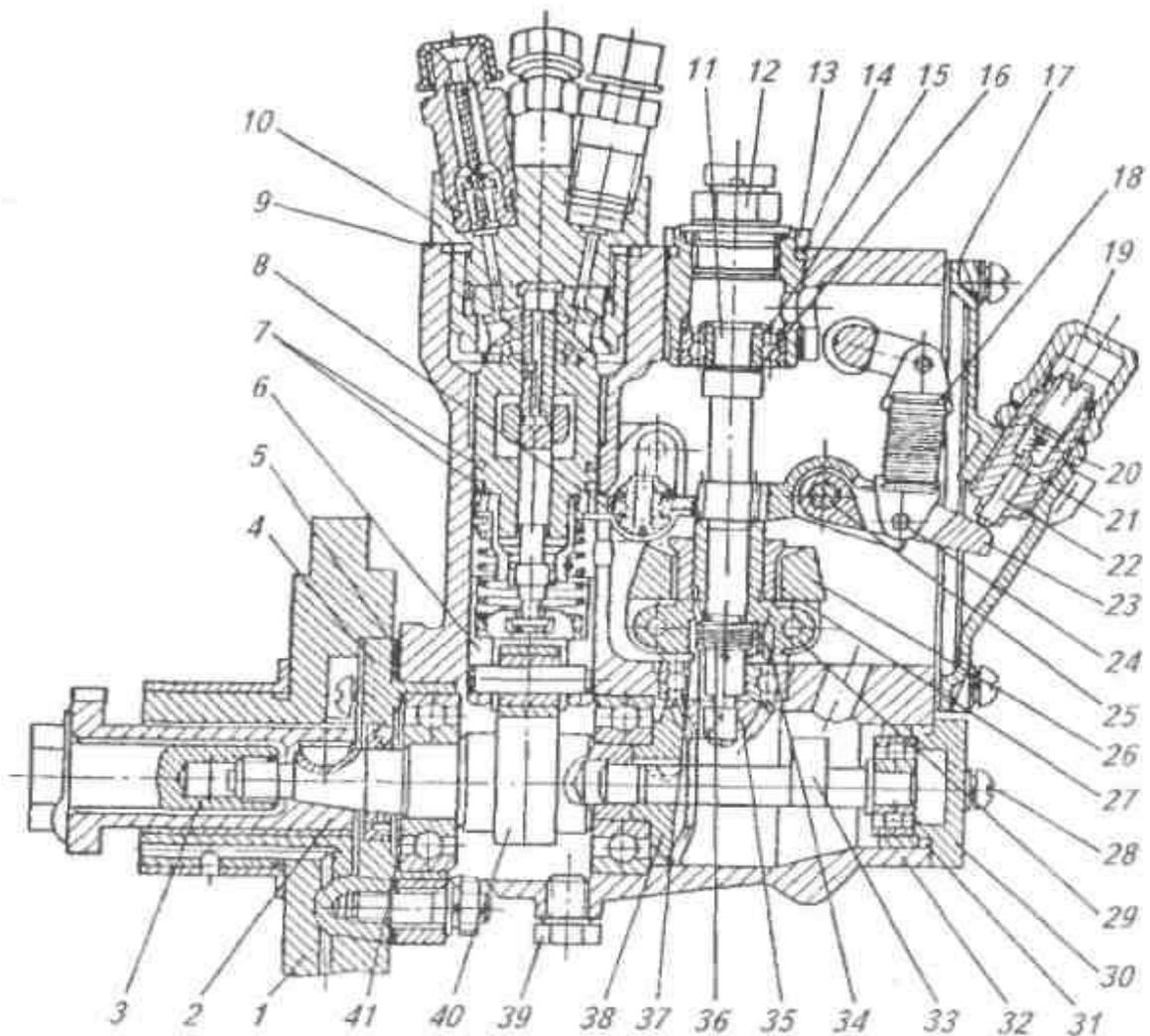
В насосах распределительного типа (НД21/2, НД21/4, НД22/6) угол начала подачи топлива в первый цилиндр регулируют, поворачивая установочный фланец 1 насоса относительно корпуса (рисунок 8). В пределах одной насосной секции эту величину не регулируют. При проведении ремонтных работ угол начала подачи топлива второй насосной секции по отношению к первой может быть изменен посредством замены нижней тарелки пружины плунжера на другую, отличающуюся своей толщиной. Проверяют углы начала подачи по отдельным цилиндрам, учитывая неравномерное чередование рабочих ходов плунжера для насосов НД21/4 и НД22/6. Порядок чередования впрысков в насосе НД22/6 с интервалом 45° и 75° следующий:

Порядок работы цилиндров двигателя 1 4 2 5 3 6.

Угол начала подачи, град 37 82 157 202 277 322.

Последствия неправильной предварительной регулировки насоса по подаче легко объяснимы. Регулирование какой-либо секции насоса на подачу топлива меньше номинальной снижает мощность двигателя. Превышение цикловой подачи топлива выше номинального значения может дать дополнительный прирост мощности одного из цилиндров, но это недопустимо, так как ведет к превышению допустимой дымности отработавших газов дизеля. Таким образом, превышение допустимой неравномерности подачи топлива приводит к снижению мощности двигателя и повышению дымности отработавших газов.

Последствия неправильной регулировки угла начала подачи топлива не столь очевидны. Известно, что количество топлива, поданного в цилиндр двигателя, соответствует периоду активного хода плунжера, который обычно составляет не более 1.5...2.5 мм. Вместе с тем полный ход плунжера h_{max} , определяемый высотой профиля кулачка кулачкового вала, в отечественных насосах может быть от 6 до 10 мм. Участок профиля кулачка, соответствующий активному ходу плунжера, выбирают исходя из требований по организации оптимальной характеристики впрыскивания для получения наилучших показателей двигателя.



1 - установочный фланец; 2 - шлицевая втулка; 3 - стяжной болт; 4 - крышка с манжетой; 5 - уплотнительная прокладка; 6 - толкатель плунжера; 7, 9, 14 и 31 - уплотнительные кольца; 8 - промежуточная шестерня; 10 - секция высокого давления; 11 - вал регулятора; 12 - сапун; 13 - верхняя крышка регулятора; 15 - лимб; 16, 28 и 41 - регулировочные прокладки; 17 - крышка с корректором; 18 и 20 - пружины регулятора и корректора; 19 и 21 - винт и корпус корректора; 22 - шток корректора; 23 - рычаг корректора; 24 и 25 - оси серьги пружины и вильчатого рычага; 26 - груз регулятора; 27 - муфта; 29 - ступица груза; 30 - крышка с подшипником; 32 - корпус насоса; 33 - эксцентриковый вал; 34 - штифт; 35 и 38 - конические шестерни; 36 - демпферная пружина; 37 - ограничительная шайба; 39 - пробка слива масла; 40 - кулачковый вал

Рисунок 8— Топливный насос распределительного типа НД-21/4

Три основные фазы движения плунжера: h_1 - фаза разгона плунжера до момента геометрического начала подачи топлива, обычно $h_1 = (0/2...0/35)$ h_{max} ; h_2 - фаза, при которой происходит подача топлива в цилиндр двигателя

– активный ход плунжера в большинстве насосов $h_2 = (0.15...0.3) h_{max}$; h_3 – фаза торможения плунжера.

Не рассматривая все факторы, влияющие на процесс подачи топлива, отметим лишь одно важное условие. Угол геометрического начала подачи топлива $\varphi_{н.п.}$ выбирают так, чтобы была обеспечена подача топлива к форсунке двигателя при скоростях движения плунжера $\omega_{пл}$ близких к максимальным. Регулирование насосной секции на более ранний или более поздний угол начала подачи топлива нарушит оптимальную характеристику впрыскивания топлива и ухудшит показатели двигателя.

Контрольные вопросы и задания

1. Дайте определения понятиям: цикловая подача топлива, равномерность цикловой подачи топлива по секциям топливного насоса, момент начала подачи топлива насосом.

2. Какова последовательность действий по регулированию равномерности подачи топлива в топливных насосах УТНМ, КамАЗ-740 и НД22/6?

3. Перечислите последовательность действий до момента начала подачи топлива в топливных насосах УТНМ, КамАЗ-740 и НД22/6.

4. Назовите примерное значение неравномерности подачи при регулировке и при проверке топливного насоса.

5. Укажите причины отличия в величине активного хода плунжера и полного хода плунжера.

6. Объясните необходимость и физический смысл регулирования момента начала подачи топлива, равномерности подачи топлива.

7. Как изменится мощность, топливная экономичность двигателя и дымность отработавших газов при увеличении неравномерности подачи топлива по секциям топливного насоса?

8. Как изменится мощность, топливная экономичность двигателя и дымность отработавших газов при отклонении значения момента начала подачи топлива от оптимального?

СНЯТИЕ СКОРОСТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОПЛИВНОГО НАСОСА

Цель работы. Определить влияние частоты вращения кулачкового вала топливного насоса n на изменение цикловой подачи топлива.

Приборы и оборудование. Испытываемые топливный насос и форсунки, установленные на стенде СДТА-2, оборудованном устройством, позволяющим перемещать и фиксировать рейку в произвольном положении.

Порядок выполнения работы. Скоростная характеристика топливного насоса - это зависимость цикловой подачи топлива от частоты вращения при фиксированном положении рейки (или дозатора) топливного насоса. В учебных опытах характеристику снимают при фиксированном положении рейки топливного насоса, соответствующем номинальной подаче топлива.

В первом опыте рейку топливного насоса устанавливают и фиксируют с помощью специального приспособления в положении номинальной подачи топлива. Далее запускают стенд, приводом стенда регулируют номинальную частоту вращения. Счетчиком циклов устанавливают число циклов испытаний, соответствующее номинальной частоте вращения.

Проводят первый опыт и измеряют количество топлива, поступающего в каждую мензурку. Сравнивают результаты с паспортными данными (см. таблицу 1...3 приложения 1) и при несоответствии корректируют положение рейки так, чтобы подача топлива в мензурки соответствовала номинальной.

Последующие 6...7 опытов проводят, изменяя частоту вращения от минимальной ($300...400 \text{ мин}^{-1}$) до максимальной частоты вращения холостого хода с интервалом $100...150 \text{ мин}^{-1}$. По окончании испытаний строят скоростную характеристику топливного насоса, показанную на рисунке 1.

Скоростная характеристика топливного насоса в значительной мере определяет изменение крутящего момента и в целом показатели дизеля в эксплуатации. В общем случае изменение цикловой подачи при изменении частоты вращения определяется конструкцией топливного насоса и форсу-

нок. Для топливной аппаратуры обычно характерно повышение цикловой подачи топлива с увеличением частоты вращения при неподвижном положении рейки топливного насоса (рисунок 2). Для объяснения данного явления можно использовать простейшую зависимость, показанную на рисунке 3.

Количество топлива, подаваемое плунжерной парой в линию нагнетания и далее в цилиндр двигателя:

$$q_{ц} = q_{геом} + q_{дросс} - q_{сж} - q_{ут}$$

где: $q_{ц}$ – суммарная цикловая подача;

$q_{геом.}$ – геометрическая цикловая подача, определяемая диаметром и активным ходом плунжера, $q_{геом.} = S_{плунжера} \cdot h_{акт}$;

$S_{плунжера}$ – площадь цилиндра;

$h_{акт}$ – активный ход плунжера;

$q_{дросс}$ – дополнительная подача топлива в нагнетательный трубопровод за счет дросселирования топлива во впускном и перепускном окнах плунжера;

$q_{сж}$ – изменение подачи за счет сжатия топлива;

$q_{ут}$ – утечки топлива через зазоры плунжерной пары.

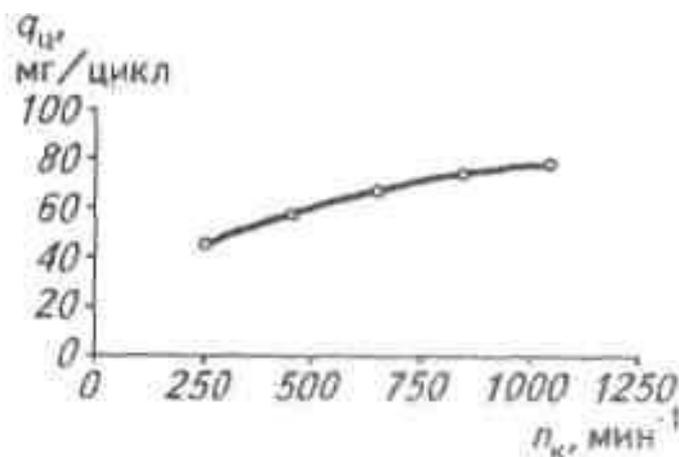


Рисунок 1 – Скоростная характеристика топливного насоса типа УТНМ

При увеличении скорости движения плунжера геометрическая цикловая подача $q_{геом.}$ не меняется. Вместе с тем проходное сечение впускного окна невелико и действительное повышение давления топлива в надплунжерном пространстве начинается до перекрытия впускного окна втулки верхней

кромкой плунжера, что приводит к более раннему открытию нагнетательного клапана и возрастанию действительной цикловой подачи по сравнению с геометрической. Вследствие быстрого движения плунжера истечение топлива из надплунжерного пространства через перепускное окно также запаздывает по сравнению с моментом геометрического окончания подачи, что также увеличивает количество топлива, поданного к форсунке, а затем и в цилиндр.

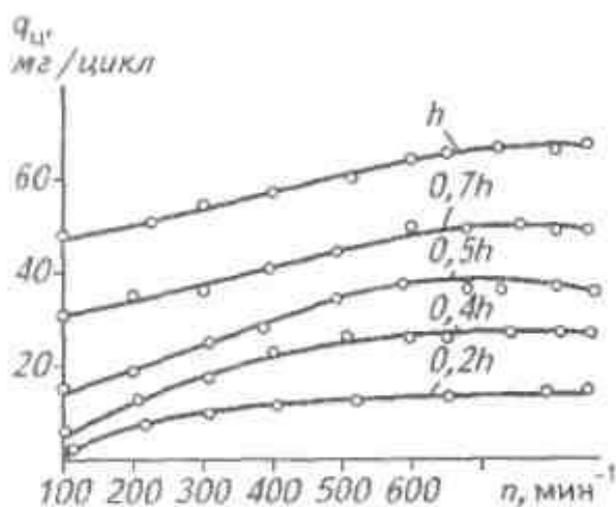


Рисунок 2 – Скоростные характеристики топливного насоса при различном активном ходе плунжера $h_{ак}$.

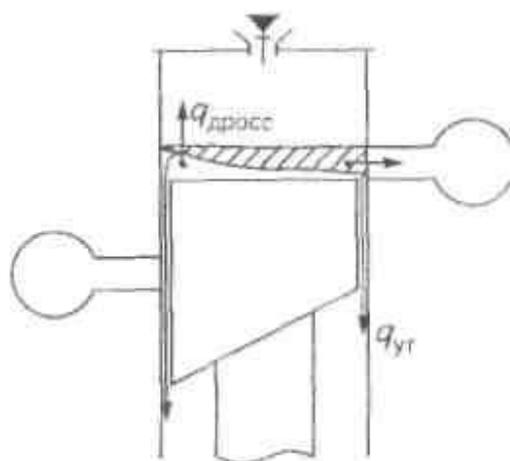


Рисунок 3 – Влияние утечек топлива и его дросселирования в отверстиях плунжерной пары на цикловую подачу топлива.

С повышением частоты вращения уменьшается время, отводимое на рабочий ход плунжера. При относительно небольших давлениях в надплунжерном пространстве снижение времени подачи приводит к уменьшению утечек топлива $q_{ут}$ в зазоры плунжерной пары, что также ведет к повышению цикловой подачи топлива.

Применительно к работе двигателя подобное повышение цикловой подачи приводит к увеличению крутящего момента двигателя с ростом частоты вращения. В свою очередь, это отрицательно сказывается на устойчивости работы тракторных двигателей на полных нагрузках.

Для получения оптимальных параметров дизеля скоростную характеристику корректируют, обеспечивая падение цикловой подачи топлива при

повышении частоты вращения. Прежде всего, протекание скоростной характеристики будет определяться конструктивными параметрами элементов линии высокого давления. Для отечественной топливной аппаратуры с кулачковым приводом и золотниковым дозированием скоростную характеристику (уменьшение цикловой подачи топлива при повышении частоты вращения) корректируют с помощью специальных конструкций нагнетательных клапанов и установки корректоров цикловой подачи в регуляторах частоты вращения.

Контрольные вопросы и задания

1. Что называют скоростной характеристикой топливного насоса?
2. С какой целью снимают скоростную характеристику топливного насоса?
3. Перечислите последовательность операций при снятии скоростной характеристики.
4. Объясните причины возможного увеличения цикловой подачи при повышении частоты вращения.
5. Как можно провести корректирование скоростной характеристики для снижения цикловой подачи топлива при повышении частоты вращения?

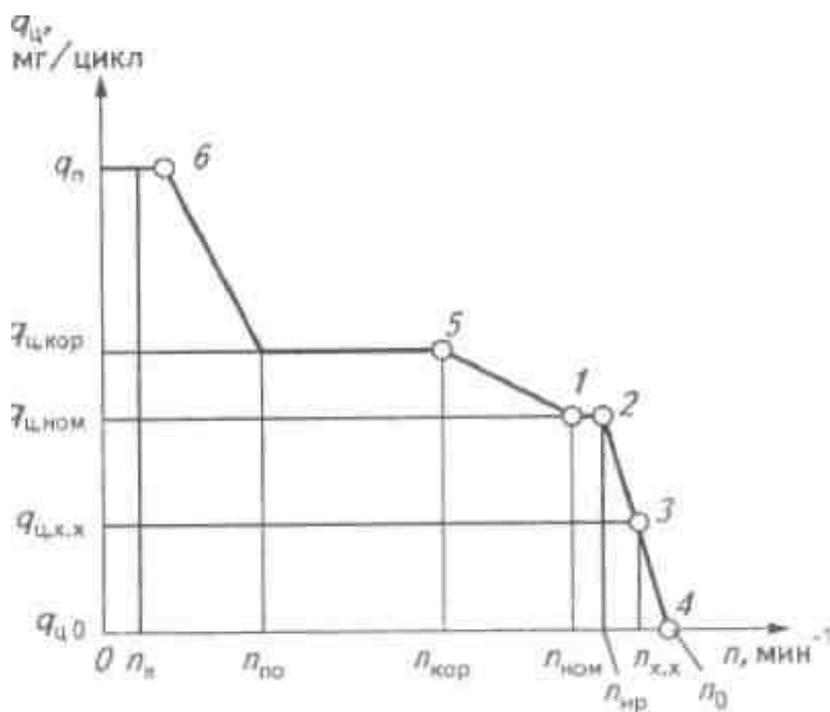
СНЯТИЕ РЕГУЛЯТОРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОПЛИВНОГО НАСОСА

Цель работы. Получить основную паспортную характеристику топливного насоса, показывающую изменения цикловой подачи топлива насосом в зависимости от частоты вращения при управлении подачей топлива регулятором. Характеристику снимают для определения соответствия регулировок топливного насоса в сборе с регулятором с паспортными данными.

Приборы и оборудование. Испытания проводят на стенде СДТА-2. Испытанию подлежат отечественные топливные насосы с всережимным регулятором частоты вращения.

Порядок выполнения работы. Перед снятием регуляторной характеристики необходимо выделить в ней три основные зоны: пускового обогащения, корректорную и регуляторную ветви характеристики. Условная регуляторная характеристика, на которой отмечены основные характерные точки, по которым обычно контролируют и настраивают топливный насос с регулятором, показаны на рисунке 1. Для тракторных двигателей основная зона работы – регуляторная ветвь характеристики (см. на рисунке 1 точки 1...4). При переходе режима, соответствующего полному выключению подачи n_o (точка 4) на номинальный режим работы $n_{ном.}$ (точка 1), небольшое уменьшение частоты вращения на 100...150 мин⁻¹ от номинальной частоты вращения холостого хода $n_{хх}$ (точка 3, $n = 2000...2200$ мин⁻¹) сопровождается значительным снижением подачи топлива от номинальной на холостом ходу ($q_{ц.х.х.}$) до номинальной цикловой подачи на режиме номинальной нагрузки ($q_{ц.ном.}$) на 60...70 %. На корректорной ветви $n_{к.бр.}$ (точки 1...5) значительное изменение частоты вращения от номинальной до минимально устойчивой может сопровождаться увеличением цикловой подачи на 12...30 % номинальной подачи. И, наконец, на режиме пуска (точка б) цикловая подача может быть на 50...100 % больше номинальной.

Для снятия характеристики рычаг управления регулятором устанавливают на упор максимальной частоты вращения.



1 - номинальный режим; 2 - «начало работы» регулятора; 3 - максимальная частота холостого хода; 4 - режим полного выключения подачи; 5 - режим максимального крутящего момента; 6 - режим пуска

Рисунок 1 – Условная регуляторная характеристика топливного насоса

Первый опыт проводят на режиме, соответствующем пусковой частоте вращения n_n , например 100 мин^{-1} . Для этого приводом стенда регулируют минимально возможную частоту вращения кулачкового вала насоса. Устанавливают счетчик циклов на значение, соответствующее частоте вращения стенда. Измеряют минутную подачу топлива, поступающего в каждую мензурку.

Второй опыт проводят при увеличении частоты вращения до 400 мин^{-1} . На этом режиме пусковой обогатитель должен прекратить работу.

Далее в опытах последовательно повышают частоту вращения на $100 \dots 150 \text{ мин}^{-1}$, вплоть до номинальной. Особое внимание уделяют измерениям на номинальной частоте вращения $n_{ном}$ и на режиме максимального крутящего момента $n_{кор}$ (точка 5). При этом частоту вращения регулируют в

соответствии с паспортными данными испытываемого топливного насоса. Всего на корректорной ветви должно быть проведено 4...5 опытов.

При дальнейшем повышении частоты вращения насос работает в зоне регуляторной ветви, где изменение цикловой подачи близко к линейной. Опыты должны быть проведены в середине регуляторной ветви характеристики $n = n_{xmax} - n_{ном.} / 2$, далее на режиме максимальной частоты вращения холостого хода n_{xx} и на частоте вращения, соответствующей полному выключению подачи топлива насосными секциями n_o .

После проведения опытов пересчитывают минутную подачу топлива V_{min} в цикловую подачу $q_{ц}$, строят характеристику $q_{ц} = f(n)$. Регуляторную и скоростную характеристики топливного насоса для сравнения целесообразно совместить на одном графике.

Определяют характерные параметры регуляторной характеристики и сравнивают их с паспортными данными (см. рисунок 1):

- номинальную цикловую подачу $q_{ц,ном}$ при соответствующей номинальной частоте вращения $n_{ном.}$ (точка 1);
 - условное «начало работы регулятора» (точка 2), характеризующееся цикловой подачей топлива, равной номинальной подаче $q_{ц,ном.}$ при частоте вращения $n_{н.р.}$, превышающей номинальную частоту вращения на 30...40 мин⁻¹;
 - цикловую подачу $q_{ц,х.х.}$ при максимальных оборотах холостого хода $n_{х.мах}$ (точка 3);
 - частоту вращения n_o , соответствующую полному выключению подачи топлива $q_o = 0$ (точка 4);
 - степень неравномерности регулятора $\delta = (n_{мах} - n_{ном.}) / n_{ср}$,
- где $n_{ср} = (n_{xmax} - n_{ном.}) / 2$;
- цикловую подачу $q_{мах}$ при частоте вращения n , примерно соответствующую режиму максимального крутящего момента;
 - коэффициент коррекции $k = q_{мах} / q_{ном.}$;
 - степень пускового обогащения $q_n / q_{ном.}$.

Отклонение параметров топливного насоса от паспортных данных

ухудшает показатели двигателя. Например, снижение номинальной частоты вращения или номинальной подачи топлива уменьшает максимальную мощность. Изменение степени неравномерности регулятора приводит к неустойчивой работе двигателя по регуляторной ветви, причем особенно это проявляется на низких частотах вращения, так как неравномерность регулятора обычно возрастает при снижении частоты вращения. Уменьшение цикловой подачи на режиме максимального крутящего момента (и соответственно коэффициента коррекции) изменит кривую крутящего момента двигателя и ухудшит устойчивость работы на полной нагрузке при средних частотах вращения. Вместе с тем превышение цикловых подач и соответствующих частот вращения по сравнению с паспортными данными также недопустимо, так как эти параметры выбраны исходя из условий допустимой дымности отработавших газов.

При отклонении параметров испытываемого насоса от паспортных данных топливный насос подлежит регулировке.

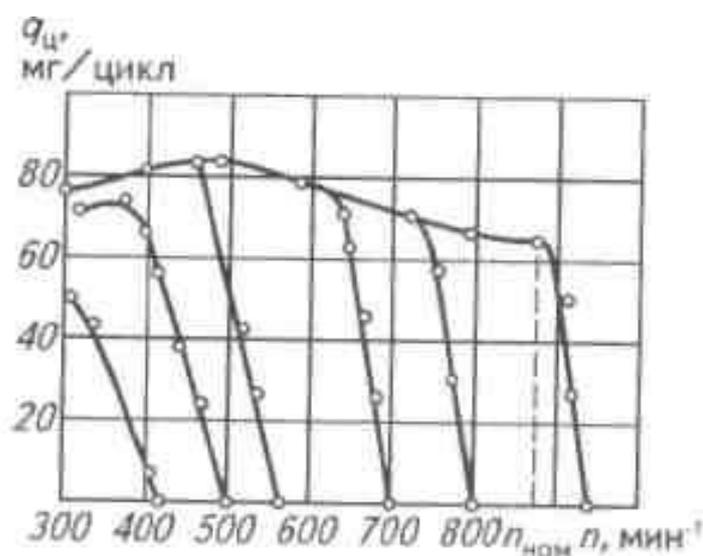


Рисунок 2 – Полная и частичные регуляторные характеристики топливного насоса

Регуляторную характеристику топливного насоса, полученную при положении рычага управления регулятором на упоре максимальной частоты вращения, называют полной регуляторной характеристикой. При работе по полной регуляторной характеристике двигатель может работать при макси-

мальном диапазоне изменения частоты вращения и развивать максимальную мощность. В эксплуатации двигатель большее время работает с неполной нагрузкой на частичных скоростных и нагрузочных режимах. Для оценки параметров топливного насоса при работе на частичных нагрузках снимают *частичные регуляторные характеристики*. Для этого рычаг управления регулятором закрепляют не на упоре максимальной частоты вращения, а в одном из промежуточных положений. В остальном, процедура снятия характеристики аналогична описанной ранее. Частичную регуляторную характеристику строят на одном графике с полной регуляторной характеристикой.

Пример полной и частичных регуляторных характеристик показан на рисунке 2.

Контрольные вопросы и задания

1. Дайте определение регуляторной характеристики топливного насоса.
2. Какова цель получения полной регуляторной характеристики?
3. Укажите условия получения характеристики и последовательность выполняемых операций.
4. Перечислите основные режимы, на которых контролируют соответствие параметров топливного насоса, полученных в результате испытаний, паспортным данным насоса.
5. Приведите примеры реальных условий эксплуатации дизеля при работе топливного насоса по регуляторной и корректорной ветвям характеристики.
6. Каковы отличия полной и частичной регуляторных характеристик?

ИСПЫТАНИЯ ТРАКТОРНЫХ И АВТОМОБИЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ИСПЫТАНИЙ

По ГОСТ 14846-81 «Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний» предусмотрены два вида стендовых испытаний – контрольные (или периодические) и приемочные. В практике также проводят научно – исследовательские и технологические испытания двигателей. Цель контрольных (периодических) испытаний – проверка соответствия фактических показателей двигателя серийного и массового производства нормативно-технической документации. Эти испытания позволяют оценить, в частности, стабильность технологического процесса предприятия-изготовителя. Контрольные испытания проводит служба технического контроля предприятия-изготовителя или независимая организация, располагающая соответствующей технической документацией на испытуемый двигатель и имеющая соответствующую испытательную базу.

Приемочные испытания проводят для определения основных показателей, вновь разработанного или модернизированного двигателя, по результатам этих испытаний принимают решение о постановке двигателя на производство, о внесении соответствующих показателей в техническую документацию на двигатель, а также о возможности использовать двигатель в определенных условиях эксплуатации. Эти испытания могут быть ведомственными, межведомственными и государственными.

Научно-исследовательские испытания проводят при создании нового и модернизации существующего двигателя в научно-исследовательских организациях или экспериментальных подразделениях завода-изготовителя. Их проводят также в целях изучения влияния внешних условий на показатели работы двигателя (высокогорье, Крайний Север, тропики, морской климат и пр.). Испытания проводят по специальным программам-методикам.

Технологические испытания проводит до официальной приемки двигателя отдел технического контроля, что позволяет оценить стабильность тех-

нологического процесса и влияние изменений в технологическом процессе на показатели двигателя. Научно-исследовательские и технологические испытания не регламентируются стандартами, а их определяют исходя из цели и задачи данных исследований.

По ГОСТ 18509-88 «Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний» предусмотрены следующие виды испытаний: приемо-сдаточные, предъявительские, периодически кратковременные, периодически длительные, типовые.

Приемо-сдаточные испытания проводят с целью контроля качества сборки и регулировки дизелей. Они должны включать определение мощности, удельного расхода топлива и давления масла при номинальной частоте вращения и положении органов управления регулятора частоты вращения, соответствующем полной подаче топлива, а также максимальной частоте вращения коленчатого вала на холостом ходу и давлении масла при минимальной устойчивой частоте вращения коленчатого вала на холостом ходу.

Предъявительские испытания проводят с целью контроля качества сборки и регулировки дизелей. При этом определяются те же параметры, что и при приемо-сдаточных испытаниях.

Допускается совмещать предъявительские и приемо-сдаточные испытания.

Кратковременные испытания проводят периодически с целью контроля соответствия показателей дизелей техническим условиям на дизели конкретных марок. Для этого определяют регуляторную характеристику, минимально устойчивую частоту вращения коленчатого вала на холостом ходу, относительный расход масла на угар.

Периодически длительные испытания проводят с целью контроля соответствия показателей безотказности и стабильности параметров дизелей, техническим условиям на дизели конкретных марок.

Контролируют показатели безотказности и стабильности параметров дизелей при помощи нормативных или ускоренных испытаний, осуществ-

ляемых повторяющимися циклами. Общая производительность нормативных испытаний на циклах должна составлять 800^{+10} ч; ускоренных испытаний на циклах – 400^{+10} ч. В начале и в конце испытаний, а также через каждые 200 ч работы на циклах следует определять регуляторную характеристику и относительный расход масла на угар.

Типовые испытания проводят после внесения в конструкцию или технологию изготовления дизеля изменений, которые могут повлиять на его параметры, указанные в технических условиях, с целью оценки эффективности и целесообразности внесенных изменений.

Испытания следует проводить по программе периодических, кратковременных и (или) периодически длительных испытаний или по специальной программе, согласованной с потребителем.

РЕЖИМЫ ИСПЫТАНИЙ

Автомобильные двигатели работают в большом диапазоне нагрузочных и скоростных режимов, соответственно и развиваемая двигателем мощность изменяется в широких пределах. Предельные возможности карбюраторного двигателя характеризуются внешней скоростной характеристикой двигателя. Так как двигатель работает в большом диапазоне скоростных и нагрузочных режимов, то оценить его возможности одной внешней скоростной характеристикой невозможно. Поэтому для всесторонней оценки работы двигателя используют семейство кривых при различных положениях дроссельной заслонки.

Некоторые показатели двигателя, например содержание вредных веществ в отработавших газах, определяют при переменных, строго регламентированных режимах работы двигателя, при изменении его частоты вращения и нагрузки.

Значение некоторых показателей, например мощности, зависит от комплектности испытуемого двигателя. Поэтому различают понятия мощности нетто и брутто, которые определяют на двигателях разной комплектности.

Международный стандарт ISO 1585-82 определяет комплектность двигателя только для мощности нетто. В этом случае двигатель должен быть оборудован стандартными системами впуска и выпуска, стандартным карбюратором или оборудованием для впрыска топлива, стандартной системой жидкостного или воздушного охлаждения, оборудованием для наддува и устройством нейтрализации отработавших газов, электрооборудованием.

Некоторые из этих систем допускается заменить эквивалентными системами. Так, впускная система может быть заменена эквивалентной, если давление на впуске отличается не более чем на 100 Па от давления, предусмотренного изготовителем для чистого воздушного фильтра, и если не изменились характеристики двигателя более чем на $\pm 1\%$ во всем диапазоне частот вращения коленчатого вала. Также можно заменить на эквивалентные системы впуска, охлаждения двигателя и масла и некоторые другие.

ГОСТ 14846-81 устанавливает комплектность двигателя, как при определении мощности нетто, так и мощности брутто. Что касается определения мощности нетто, то оно в основном совпадает с условиями международного стандарта ISO 1585-82. При определении мощности брутто, установка впускного трубопровода воздухоочистителя, глушителя шума впуска, промежуточного теплообменника наддува, вентилятора теплообменника, устройства для снижения токсичности отработавших газов определена заводом - изготовителем. Термостат может быть демонтирован, наличие вентилятора - только для двигателей с воздушным охлаждением. Карбюратор должен быть отрегулирован в соответствии с рекомендуемой предприятием-изготовителем мощностью регулировкой. Нагрузка генератора должна быть ограничена набором только необходимых приборов электрооборудования. Зарядка аккумуляторных батарей во время испытаний не допускается.

Согласно ГОСТ 18509-88 при приемо-сдаточных и предъявительских испытаниях дизель должен быть укомплектован согласно техническим условиям на него.

При периодических кратковременных, периодических длительных и

типовых испытаниях кроме определения мощности нетто необходимо укомплектовать дизель обслуживающим его оборудованием, независимо от того, установлено оно уже непосредственно на дизеле или на тракторе, сельскохозяйственном комбайне или другой самоходной сельскохозяйственной машине, для которой этот дизель предназначен.

При определении мощности нетто дизель должен быть укомплектован тем же оборудованием, что и при установке его на трактор, сельскохозяйственный комбайн или другую самоходную сельскохозяйственную машину, для которой этот дизель предназначен, независимо от того, находится оно непосредственно на дизеле или тракторе, самоходном комбайне или другой самоходной сельскохозяйственной машине.

Оборудование, установленное на дизеле, но не обслуживающее его, отключают или снимают; если это не предусмотрено конструкцией, то оборудование должно работать без нагрузки.

Радиаторы, вентиляторы, кожух вентилятора, термостат и воздухоочистители должны быть размещены на стенде по отношению к дизелю так же, как и на тракторе, сельскохозяйственном комбайне или другой самоходной сельскохозяйственной машине, для которой этот дизель предназначен. Жалюзи или шторки радиатора должны быть полностью открыты, термостат системы охлаждения снят или зафиксирован в полностью открытом положении.

ТОРМОЗНЫЕ УСТАНОВКИ

Для проведения испытаний двигателей необходимы следующие установки и приборы:

тормозная установка для замера крутящего момента двигателя; прибор для замера частоты вращения коленчатого вала двигателя; установка для замера расхода топлива и воздуха, для измерения температур, давлений, времени, для определения установочного угла опережения зажигания или впрыска топлива, для измерения токсичности и дымности отработавших газов.

При работе двигателя во время испытаний для создания внешнего сопротивления, которое поглощает развиваемую мощность, применяют различные тормозные установки. Тормозной стенд представляет собой преобразователь энергии, снабженный измерительным устройством, которое замеряет отдаваемую энергию. В зависимости от принципа создания тормозного момента тормозные устройства подразделяют на гидравлические, индукторные электрические и комбинированные.

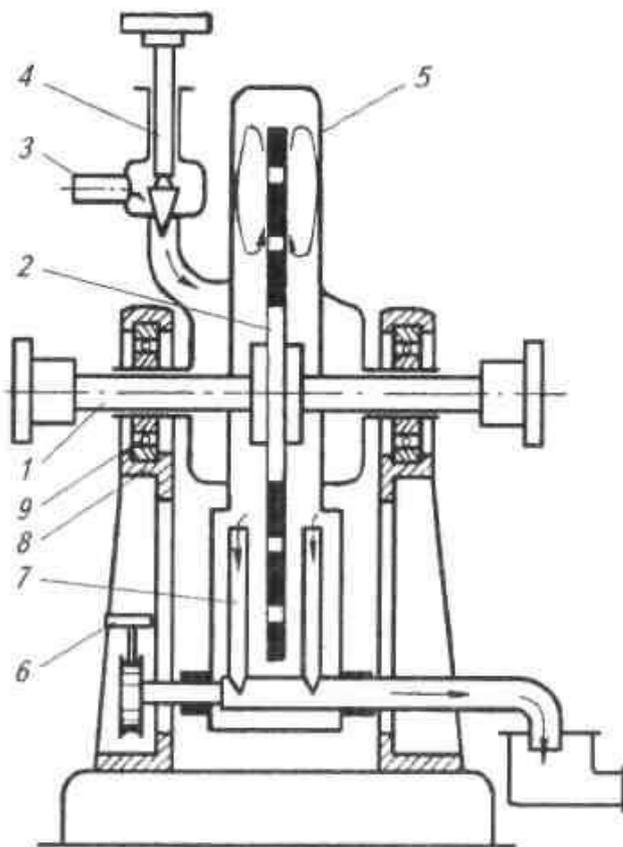
Первые два типа тормозных установок используют только для торможения двигателей, а электрические и комбинированные тормозные установки еще и для пуска, холодной обкатки, определения мощности механических потерь.

Гидравлические тормозные установки работают по принципу водяного вихревого тормоза. Мощность испытуемого двигателя преобразуется в гидравлических вихрях в тепло, которое отводится водой. Тормозной момент, создаваемый завихрением воды, передается на весовой механизм посредством соответствующе расположенной конструкции. Гидравлические тормоза просты по конструкции и энергоемкости, благодаря чему и получили широкое распространение при испытаниях двигателей. По конструкции различают дисковые, штифтовые и лопастные гидравлические тормоза.

Дисковый гидравлический тормоз. Устройство и принцип работы дискового гидравлического тормоза показаны на рисунке 1. На валу 1, который соединен с коленчатым валом испытываемого двигателя, жестко закреплен диск 2. Вал вместе с диском (ротор) расположен в закрытом кожухе 5 (статор), последний на подшипниках смонтирован в стойках 8, которые закреплены на фундаментной плите. Вода подается через трубопровод 3, а ее расход регулируют вентилем 4. Равномерность момента сопротивления зависит от давления воды, подводимой к трубопроводу 3. Для исключения колебаний давления воду желательно подводить из бака при постоянном уровне с поплавковым механизмом, находящимся на высоте 3...4 м над осью тормоза. Нагревшаяся при работе вода отводится через патрубок 7.

При вращении диска 2 на его плоскостях возникают силы трения, в результате чего вода увлекается диском и под воздействием центробежной силы отбрасывается к периферии, что повышает давление воды в зазоре между вращающимся диском и неподвижной стенкой статора пропорционально квадрату расстояния от оси вращения.

В пограничном слое у поверхности вращающегося диска угловая скорость частиц воды больше, чем в ее толще. И в то же время на поверхности диска частицы перемещаются от центра к периферии. В результате в статоре образуется вихревое движение воды, как показано на рисунке 1. За счет трения диска о воду и воды о стенку корпуса последний стремится повернуться. Для увеличения сил трения на диске сделаны ячейки, а на внутренней поверхности кожуха - радиальные ребра.



1 - вал; 2 - диск; 3 - трубопровод для подвода воды; 4 - вентиль; 5 - кожух (статор); 6 - маховичок; 7 - патрубок; 8 - стойка; 9 - шариковый подшипник кожуха

Рисунок 1 – Схема гидравлического тормоза

Скорость вихревого движения воды в тормозе устанавливается в результате равенства кинетической энергии, получаемой от диска 2, и энергии, отдаваемой кожуху (статору) 5 вследствие трения о его стенки при возвра-

щении к центру. Следовательно, момент силы трения воды о стенку равен крутящему моменту, прилагаемому к валу 1 диска 2. Под действием этого момента статор 5 поворачивается на подшипниках 9, и для его уравнивания необходимо приложить силу P на плече l рычага тормоза. Тогда момент, развиваемый тормозом,

$$M_T = P \cdot l,$$

который равен крутящему моменту $M_{кр}$, развиваемому двигателем. Тормозной момент зависит от толщины кольцевого слоя воды внутри статора, которая определяется положением входных отверстий патрубка 7, поворачиваемых редуктором с маховичком 6.

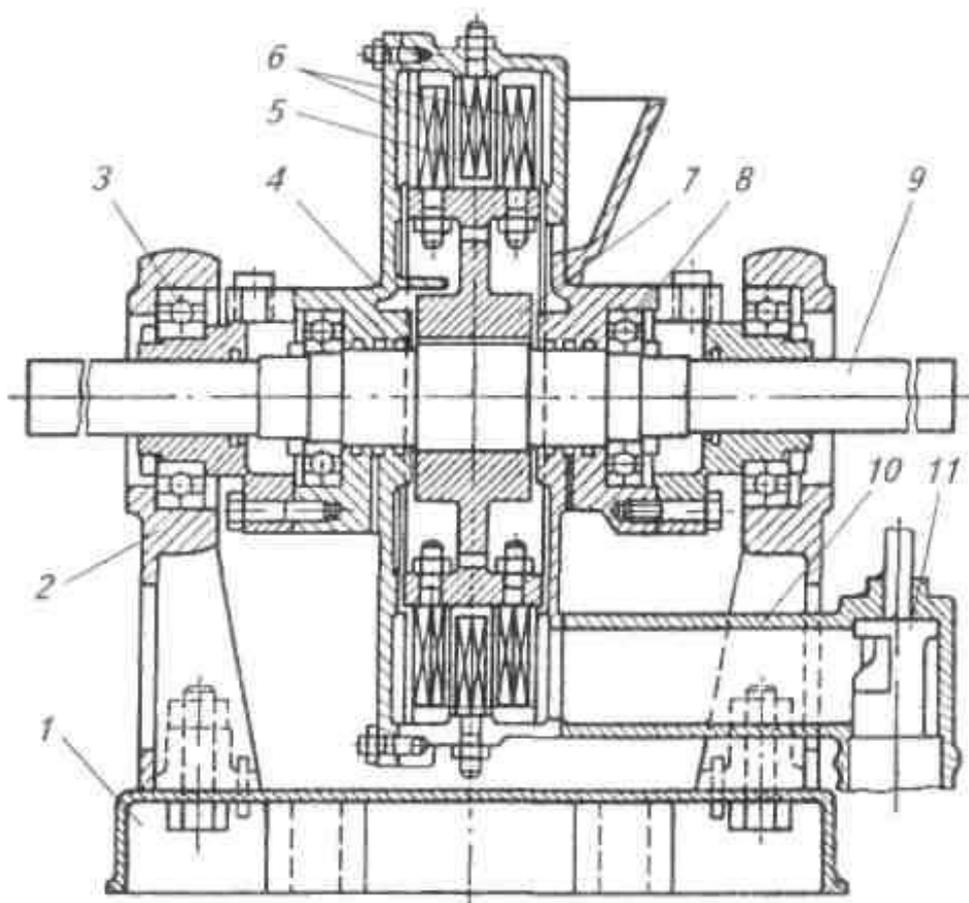
Штифтовый гидравлический тормоз. В штифтовом гидравлическом тормозе (рисунок 2) на валу 9 расположен ротор 7, который выполнен в виде барабана. На стойках 2, прикрепленных к фундаментной плите 1 на подшипниках 3, подвижно расположен статор 4. На статоре и роторе закреплены штифты квадратного сечения 6 и 5.

Внутренняя полость статора заполняется водой, уровень которой можно регулировать краном, установленным на подводящей трубе, и золотником 11, находящимся в сливной трубе.

При вращении ротора вода, находящаяся в статоре, отбрасывается в периферическую область и образует кольцевой слой, который увлекается штифтами ротора во вращательное движение. Однако штифты статора препятствуют этому и рассекают кольцевой слой воды, оказывая сопротивление вращению ротора.

Момент торможения и мощность, поглощаемая гидротормозом, зависят от толщины водяного кольца, с увеличением которой увеличивается тормозной момент.

Нагретая вода из полости статора отводится по трубопроводу 10 и регулируется золотником 11 с таким расчетом, чтобы температура ее была не более 75°C .



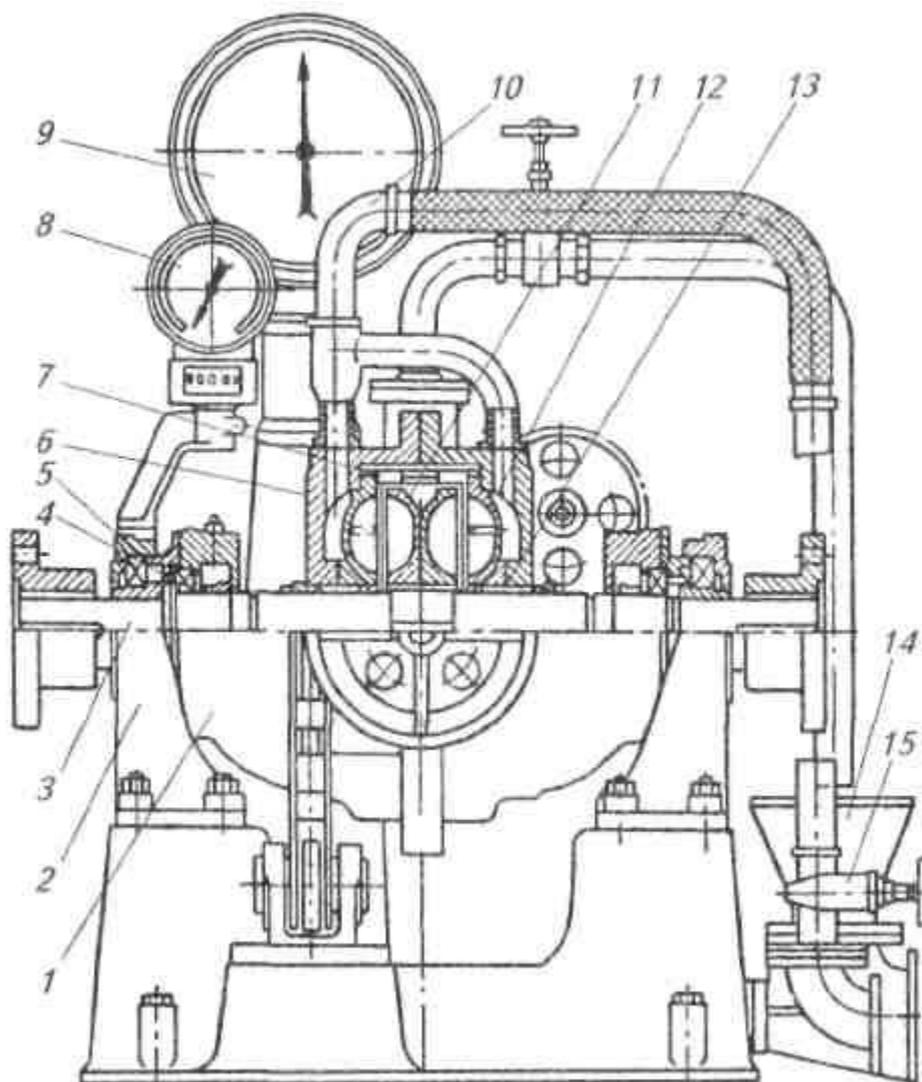
1 - фундаментная плита; 2 - стойка; 3 - шариковый подшипник статора; 4 - статор (корпус) гидротормоза; 5 - штифт статора; 6 - штифты ротора; 7 - ротор; 8 - шариковый подшипник вала; 9 - вал гидротормоза; 10 - трубопровод для отвода воды; 11 - золотник регулирования количества вытекающей воды

Рисунок 2 – Штифтовый гидравлический тормоз

Лопастной гидравлический тормоз. На валу 3 тормоза (рисунок 3) жестко смонтирован ротор 11, выполненный с углублениями полуэллиптической формы на обеих его боковых поверхностях. Такой же формы сделаны углубления на рабочих поверхностях статора.

При вращении ротора вода под действием центробежной силы движется от центра к периферии его ячеек и благодаря полуэллиптической форме по выходе из них отбрасывается в ячейки статора, по которым возвращается к центру и вновь захватывается ротором, образуя круговорот. При движении по ячейкам ротора вода приобретает кинетическую энергию и отдает ее в ви-

де работы трения о стенки статора и ротора, а также в виде потерь, вызываемых ударами, вследствие перехода потоков от ротора к статору и обратно. В результате этого, а также трения внутри жидкости вся механическая энергия испытываемого двигателя превращается в тепло, которое нагревает воду и тормоз.



1 - нижняя половина корпуса; 2 - опорная стойка; 3 - вал; 4 - главный подшипник; 5 - опорный подшипник статора; 6 - каналы в статоре для подвода воды; 7 - отверстия для выхода воды; 8 - тахометр; 9 - указатель загрузки тормоза; 10 - патрубок для подвода воды; 11 - ротор; 12 - полуэллиптические карманы статора; 13 - сальниковое уплотнение; 14 - сливная воронка; 15 - вентиль регулирования вытекающей воды

Рисунок 3 – Лопастной гидравлический тормоз

Количество воды, поступающей к ротору тормоза, согласуется с режимом испытания. Следовательно, рабочая полость тормоза не всегда заполняется полностью водой. На малых нагрузках к ротору по каналам б подводится небольшой объем воды, которая тонким слоем циркулирует по поверхностям ячеек ротора, обеспечивая необходимую тормозную мощность.

Мощность, поглощаемую тормозом, регулируют изменением количества воды при помощи заслонок, расположенных в зазоре между ротором и статором. Заслонки соединены со штоками, хвостовики которых установлены в сальниках и выходят наружу из корпуса тормоза. Резьбовые концы штоков расположены во втулках. Поворачивая втулки маховиком, можно регулировать сечение каналов ротора и тем самым изменять тормозную мощность.

Лопастные тормоза работают с полным заполнением водой, что отличает их от дисковых и штифтовых, которые более чувствительны к колебаниям давления воды в системе. Кроме того, в дисковых и штифтовых тормозах с уменьшением радиальной толщины кольцевого слоя воды при уменьшении нагрузки снижается устойчивость торможения.

В лопастных тормозах при изменении нагрузки ротор бывает либо целиком погружен в воду, либо вся его поверхность омывается потоками воды, циркулирующей в статоре. Следовательно, в любом случае создаются условия для более стабильного торможения на всех нагрузочных режимах. Лопастные тормоза более энергоемки.

Электрические тормоза. Это электрические машины в балансирном исполнении, вал которых соединяют с коленчатым валом испытываемого двигателя.

Механическая энергия двигателя в электрических тормозах преобразуется в электрическую, значительная часть которой может быть отдана в сеть. В силу обратимости электрических машин, в случае питания электроэнергией от внешнего источника тока, они превращаются в электрический двигатель и преобразуют электрическую энергию в механическую. Это дает возможность осуществить пуск двигателя, а также холодную обкатку двигателя

и определить мощность механических потерь.

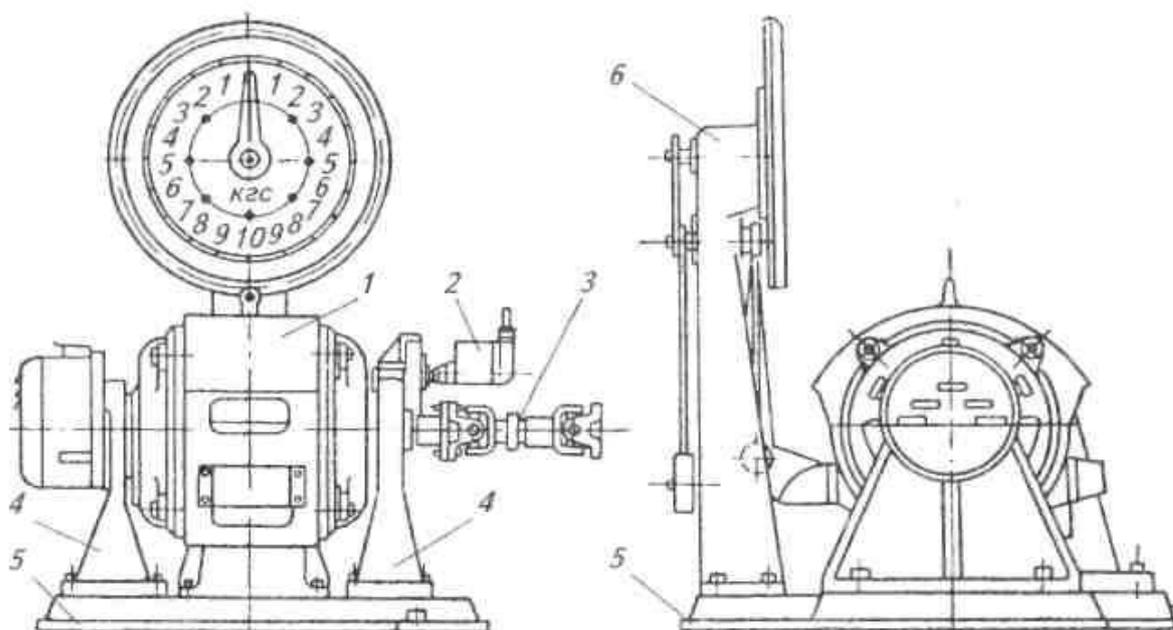
Достоинство электрических тормозов - возможность применения на автоматизированных стендах с программным управлением.

При работе электрического тормоза электромагнитный тормозной момент равен крутящему моменту, который развивает двигатель. При балансирной подвеске статора тормозной момент определяют по показаниям весового механизма.

Для торможения двигателей применяют электродвигатели переменного и постоянного тока, и называют их соответственно тормозами переменного и постоянного тока.

Электрические тормоза переменного тока – это асинхронная или синхронная электрическая машина, регулируемая с помощью реостата или различных специальных преобразователей.

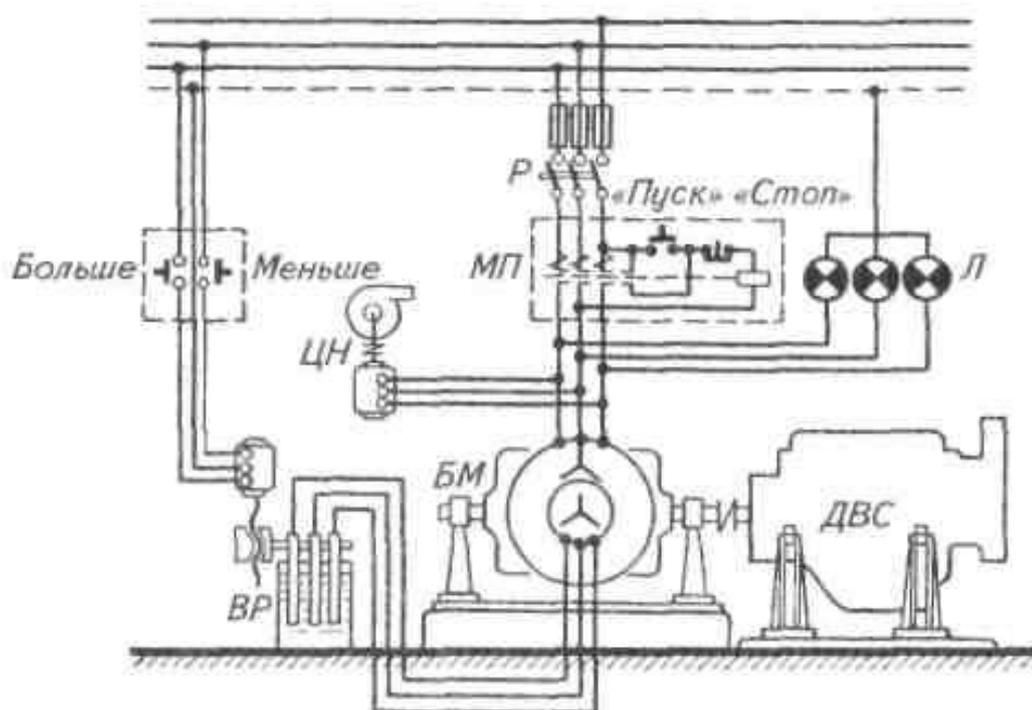
Асинхронная электрическая машина с фазовой обмоткой ротора может работать в двигательном и генераторном режимах с широким диапазоном изменения скоростного и нагрузочного режимов.



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

**Рисунок 4 – Стенд СТЭУ-40 (ГОСНИТИ)
с асинхронной машиной типа ЛК**

Устройство стенда СТЭУ-40 с асинхронной машиной показано на рисунке 4. Балансирная электрическая машина подвешена цапфами (на боковых щитах) на двух балансирных стойках 4 с шариковыми самоустанавливающимися подшипниками; стойки закреплены на плите 5. Маятниковый весовой механизм 6 также установлен на плите 5. Вал электрической машины соединен с коленчатым валом испытываемого двигателя карданным валом 3. Частоту вращения вала электрической машины измеряют тахометром, датчик 2 которого приводится в действие от вала электрической машины через зубчатую передачу.



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

Рисунок 5 – Электрическая схема тормозного стенда СТЭУ-40

Жидкостной реостат (рисунок 5) представляет собой железный бак *ВР*, наполненный 1...3 %-ным раствором кальцинированной соды. На валу при помощи изоляторов смонтированы три стальных электрода. Для создания

жесткости и равномерного расположения электродов в баке они в верхней части соединены изоляционной пластиной. Каждый электрод соединен проводом с фазовой обмоткой ротора.

Поворачивая вал, электроды погружаются в электролит. В зависимости от глубины погружения регулируют активное сопротивление в обмотках ротора и тем самым частоту его вращения (в режиме двигателя) или нагрузку (в режиме генератора). Бак реостата закрывают сетчатым кожухом. При работе реостата выделяется тепло, которое нагревает электролит в верхних слоях (на глубине погружения электродов). Количество выделяемого тепла зависит от силы тока и продолжительности работы. В результате нагрева верхний слой электролита может закипеть, что приведет к понижению уровня электролита и создаст неустойчивую нагрузку электрической машины.

Для обеспечения устойчивой работы электрической машины и реостата в конструкции последнего предусмотрены электропомпа *ЦН* для перемешивания электролита и двойные стенки бака, через пространство между которыми пропускается охлаждающая их вода.

Кроме циферблата весового механизма на основном пульте управления установлены: манометр – для измерения давления масла в смазочной системе двигателя; два указателя термометра – для измерения температуры воды на входе и выходе из рубашки охлаждения двигателя; указатель частоты вращения якоря электродвигателя.

При включении рубильника сети *P* (рисунок 5) загораются сигнальные лампы *L*, показывающие, что все фазовые обмотки балансирной машины *БМ* находятся под напряжением.

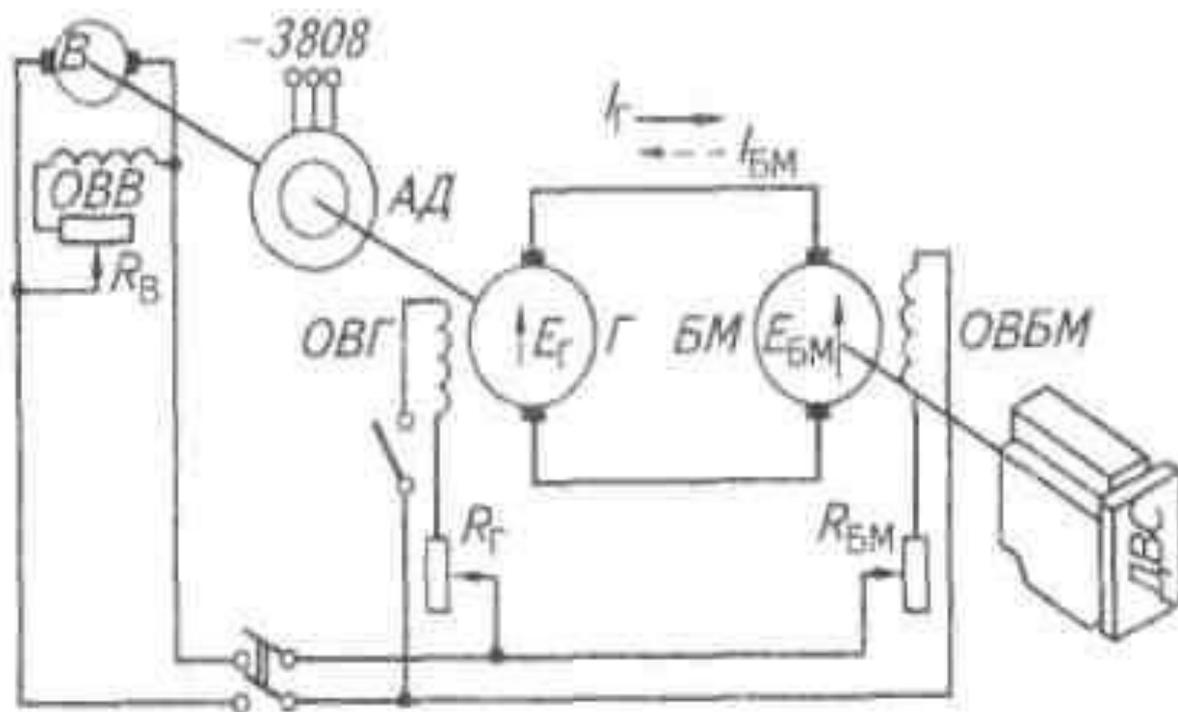
Для привода ротора электрической машины необходимо нажать кнопку «Пуск» магнитного пускателя и заглубить электроды жидкостного реостата. С увеличением заглубления электродов частота вращения ротора повышается. При включении зажигания (подачи топлива) при определенной частоте вращения испытываемый двигатель заводится.

Для получения генераторного режима ротор машины должен вращать-

ся с частотой вращения больше синхронного числа в том же направлении, что и в двигательном режиме. Для выполнения этого условия к валу ротора надо приложить крутящий момент от другого двигателя. Таким двигателем и является двигатель, обкатываемый при горячей обкатке. Изменяя значение сопротивления в обмотке ротора в генераторном режиме, так же как и в двигательном, можно изменять нагрузку испытываемого двигателя.

При работе в генераторном режиме машина превращает механическую работу двигателя в электрическую энергию, значительная часть которой поступает в сеть. Этот режим в электростендах применяют для нагрузки двигателей при горячей обкатке.

Электрические тормоза постоянного тока обычно выполняют по схеме, показанной на рисунке 6.



В - возбудитель; **АД** - асинхронный двигатель; **Г** - генератор; **БМ** - балансирная машина; **ДВС** - испытуемый двигатель внутреннего сгорания; **ОВВ** - обмотка возбуждения возбудителя; **ОВГ** - обмотка возбуждения генератора; **ОВБМ** - обмотка возбуждения балансирной машины

Рисунок 6 – Принципиальная электрическая схема тормозного стенда МПБ постоянного тока

Электробалансирную машину постоянного тока *БМ* соединяют с коленчатым валом испытываемого двигателя *ДВС*, который работает в двигательном режиме при холодной обкатке двигателя и в генераторном режиме при работе под нагрузкой.

Для работы в двигательном режиме машина *БМ* получает постоянный ток от генератора *Г*, якорь которого находится на валу асинхронного электродвигателя трехфазного тока *АД*.

Электробалансирная машина *БМ* обычно возбуждается независимой машиной постоянного тока *В*, которую устанавливают на другом конце вала асинхронного двигателя *АД*. Электрическая связь между балансирной машиной *БМ* и генератором *Г* осуществляется посредством силового кабеля.

При работе испытываемого двигателя под нагрузкой электробалансирная машина *БМ* работает в генераторном режиме и отдает энергию в сеть через преобразователь, который в этом случае работает в инверторном режиме, т. е. генератор *Г* работает электродвигателем, а асинхронный электродвигатель *АД* - асинхронным генератором.

При работе балансирной машины в режиме генератора в обмотке якоря возникает ЭДС, которая вызывает ток в центре якоря. Ток своим магнитным полем противодействует вращению якоря, а, следовательно, и вращению коленчатого вала испытываемого двигателя.

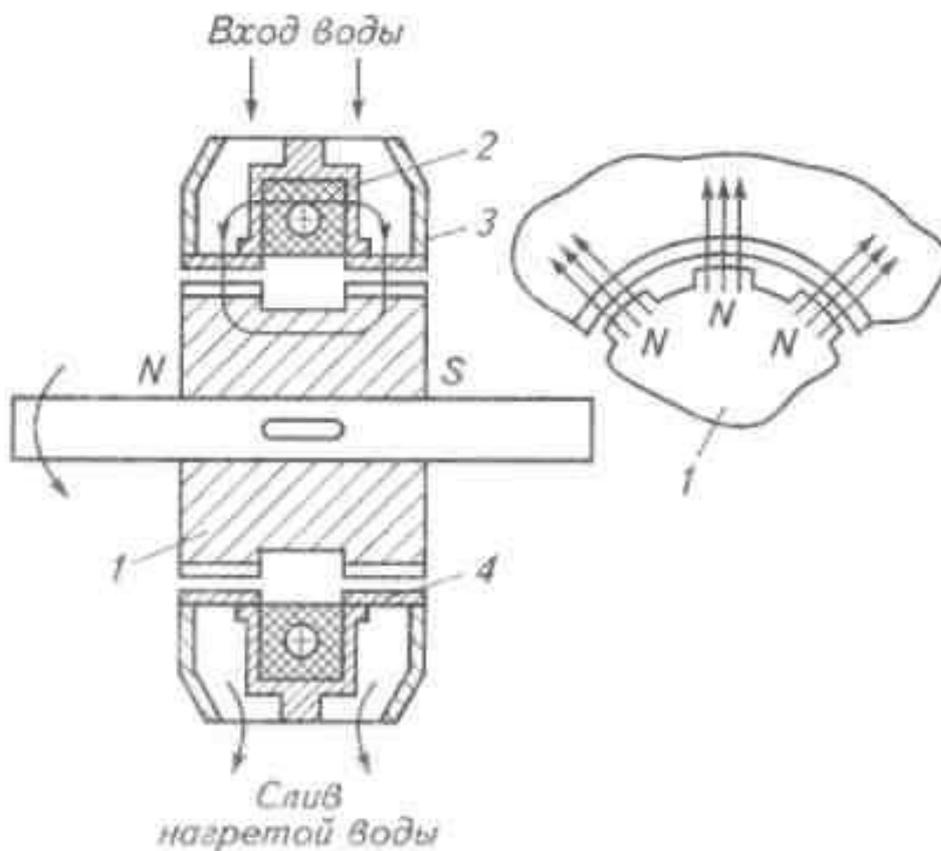
Индукторный тормоз. Он состоит из статора 3 (рисунок 7), который связан с весовым механизмом. Для размещения катушки возбуждения в статоре делают глубокий кольцевой паз. Ротор 1 выполняют с продольными пазами, вследствие чего он приобретает зубчатую форму. Во внутреннюю полость статора вставлены гильзы 4, по длине равные ширине зуба ротора.

Действие индукторного тормоза заключается в следующем: при прохождении тока по обмотке катушки возбуждения возникает магнитный поток, который, преодолевая зазор между зубьями ротора и гильзой статора, концентрируется в местах расположения зубьев ротора. Вращение вала ротора вызывает поочередное намагничивание и размагничивание отдельных зон

гильз, что приводит к возникновению вихревых токов в них. Взаимодействие основного магнитного поля ротора с магнитным полем вихревых токов статора создает сопротивление вращению вала ротора.

Нагрузку индукторного тормоза регулируют, изменяя силу тока возбуждения поддержанием постоянного скоростного режима и регулированием силы тока по мере увеличения скоростного режима. При любом способе регулирования расход энергии не превышает 0.5 % поглощаемой мощности.

Вихревые токи нагревают тормоз пропорционально мощности, развиваемой испытываемым двигателем. Для поддержания нормального теплового режима применяют водяное или воздушное охлаждение. Вода, как показано на рисунке 7, подводится к верхней части статора и затем, охлаждая ротор и статор, поступает на слив.



1 - ротор; 2 - катушка возбуждения; 3 - статор; 4 - гильза; 5 - магнитный поток в катушке возбудителя; N - магнитный поток ротора

Рисунок 7 – Схема индукторного тормоза

Индукторный тормоз конструкции НПО НАМИ снабжен двумя системами запуска испытываемого двигателя: стартерный и от асинхронного двигателя. В стартерной системе запуска на выходном валу тормоза установлен автомобильный маховик с зубчатым венцом и стартер постоянного тока напряжением 24 В.

Вторая система запуска работает от асинхронного электродвигателя мощностью 4 кВт при частоте вращения 1500 мин^{-1} , который установлен внутри станины тормоза. Вал электродвигателя клиноременной передачи соединен с ведомым шкивом, имеющим муфту свободного хода, и установлен на валу индукторного тормоза. Система запуска от асинхронного электродвигателя может быть использована для прокрутки и холодной обкатки испытываемого двигателя.

Измерение крутящих моментов в тормозных устройствах. Крутящий момент на коленчатом валу испытуемого двигателя определяют, измеряя равный ему момент реакции статора тормоза, для чего измеряют усилие на рычаге статора тормоза. Наибольшее распространение для этих целей получили маятниковые и квадрантные динамометры.

В маятниковом динамометре (рисунок 8) к сектору с радиусом r посредством ленточной тяги прикладывается измеряемая сила P . На маятнике 1, длиной l закреплен груз Q . Маятник вместе с сектором может поворачиваться на оси валика кривошипа 3. Под действием силы P маятник с грузом Q отклоняется на некоторый угол α и будет удерживаться в этом положении. Условия равенства двуплечего рычага выражаются равенством

$$P \cdot r \cdot \cos \alpha = Q \cdot l \cdot \sin \alpha$$

где: P – тормозное усилие, Н (кгс);

r – радиус кривошипа валика, мм;

α – угол отклонения маятника от вертикального положения, град;

Q – вес груза маятника, Н;

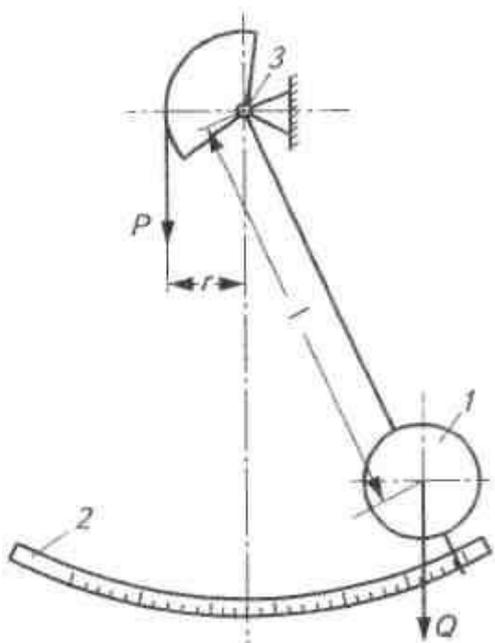
l – расстояние от центра тяжести груза маятника до оси кривошипного валика, мм.

Тормозное усилие

$$P = Q \cdot \left(\frac{b}{r}\right) \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

Обозначив постоянные величины через C , получим

$$C = Q \cdot \left(\frac{l}{r}\right).$$



1 - маятник; 2 - шкала; 3 - ось валика с кривошипом

Рисунок 8 – Схема маятникового динамометра

Тогда формула измеряемой силы примет вид

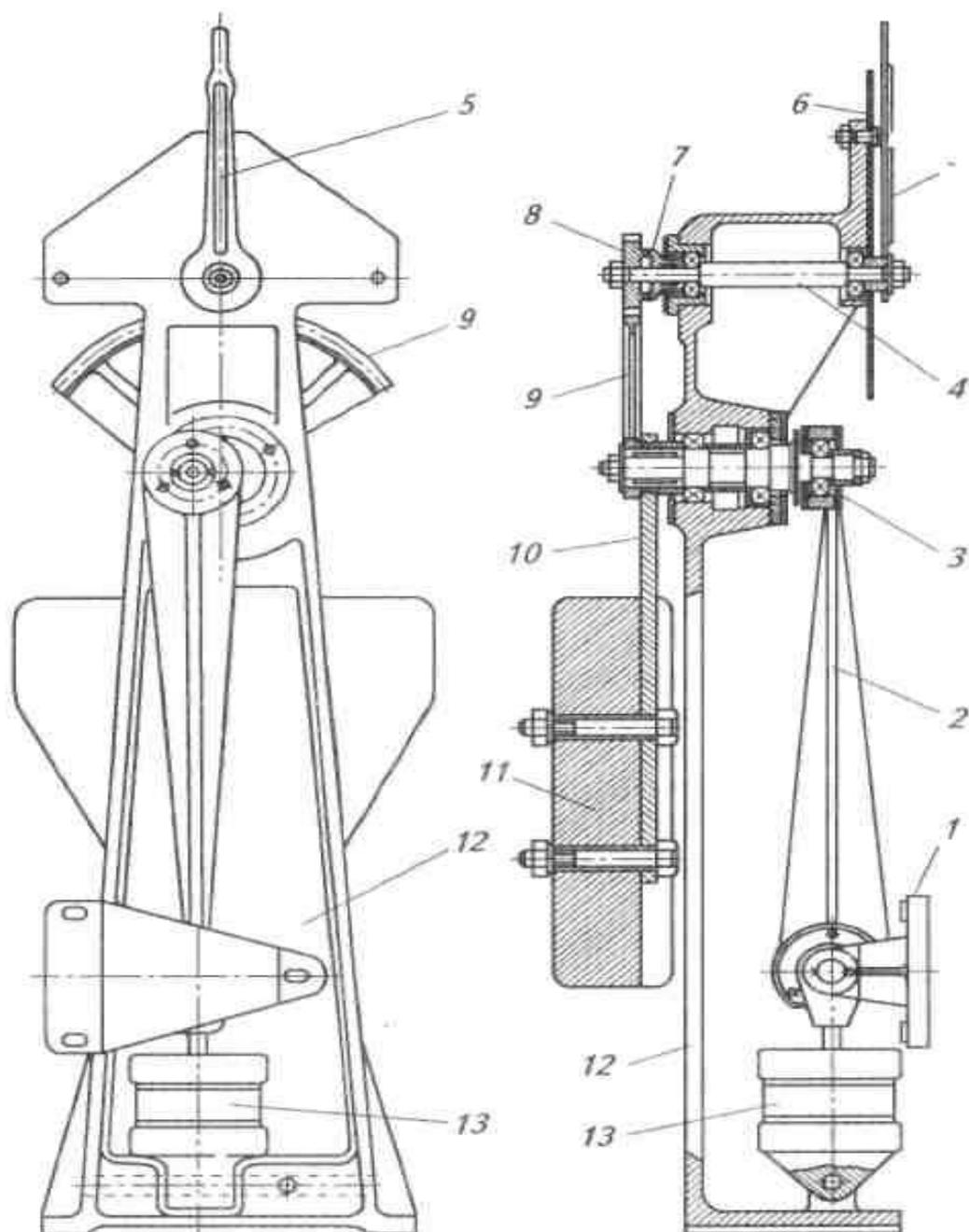
$$P = C \operatorname{tg} \alpha.$$

Следовательно, усилие на статоре тормоза пропорционально тангенсу угла отклонения маятника.

Значение $\operatorname{tg} \alpha$ берут по шкале 2 маятника динамометра, градуированной в единицах [Н], [кгс] измеряемой силы P в [Н], [кгс].

Маятниковые динамометры отличаются компактностью, наглядностью, простотой в эксплуатации и реверсивностью, что позволяет измерять усилие на валу испытываемого двигателя, как при холодной обкатке, так и при работе с нагрузкой.

В маятниковом весовом механизме электростенда ГОСНИТИ (рисунок 9) кронштейн 1 закреплен на статоре электротормоза и соединен тягой 2 с



1 - кронштейн для соединения механизма с корпусом электрической машины; 2 - тяга от корпуса машины к эксцентриковому валу; 3 - эксцентриковый вал; 4 - валик стрелки циферблата; 5 - стрелка циферблата; 6 - пульт приборов; 7 - втулка с торцовыми зубцами; 8 - малая шестерня; 9 - зубчатый сектор (большая шестерня); 10 - рычаг маятника; 11 - груз маятника; 12 - стойка; 13 - демпфер

Рисунок 9 – Маятниковый весовой механизм электростенда ГОСНИТИ

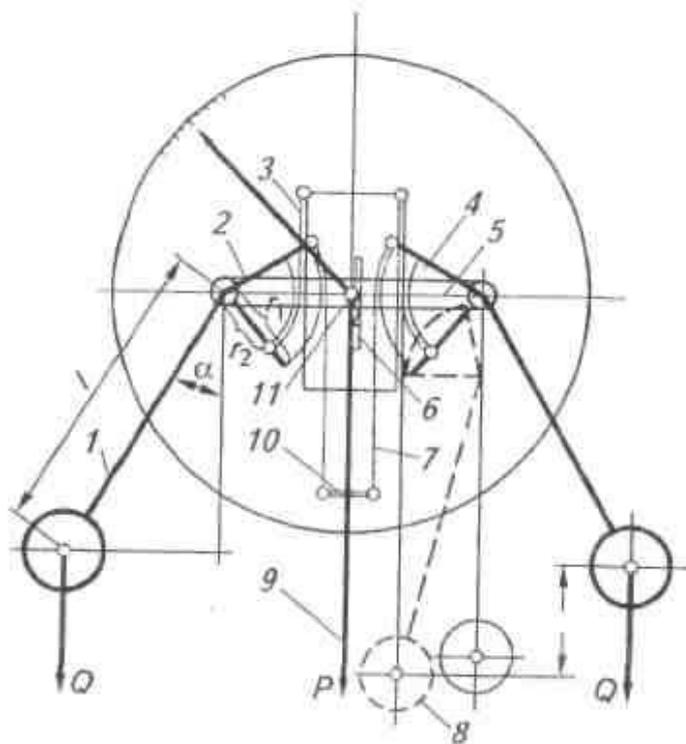
эксцентриковым валом 3. На другом конце валика 3 закреплен рычаг маятника 10 с грузом 11. При повороте эксцентрикового валика 3 маятник 10 от-

клоняется от вертикального положения и через зубчатый сектор 9, взаимодействуя с шестерней 8, поворачивает стрелку циферблата 5, показывая значение передаваемого усилия. Для повышения чувствительности весового механизма валик 4, эксцентриковый валик 3, шарнирные соединения тяги 2 и кронштейна 1 собраны на шариковых подшипниках.

Демпфер 13 служит для гашения колебаний маятника, возникающих при резком изменении нагрузки.

На циферблате весового механизма нанесены две шкалы. Одна шкала с делениями от нуля по часовой стрелке, служащая для измерения нагрузки при работе с машины в генераторном режиме, другая - с делениями от нуля против часовой стрелки - при работе машины в режиме двигателя.

В квадрантном динамометре (рисунок 10) два симметрично расположенных маятника 1 с грузом 0 снабжены секторами - квадрантами 2 с радиусом r_1 и подвешены на тонких стальных лентах 7, которые прикреплены к остову весов.



1 - маятник; 2 и 4 - малый и большой сектора-квадранты; 3 - направляющая; 5 - соединительная планка; 6 - рейка; 7 - стальная лента; 8 - груз; 9 - тяга; 10 - баланси́р; 11 - шестерня

Рисунок 10 – Принципиальная схема двухмаятниковой весовой головки

Измеряемое усилие P через баланси́р 10 и две стальные ленты 7 передается большим секторам-квадрантам 4, имеющим радиус r_2 , которые конст-

руктивно объединены с малыми секторами-квадрантами 2 и верхними концами маятников. Оси секторов связаны между собой соединительной планкой 5, к которой прикреплена рейка 6, находящаяся в зацеплении с шестерней 11, последняя жестко смонтирована на оси стрелки указателя.

В состоянии покоя, когда сила $P = 0$, маятники занимают положение, показанное на схеме штрихпунктирной линией, и центр тяжести их находится на одной вертикали с точкой подвеса лент малых секторов-квадрантов 2 к направляющим 3.

При работе двигателя с нагрузкой под действием силы P балансир 10 вместе с большими секторами опускается, а маятники перемещаются, перекатываясь на малых секторах-квадрантах 2 по направляющим 3, совершая при этом сложное движение, одновременно отклоняясь на некоторый угол α и поднимаясь вверх от своего первоначального положения, увлекая за собой планку 5 и перемещая рейку 6. Последняя вращает шестерню 11, а следовательно, и стрелку указателя, которая указывает величину силы P по шкале.

Отклонение маятника весом Q на угол α создает момент

$$M_1 = Q \cdot l \cdot \sin\alpha + r_1 \cdot P,$$

где l – длина плеча, а сила P развивает момент:

$$M_2 = P \cdot (r_2 - r_1).$$

Так как система находится в равновесии, то

$$2M_1 = M_2,$$

заменяя их значения, получим:

$$2Q \cdot l \cdot \sin\alpha + r_1 \cdot P = P \cdot (r_2 - r_1),$$

откуда

$$P = \frac{2Q \cdot l \cdot \sin\alpha + r_1 \cdot P}{r_2 - r_1}.$$

Следовательно, перемещение балансира 10 - функция силы P .

В квадрантном динамометре за счет радиусов секторов 2 и 4 имеется равномерная шкала отсчета, но она не обладает свойствами реверсивности.

Для изменения силы P с обратным знаком (другого направления) головку оборудуют специальной рычажной системой. Для уменьшения колебаний измеряемой силы устанавливают демпферы.

Характеристики тормозов. Зависимость поглощаемой тормозом мощности от частоты вращения вала - характеристика тормоза. Она позволяет оценить его как средство для поглощения мощности испытываемого двигателя.

Каждый тип тормозной установки характеризуется устойчивостью режима работы тормоза. Под устойчивостью работы понимают способность поддерживать постоянную частоту вращения при неизменном положении регулирующих органов тормоза и двигателя и восстанавливаемость ее при кратковременном нарушении равновесия между крутящим моментом двигателя и тормоза.

Мощность, поглощаемая тормозной установкой, определяется выражением

$$N_T = An^k$$

где: A – постоянное число, соответствующее работе тормоза при полной нагрузке;

n – частота вращения вала тормоза, мин^{-1} ;

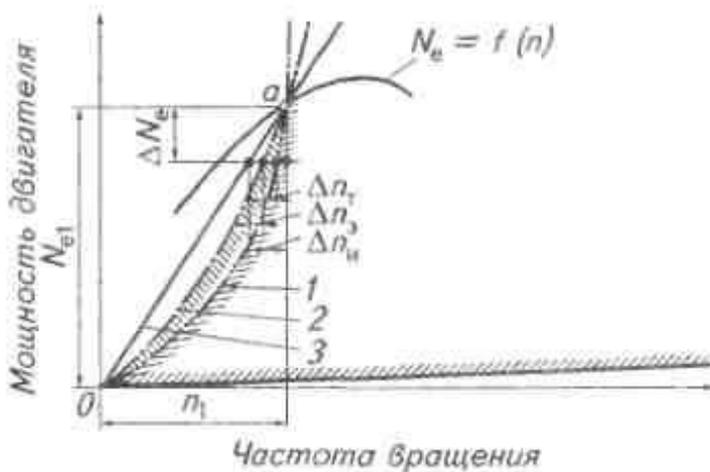
k – показатель, соответствующий типу тормозной установки. Для индукторного тормоза значение k несколько меньше единицы и зависит от силы тока возбуждателя, для электрического тормоза $k = 2$, для гидравлического $k = 3$.

Скоростная характеристика двигателя и характеристики трех типов тормозов: индукторного, электрического и гидравлического показаны на рисунке 11.

Пересечение этих характеристик в одной точке a показывает, что при частоте вращения n_1 каждый из тормозов может поглотить мощность, развиваемую двигателем N_{e1} .

Допустим, что при испытании двигателя по каким-либо причинам мощность двигателя при числе оборотов n_1 уменьшится на ΔN_e . Тогда при

неизменном положении органов управления тормозом частота вращения двигателя в зависимости от применяемого тормоза изменится на Δn_u , Δn_3 , Δn_2 .



1, 2 и 3 - гидравлический, электрический и индукторный тормоза

Рисунок 11 – Характеристика различных тормозных установок

Как видно из рисунка 11, наименьшее отклонение частоты вращения Δn_2 будет при загрузке двигателя гидравлическим тормозом. Следовательно, лучшей устойчивостью обладает гидравлический тормоз, худшей — индукторный, а промежуточное положение занимает электрический тормоз.

Следует отметить, что устойчивую работу индукторного и электрического тормозов можно легко поддерживать на заданном уровне с помощью автоматических устройств.

При выборе тормозной установки руководствуются характеристиками испытываемых двигателей и характеристикой тормоза (контур $0abcd0$ на рисунке 12).

Загрузка испытываемого двигателя при любом скоростном режиме будет возможна, если характеристика двигателя укладывается в этот контур. Для этого на график характеристики тормоза наносят внешнюю скоростную характеристику испытываемого двигателя. Если последняя выходит за пределы контурных линий $0ab$ или cd , то тормоз быстроходен или соответственно тихоходен для данного двигателя. Для испытания указанного двигателя на данной тормозной установке необходимо между валами двигателя и тормоза установить соответственно понижающий или повышающий редуктор. Если

характеристика двигателя располагается выше линии bc , то тормоз вообще нельзя использовать, так как он не подходит по мощности. Желательно, чтобы характеристика двигателя вписывалась в контур рисунка 12.

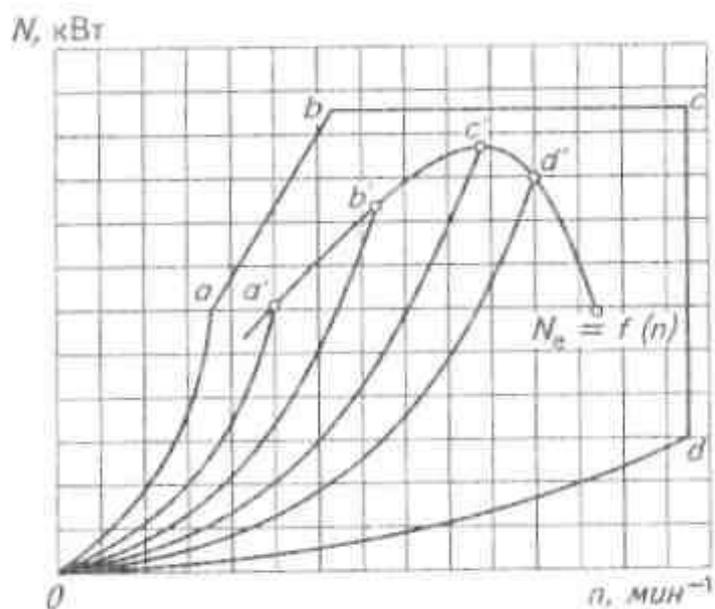


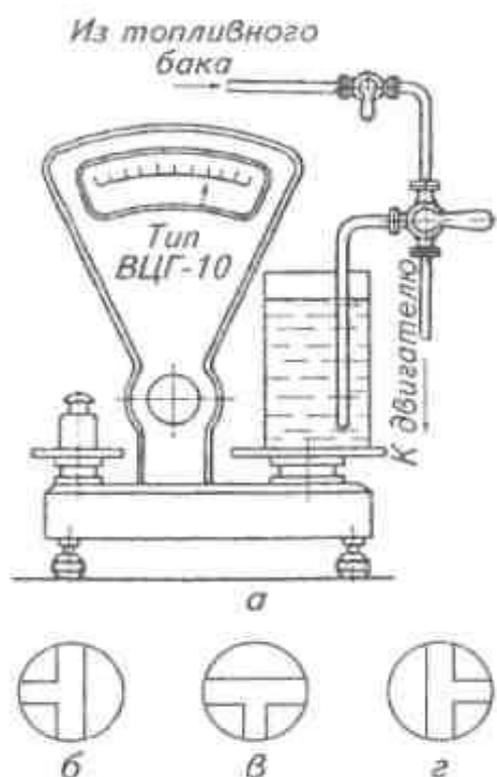
Рисунок 12 – Характеристика гидравлического тормоза

При полной загрузке мощность, поглощаемая гидравлическим тормозом, возрастает по параболической кривой $0a$. В точке a , нагрузка, создаваемая тормозом, достигает наибольшего значения, при этом она ограничивается прочностью ротора и статора. На участке ab характеристики значение крутящего момента остается неизменным. Увеличение мощности до значения b происходит за счет увеличения частоты вращения вала тормоза и ограничивается допустимым нагревом воды в тормозной установке. Участок bc характеризуется постоянством мощности. Линия cd соответствует максимальному скоростному режиму, обусловленному прочностью ротора вследствие центробежных сил. Участок $d0$ соответствует минимальной тормозной мощности, поглощаемой при отсутствии воды в тормозе, и обуславливается сопротивлением воздуха, а также трения в подшипниках.

Кривые $0a'$, $0b'$, $0c'$, $0d'$ соответствуют частичному заполнению тормоза водой при различных постоянных положениях его регулировочного органа.

УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА ТОПЛИВА

Для определения расхода топлива двигателем применяют или весовой, или объемный способ. При весовом способе замера применяют обычные циферблатные весы (рис. 13). На одну чашку весов устанавливают стеклянный сосуд, который заполняют топливом, на вторую - уравнивающие гири. В сосуд опущена трубка, которая через трехходовой кран и две трубки соединена с баком и топливным насосом испытываемого двигателя.



б - работа из бака и заполнение; **в** - за-
мер; **г** - работа из бака.

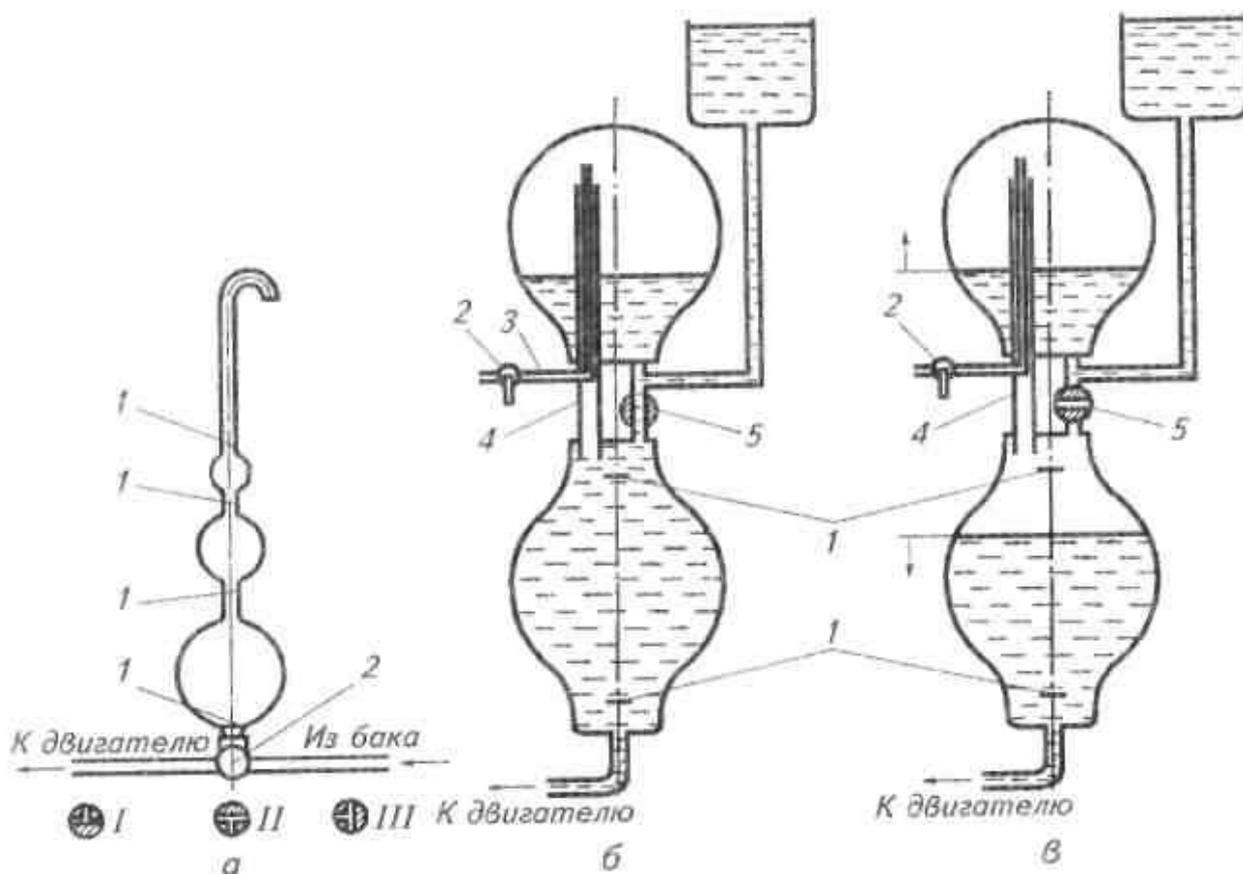
Рисунок 13 – Схема установки
для измерения расхода топлива
по массе (*а*)

Перед началом замера сосуд заполняют топливом до определенного уровня. Поворотом трехходового крана переводят питание двигателя на топливо из сосуда. По мере расхода топлива стрелка весов отклоняется и в момент, когда она будет находиться против деления шкалы, соответствующего 100 г, включают секундомер; выключают его после того, как двигателем будет израсходована заданная масса топлива. После этого трехходовой кран устанавливают в положение, при котором топливо в двигатель поступает из бака. Часовой расход топлива, кг/ч,

$$G = \frac{3.6\Delta G_T}{t}$$

где: ΔG_T – масса дозы топлива, израсходованной за опыт, г;

t – время расхода дозы топлива, с.



1 - метка; 2 - трехходовой кран; 3 - трубопровод; 4 - трубки; 5 - кран; I - заполнение; II - работа из баков; III - работа из колб

Рисунок 14 – Схема установки для объемного замера расхода топлива при помощи мерных колб (а) и штрихпробера (б и в)

При объемном способе замера топлива применяют стеклянные мерные колбы разного объема, соединенные между собой узкими каналами (рисунок 14, а). При тарировке на шейки мерных колб наносят метки. Узкие переходы между мерными колбами необходимы для увеличения скорости протекания топлива в зоне меток, что позволяет с большей четкостью фиксировать момент прохождения топливом контрольных меток.

Перед замером расхода топлива колбы заполняют при помощи трехходового крана. После того как режим работы двигателя установится, поворотом трехходового крана переводят питание двигателя из колб, отмечая при

этом время расхода топлива из одной, двух или всех трех колб.

Часовой расход топлива, кг/ч,

$$G_t = \frac{3.6 \cdot \Delta V_T \cdot \rho_T}{t}$$

где: ΔV_T – объем топлива, израсходованный за опыт, см³;

ρ_T – плотность топлива, г/ см³.

При замере расхода топлива мерными колбами напор постоянно изменяется. Этот недостаток отсутствует при замере расхода топлива мерными колбами закрытого типа, называемыми приборами **штрихпроберами**.

Штрихпроберы позволяют поддерживать давление в системе подачи, равное напору столба, соответствующего высоте расположения топливного бака относительно двигателя. При этом запаздывание с переключением питания на бак не вызывает прекращения питания двигателя и, следовательно, его остановку. Схема устройства и действия штрихпробера показана на рисунке 14, б и в. Топливо в систему питания двигателя подается под тем же самым напором, так как воздушные пространства верхней и нижней колбы соединены трубкой 4. По мере понижения уровня топлива в нижней колбе воздух из верхней колбы через трубку 4 за счет напора топлива из бака поступает в нижнюю колбу, а верхняя колба тем временем заполняется топливом по трубопроводу 3. Если не открыть трехходовой кран 2, то перебоя в подаче топлива не будет. Топливо, заполнив верхнюю колбу, начнет перемещаться по трубке 4 в нижнюю. Кран 5 во время работы закрыт и служит для установления в верхней колбе необходимого давления воздуха.

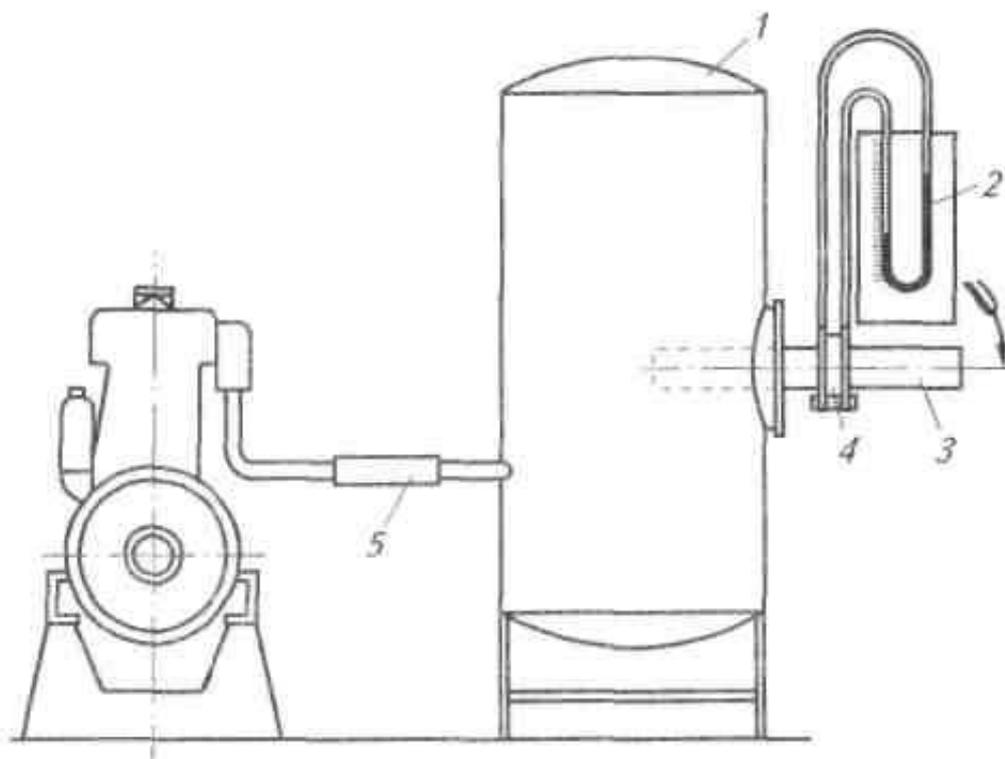
В основу работы автоматических приборов для замера расхода топлива положен весовой или объемный способ.

УСТАНОВКИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА ВОЗДУХА

Для определения коэффициента избытка воздуха и коэффициента наполнения необходимо знать часовой расход воздуха, для замера которого чаще всего применяют один из трех способов: с помощью острой диафрагмы,

измерительной насадки или расходомера типа РГ. Схема установки измерения расхода воздуха при помощи острой диафрагмы показана на рисунке 15.

Установка состоит из впускной трубы 3, диафрагмы 4, манометра 2 со шкалой и ресивера 1, который необходим для снижения пульсаций потока воздуха, засасываемого в цилиндр. Объем ресивера должен быть не менее 200-кратного рабочего объема цилиндра испытываемого двигателя. Диаметр отверстия диафрагмы подбирают с таким расчетом, чтобы сопротивление всей установки было равно сопротивлению воздухоочистителя, снимаемого с двигателя. Измерение расхода воздуха основано на измерении скорости воздуха, а также его давления при прохождении суженного сечения диафрагмы.



1 - ресивер; 2 - манометр; 3, 5 - впускная и всасывающая трубы; 4 - диафрагма

Рисунок 15 – Схема установки для измерения расхода воздуха при помощи диафрагмы

Разрез диафрагмы, ось которой совпадает с осью впускной трубы, показан на рисунке 16.

Часовой расход воздуха, кг/ч,

$$G_B = A\sqrt{\Delta h\rho_B}$$

где: A – постоянная прибора; $A = 0.00125a\cdot\varepsilon\cdot K_t\cdot d^2$ (здесь a - коэффициент расхода;

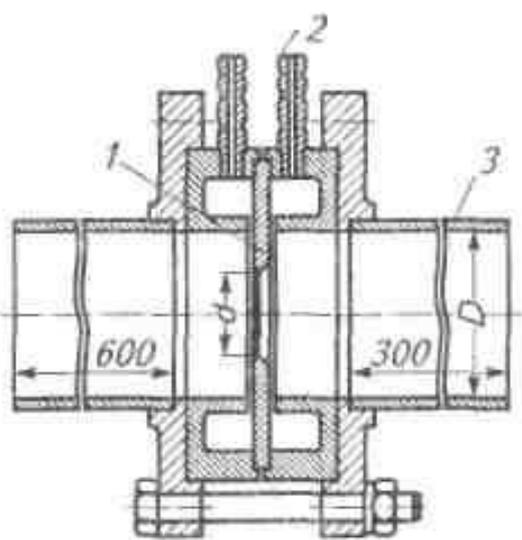
ε – коэффициент сжатия потока;

K_t – коэффициент, учитывающий влияние расширения диафрагмы;

d – диаметр отверстия диафрагмы, м;

Δh – перепад давления воздуха в трубе и диафрагме, Па;

ρ_B – плотность воздуха при стандартных условиях, кг/м³.



1 - диафрагма; 2 - штуцер; 3 - впускная труба; D - диаметр патрубка

Рисунок 16 – Диафрагма

Установка для замера расхода воздуха с помощью измерительного насадка показана на рисунке 17. Входную часть насадки выполняют по окружности, внутреннюю поверхность тщательно обрабатывают.

Определение расхода воздуха основано на перепаде давлений между насадком и окружающей средой, который фиксируется микроманометром 2, вычисляют его по формуле

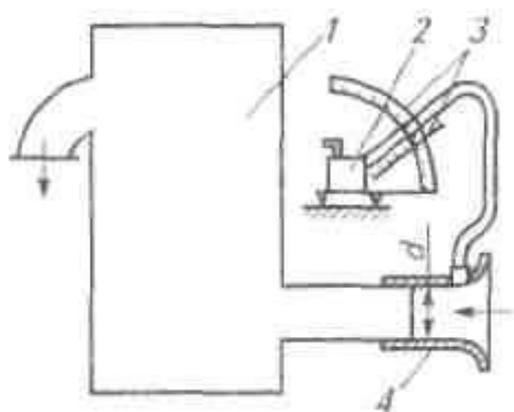
$$G_B = H\sqrt{\Delta h\rho_B}$$

где: H – постоянная прибора; $H = 3.6 \cdot 10^3 \cdot A'F$ (здесь A' - постоянная измерительного насадка;

F – площадь сечения канала насадка в месте измерения давления, м²;

Δh – перепад давления воздуха, Па, $\Delta h = ak$ (где a – число делений шкалы, до которых поднимется уровень жидкости в наклонной трубке микроманометра; k – постоянная микроманометра, $k = \rho_{жс} \cdot \sin\theta$, где θ – угол наклона трубки микроманометра, град;

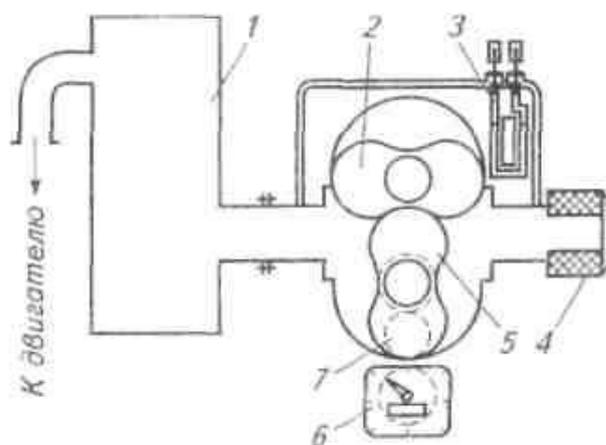
$\rho_{жс}$ – плотность применяемой жидкости в микроманометре, кг/м³.



1 - ресивер; 2 - микроманометр; 3 - шкала; 4 - измерительный насадок диаметром d

Рисунок 17 – Схема установки для замера расхода воздуха с помощью измерительного насадка

Измерение расхода воздуха с помощью расходомера (газового счетчика) - наиболее простой, удобный и достаточно точный способ непосредственного определения объема воздуха, потребляемого двигателем. Схема установки показана на рисунке 18.



1 - ресивер; 2 и 5 - верхний и нижний роторы; 3 - манометр; 4 - воздушный фильтр; 6 - счетчик расхода воздуха; 7 - промежуточная шестерня

Рисунок 18 – Схема воздухомера

В чугунном корпусе счетчика расточена общая фигурная полость в виде двух полуцилиндров с параллельными осями, в которой во взаимно перпендикулярном положении расположены роторы 2 и 5. Оси роторов опираются на шариковые подшипники, расположенные в крышках корпуса, и свя-

заны между собой двумя парами синхронизирующих шестерен. К оси одного из роторов через редуктор подсоединен счетчик расхода воздуха 6. Передаточное отношение редуктора подобрано так, что счетный механизм показывает объем воздуха, в кубометрах, прошедший через расходомер. Для очистки воздуха установлен воздушный фильтр 4, а для контроля перепада давлений на входе и выходе расходомера - манометр 3.

При работе расходомера роторы вращаются за счет разности давлений на входе и выходе, возникающей вследствие движения потока воздуха, засасываемого в цилиндр двигателя.

Часовой расход воздуха, кг/ч,

$$Q = \frac{3600 \cdot V}{t \cdot \rho_B}$$

где: V – расход воздуха за время опыта, м³;

t – продолжительность опыта, с;

ρ_B – плотность воздуха при стандартных условиях, кг/м³.

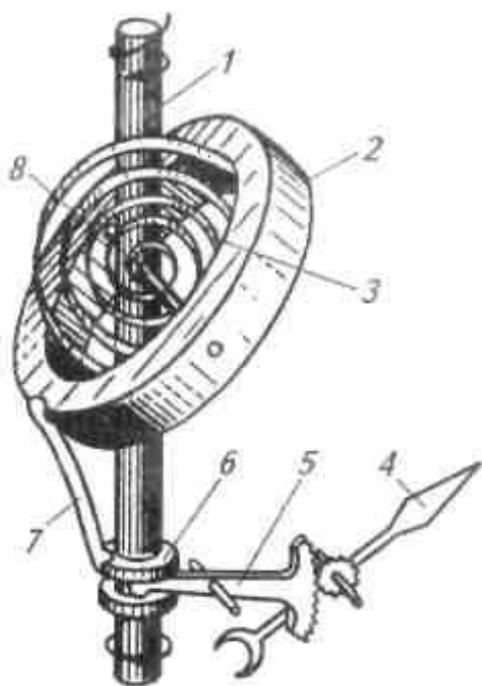
ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ

Для измерения частоты вращения вала, мин⁻¹, применяют тахометр. По принципу действия их делят на центробежные, электрические, импульсные и др. Тахометры выполняют в двух вариантах: приставные и стационарные. Все современные тормозные установки выполняют со стационарными тахометрами.

Центробежные тахометры просты по конструкции и в эксплуатации. Действие центробежных тахометров основано на использовании центробежных сил грузов, шарнирно соединенных с приводным валом, или массивного кольца, закрепленного под углом к оси вращения. Схема центробежного тахометра с грузовым кольцом 2, которое своей осью 8 шарнирно закреплено на валу 1, а тягой 7 шарнирно соединено с муфтой 6, имеющей возможность перемещаться по валу 1, представлена на рисунке 19. Муфта через траверсу 5 соединена со стрелкой 4. Вокруг оси 8 навита измерительная спиральная

пружина 3, которая удерживает грузовое кольцо под некоторым углом к оси 8.

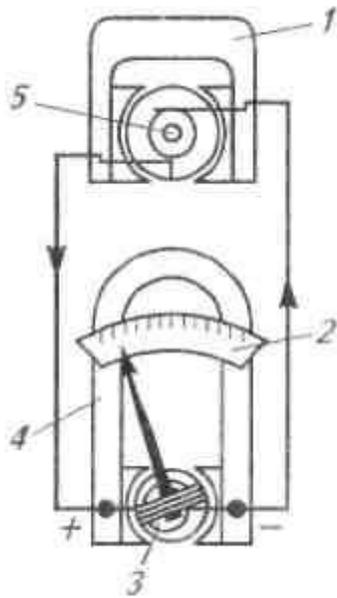
При вращении вала под действием центробежной силы грузовое кольцо, преодолевая усилие пружины, поворачивается по оси 8. Величина поворота грузового кольца зависит от центробежной силы, а, следовательно, и от частоты вращения вала 1. Через тягу 7, муфту 6, траверсу 5 кольцо поворачивается, а за ним поворачивается стрелка 4, которая указывает на шкале частоту вращения вала 1.



1 - вал; 2 - кольцо; 3 - пружина; 4 - стрелка; 5 - траверса; 6 - муфта; 7 - тяга; 8 - ось

Рисунок 19 – Схема действия центробежного тахометра

Электрические тахометры имеют ряд преимуществ по сравнению с центробежными: высокая точность измерений, необходимая на практике, дистанционность, возможность подсоединения сразу нескольких указателей и регистрация изменения частоты вращения на различных записывающих устройствах. Электрические тахометры бывают постоянного и переменного тока.



1, 4 - магниты; 2 - шкала; 3 - обмотка; 5 - вал якоря.

Рисунок 20 – Принципиальная схема электрического тахометра постоянного тока

Схема электрического тахометра постоянного тока показана на рисунке 20. Динамо-машина выполнена с постоянным магнитом 1, вал якоря 5 приводится во вращение от вала тормозной установки. Так как при вращении якоря в его обмотках индуцируется переменный ток, якорь снабжен коллектором, благодаря которому щетки снимают напряжение одной полярности и электрический ток от якоря поступает в обмотку 3 подвижной системы вольтметра. Таким образом, по шкале 2, которая проградуирована в числах оборотов, считывается частота вращения коленчатого вала испытываемого двигателя.

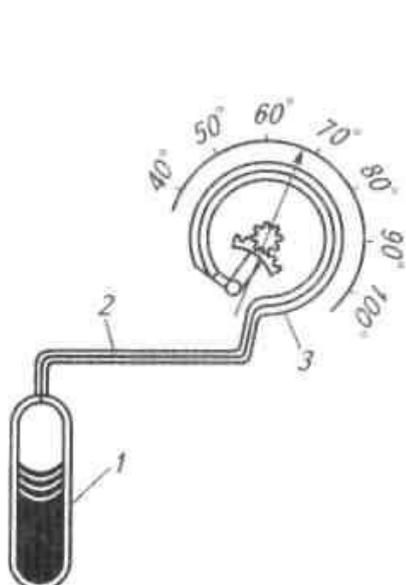
ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ И ДАВЛЕНИЯ

При испытании двигателей измеряют температуру окружающей среды, охлаждающей жидкости на входе и выходе из радиатора, масла, надувочного воздуха, температуру отработавших газов и некоторых деталей двигателя. Для этого применяют приборы различных принципов действия: термометры расширения (ртутные, спиртовые), манометрические термометры, электрические термометры сопротивления, термоэлектрические пирометры. Выбор необходимого типа термометра определяется назначением, необходимой точностью измерений и пределами температур в планируемой зоне измерения.

Термометры расширения обычно применяют для измерения темпера-

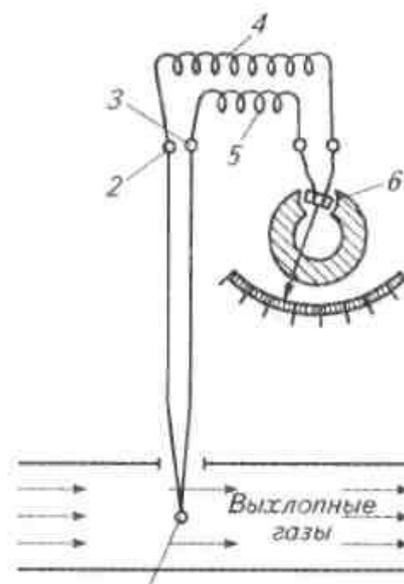
туры окружающего воздуха. Работа их основана на различном расширении при нагреве оболочки находящейся в ней жидкости. Состоят из прозрачного баллончика с припаянной к нему капиллярной трубкой со шкалой.

Манометрические термометры (рисунок 21) состоят из термобаллончика 1, погружаемого в исследуемую среду, трубчатой пружины 3 и герметичной, замыкающей, соединительной (капиллярной) трубки 2 с внутренним диаметром, равным 0.2...0.3 мм.



**1 - приемный элемент (баллончик);
2 - соединительная трубка; 3 -
трубчатая пружина**

**Рисунок 21 – Принципиальная
схема
манометрического термометра**



**1 - горячий спай; 2 и 3 - холодный
спай; 4, 5 - компенсационные про-
вода; 6 – гальванометр**

**Рисунок 22 – Схема
термоэлектрического
пирометра-термопары**

В зависимости от измеряемой температуры объем внутренней полости термобаллончика заполняют на $\frac{2}{3}$ соответствующей низкокипящей жидкостью. Капиллярный канал соединительной трубки 2 и полость трубчатой пружины указателя заполнены жидкостью. Причем эта жидкость при данной температуре не испаряема и служит для передачи давления, возникающего после перехода низкокипящей жидкости в полости термобаллончика в парообразное состояние. При нагревании баллончика 1 давление внутри системы увеличивается, вследствие чего трубчатая пружина стремится распрямиться, в результате ее свободный конец перемещается через приводной механизм к

стрелке указателя, которая показывает на шкале измеряемую температуру.

Термоэлектрические пирометры (термометры) широко применяют для измерения температуры отработавших газов и отдельных деталей двигателя. Принцип их действия основан на использовании термоэлектрического эффекта, возникающего при нагреве места сварки двух проводников 1 (горячий спай) (рисунок 22) из неоднородных металлов. Если два других конца проводника 2 и 3 (холодный спай) замкнуть, то под действием термоэлектродвижущей силы в цепи возникает электродвижущая сила, которая является функцией разности температур спаивного и свободных концов термопары. Если свободные концы проводов через компенсационные провода 4 и 5 присоединить к гальванометру 6 со шкалой, проградуированной в градусах Цельсия, то гальванометр покажет температуру измеряемой среды.

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИНДИЦИРОВАНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ

Индицирование двигателя проводят с целью исследования его рабочего процесса при помощи специальных приборов-индикаторов. По принципу действия различают механические, пневмоэлектрические и электрические индикаторы.

Механические индикаторы просты по устройству, надежны в работе и делают процесс индицирования наглядным. Из-за малой частоты свободных колебаний (500...1000 Гц) и большой инерционности подвижной части эти индикаторы для индицирования рабочих ходов современных высокооборотных автотракторных двигателей не применяют. Такие индикаторы используют для индицирования тихоходных стационарных дизелей с частотой вращения, не превышающей 300 мин⁻¹.

В *пневмоэлектрических* индикаторах происходит сравнение измеряемого газового давления в цилиндре с постоянным для нескольких циклов контрольным давлением воздуха в пневмосистеме. В момент совпадения этих давлений на регистрирующем устройстве фиксируется несколько совпадающих точек за большое число единичных циклов.

Основные преимущества пневмоэлектрических индикаторов таковы: малая инерционность системы, благодаря чему их можно применять для индицирования высокооборотных двигателей (до 5000 мин⁻¹); измеряемое значение газового давления автоматически определяется за большое число рабочих циклов, что повышает точность измерений; упрощение конструкции измерительной аппаратуры, особенно датчика, который не измеряет, а только фиксирует равенство давлений газа и воздуха в пневмосистеме.

В лабораторной практике для индицирования тракторных и автомобильных двигателей широко используют пневмоэлектрический индикатор МАИ-2.

Индикатор МАИ-2. Схема индикатора МАИ-2 показана на рисунке 23. Индикатор состоит из трех частей: датчика давления, устанавливаемого в головке цилиндра двигателя 10, записывающего устройства и тиратронного блока 2.

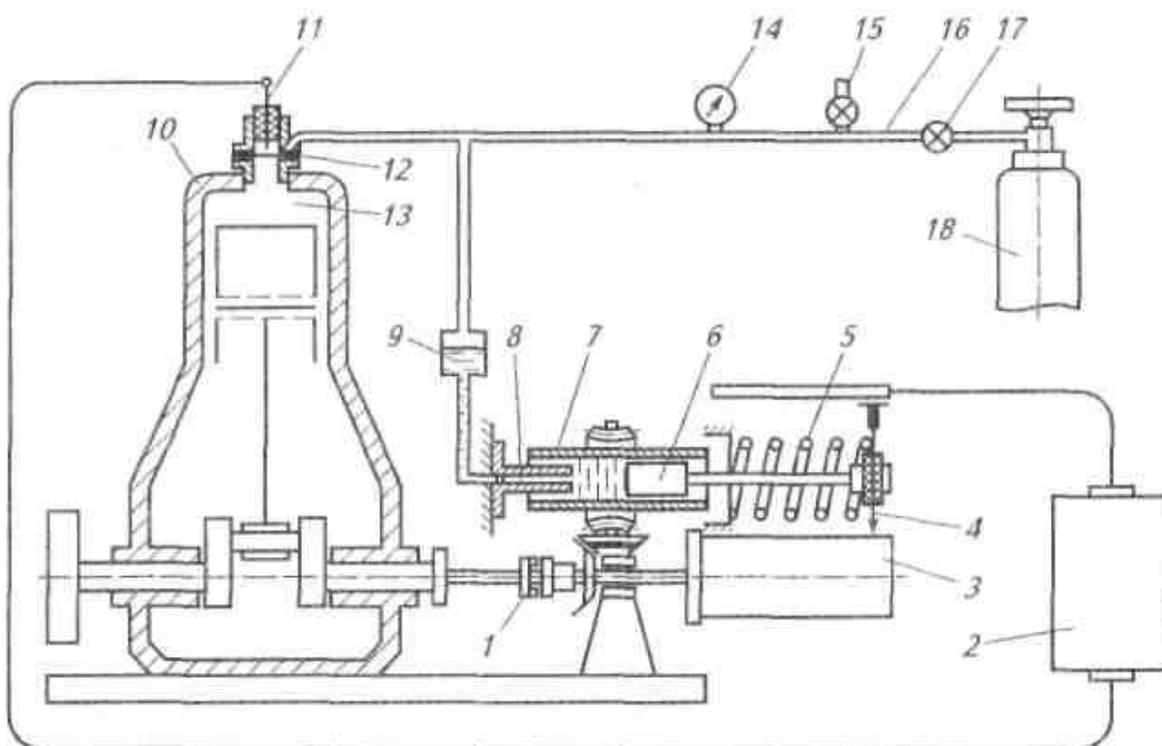
Датчик давления имеет две полости, разделенные мембраной 12. Нижняя полость сообщается с полостью камеры сгорания двигателя 13, а в верхнюю по трубопроводу 16 из баллона 18 подается сжатый воздух. Его давление - контролируемая величина, которую измеряют манометром 14, и ее можно регулировать вентилями 17 и 15.

В верхней полости датчика установлен изолированный контакт 11, замыкаемый мембраной 12 при небольшом прогибе ее вверх от среднего положения.

Записывающее устройство состоит из барабана 3, связанного через кулачковую муфту 1 с коленчатым валом двигателя, и системы, фиксирующей контрольное давление воздуха. Воздух по ответвлению трубопровода 16 поступает в расширительный бачок 9, где его давление передается жидкости (маслу) через пустотелый штуцер 8 в цилиндр 7 плунжера 6. Смещению плунжера вдоль образующей барабана 3 препятствует сменная пружина 5. Плунжер 6 жестко связан с разрядником 4, изолированная игла которого одним концом касается токосъемной шины; другой конец находится вблизи по-

верхности барабана 3.

Описанное устройство, по существу, является поршневым пружинным манометром. Каждому значению контрольного давления воздуха будет соответствовать определенное положение разрядника. С помощью пружин 5 (меняя их) можно изменять масштаб регистрации давлений. Так как барабан 3 в период индицирования жестко связан с коленчатым валом двигателя, то другой координатой индикаторной диаграммы будет угол поворота коленчатого вала. Таким образом, индикатор МАИ-2 записывает развернутые индикаторные диаграммы в координатах p, φ .



1 - кулачковая муфта; 2 - тиратронный блок; 3 - барабан; 4 - искровой разрядник; 5 - пружина; 6 - плунжер; 7 - цилиндр; 8 - пустотелый штуцер; 9 - расширительный бачок; 10 - головка цилиндра двигателя; 11 - контакт датчика давления; 12 - мембрана датчика давления; 13 - камера сгорания двигателя; 14 - манометр; 15 - вентиль атмосферный; 16 - трубопровод пневматической системы; 17 - вентиль подачи газа от баллона; 18 - баллон со сжатым газом

Рисунок 23 – Принципиальная схема стробоскопического электропневматического индикатора МАИ-2

Прибор работает следующим образом. При повышении давления в цилиндре оно приближается к контрольному давлению воздуха и наконец,

уравнивается с ним. Если пренебречь упругостью мембраны датчика давления 12, то при малейшем последующем повышении давления в цилиндре мембрана прогибается и замыкает контакт датчика давления 11. Это приводит к срабатыванию тиратронного блока, который подает импульс высокого напряжения на искровой разрядник 4, и между ним и корпусом барабана 3 происходит электрический пробой воздушного зазора через наложенную на барабан электропроводную бумагу. В результате на индикаторной диаграмме будет получена точка равенства измеряемого и контрольного давлений. Мембрана датчика давления 12 замыкает контакт 11 до тех пор, пока понижающее измеряемое давление снова не уравнивается с контрольным. В этот момент (если пренебречь упругостью мембраны) произойдет размыкание цепи тиратронного блока, и последний снова подает на искровой разрядник 4 импульс высокого напряжения, который регистрирует вторую точку индикаторной диаграммы.

Повторяя измерения при других значениях контрольного давления сжатого воздуха, получим индикаторную диаграмму в виде совокупности большого числа точек, из которых каждому циклу двигателя в области высоких давлений будут соответствовать только две точки (при регистрации низких давлений число точек, приходящихся на один цикл, может быть больше, но кратно двум). Практически снятие индикаторной диаграммы занимает примерно 1 мин, поэтому число точек, регистрируемых индикатором МАИ-2, составляет несколько тысяч, чем достигается исключительно высокое качество осреднения.

Динамические качества индикатора МАИ-2 всецело определяются характеристикой его датчика, так как вследствие почти равномерного вращения барабана 3 и медленного перемещения плунжера 6 пишущий механизм индикатора практически не является источником динамических погрешностей. Единственный источник погрешностей пишущего механизма индикатора МАИ-2 - трение между плунжером 6 и его цилиндром 7, однако оно значительно снижается при вращении цилиндра 7, для чего предусмотрен соответ-

ствующий механизм.

Индикатор МАИ-2 имеет устройство для регистрации мертвых точек поршня (см. далее). Предусмотрена также возможность перевода тиратронного блока в режим непрерывной генерации, что позволяет наносить на индикаторные диаграммы линии фиксированных контрольных давлений, необходимые для их расшифровки.

Современные способы индицирования и обработки индикаторных диаграмм. В связи со сложностью процессов, протекающих в двигателях внутреннего сгорания, ряд зарубежных и отечественных фирм разработал аппаратное обеспечение, позволяющее производить глубокие исследования рабочих процессов, в том числе с использованием индицирования двигателей.

Развитие компьютерной техники совершило революцию в сфере получения и обработки информации.

В качестве примера такой системы можно привести отечественный измерительно-вычислительный комплекс для определения параметров ДВС, разработанный АОЗТ «Спектр».

Устройство и работа ИВК «ДВС». Измерительно-вычислительный комплекс «ДВС» функционирует на базе персонального компьютера (ПК) типа IBM PC/AT со специальным программным обеспечением и включает в себя комплект измерительной аппаратуры с комплектом датчиков. Аппаратно-программная часть комплекта имеет открытую архитектуру, построенную по модульному принципу, это позволяет достаточно легко изменять и развивать его функциональные возможности.

Специальное программное обеспечение (СПО) для персонального компьютера (ПК) ориентировано на русскоязычного пользователя и работает под операционными системами Windows 95 и MS DOS. СПО обеспечивает полный цикл измерения, обработки, хранения и представления измерительной информации на дисплее ПК.

Конструкция аппаратной части комплекса позволяет быстро перена-

страивать (монтаж/демонтаж) комплекс из одного вида испытаний (исследований) ДВС и его агрегатов на другое.

Основные этапы процесса измерений в ДВС при помощи ИВК «ДВС»: сбор – обработка, на ПК – представление – хранение.

Датчики – комплект измерительных преобразователей датчиков.

ДУПКВ – датчик для измерения угла поворота коленчатого вала.

УСД-09 – универсальный усилитель сигналов датчиков УСД-09 с блоком питания БПУСД09.

ИВУ ПК – измерительно-вычислительное устройство на ПК со специальным программным обеспечением.

Клавиатура ИВУ ПК и манипулятор (мышь) для ИВУ ПК.

Дисплей ПК (цветной, SVGA).

Принтер (цветной).

Блок бесперебойного электропитания БПП (от сети напряжением 220 В).

Фильтр электропитания ФЭП от сети напряжением 220 В.

Комплект кабелей и разъемов для подключения датчиков и соединения аппаратных частей комплекса в единое целое.

Работа ИВК «ДВС» по структурной схеме. Измерительные преобразователи (датчики), установленные на объекте исследования (например, ДВС), преобразуют протекающие рабочие процессы ДВС в электрические сигналы. Эти сигналы по кабелям длиной 1...3 м поступают на измерительные входы усилителей сигналов датчиков, установленных в блоке УСД-09. Конструкция корпуса УСД-09, его небольшие габаритные размеры и масса позволяют расположить УСД-09 на гибкой подвеске непосредственно возле объекта измерений (например, ДВС) на расстоянии 1...2 м, что улучшает помехозащищенность всей измерительной системы ИВК «ДВС». Блок УСД-09 преобразует (усиливает) поступающие от датчиков (Д) электрические сигналы, выполняет аналогово-цифровое преобразование и записывает в собственное ОЗУ. После заполнения объема памяти УСД-09 передает накопленную информацию по

кабелю (типа ССС-18G) длиной 5...20 м на измерительно-вычислительное устройство ИВУ ПК для последующей обработки. Кроме того, блок УСД-09 вырабатывает электрические сигналы и напряжения, необходимые для нормальной работы самих датчиков. Электрические сигналы из УСД-09 поступают по кабелю в ИВУ ПК через встроенное в корпус ИВУ ПК устройство ввода аналоговых и цифровых сигналов (сокращенно АПУ). Устройство АПУ предназначено для сбора, преобразования и обработки поступающей от УСД-09 измерительной информации.

Измерительно-вычислительное устройство (ИВУ ПК) выполнено на базе системного блока ПК (типа IBM PC/AT) и представляет собой аппаратно-программное средство многоканального сбора и обработки, поступающих от датчиков сигналов, а также вывода получаемых результатов обработки на устройства отображения - дисплей и принтер.

При исследовании рабочих процессов ДВС для синхронизации всех измерений по углу поворота КВ используют датчик угла поворота КВ (ДУПКВ), установленный на коленчатый вал ДВС, и датчик ВМТ. Датчики ДУПКВ и ВМТ вырабатывают электрические синхроимпульсы пропорционально углу поворота КВ и положению ВМТ, которые поступают на измерительные каналы датчиков ДУПКВ и ВМТ, расположенные в блоке БПУСД-09. По сигналам этих датчиков синхронизируется процесс измерения сигналов всех остальных датчиков, подключаемых к входам № 1-8 и «Д» блока УСД-09.

Настройка аппаратной части комплекса, сбор поступающих от датчиков сигналов, их измерение, анализ, обработка, отображение (на дисплее) и документирование полученной информации определяются специальным программным обеспечением (СПО), входящим в состав ИВУ ПК. Программное обеспечение ИВК «ДВС» ориентировано на русскоязычного пользователя.

Перенастраивают комплекс с одного вида испытаний на другое, установив датчики в соответствующих точках контроля, изменения программы работы компьютера (УВУ ПК) и блока УСД-09. Управляет комплексом ИВК

«ДВС» один оператор, вводя соответствующие команды с клавиатуры ИВУ ПК и изменяя положения тумблеров блока УСД-09.

Система электропитания всего комплекса включает: фильтр электропитания (ФЭП), устройство бесперебойного силового электропитания (БПП) комплекса, а также встроенные блоки электропитания, находящиеся во всех аппаратных частях комплекса: БПУСД-09, монитор, принтер, дисплей и ИВУПК.

ПРИБОРЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТОКСИЧНОСТИ И ДЫМНОСТИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ

Для измерения оксида углерода и суммы углеводородов в отработавших газах бензиновых двигателей широко используют «Аскон-01» (в дальнейшем – прибор).

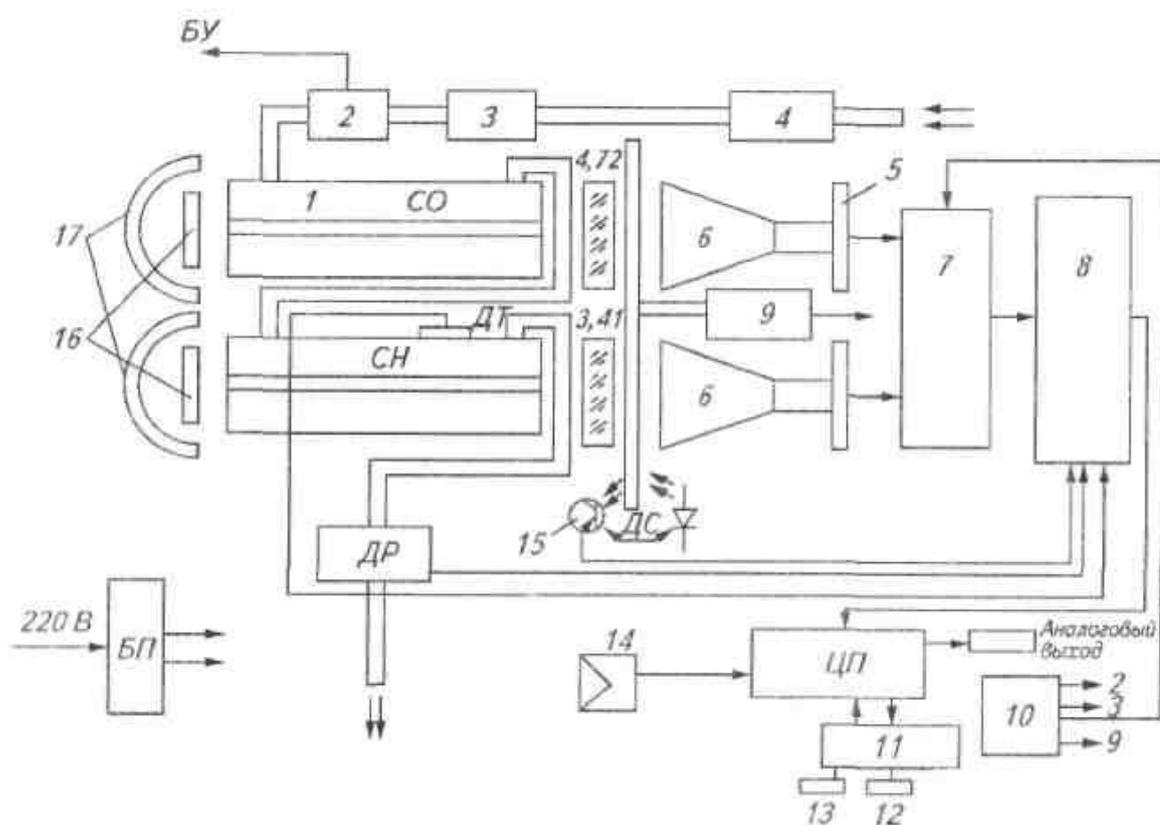
Принцип действия прибора основан на методе селективного поглощения инфракрасного (ИК) излучения различными газами. Так, оксид углерода (CO) имеет полосу поглощения ИК-излучения с длиной волны 4.72 мкм, а углеводороды (CH) – с длиной волны 3.41 мкм. По степени поглощения ИК-излучения определяют содержание каждого из компонентов.

В приборе монохроматизация излучения осуществляется ИК - фильтрами, имеющими максимум пропускной способности на указанных ранее длинах волн.

Прибор (рисунок 24) состоит из двух ИК-источников (нихромовые спирали), двух ИК-фильтров с длинами волн максимума пропускания 4.72 и 3.41 мкм, двух газовых кювет с модуляторами потока, закрытых флюоритовыми окнами, двух фокопов для фокусировки ИК-потока на пироприемники, выполненные в виде отдельных модулей с предварительными усилителями (ПУ). Сигналы с ПУ через коммутатор каналов поступают в модуль аналогово-цифрового преобразователя (АЦП), а затем оцифрованный сигнал поступает на центральный процессорный элемент (ЦПЭ), который сортирует, и обрабатывают результаты работы АЦП и управляет работой исполнительных устройств. Сигнализация работы АЦП осуществляется ЦПЭ и датчиками

синхронизации модулятора. Результат измерения индуцируется на плате индикации, конструктивно совмещенной с пультом управления. Питание прибора - от блока питания, работающего по принципу преобразователя напряжения, который подключен в сеть.

Внешние узлы прибора состоят из пробозаборника, вставляемого в выпускную трубу датчика измерения частоты вращения коленчатого вала. Датчик конструктивно выполнен в виде «прищепки» и одеваемого на провод высокого напряжения первого цилиндра и фильтра очистки.



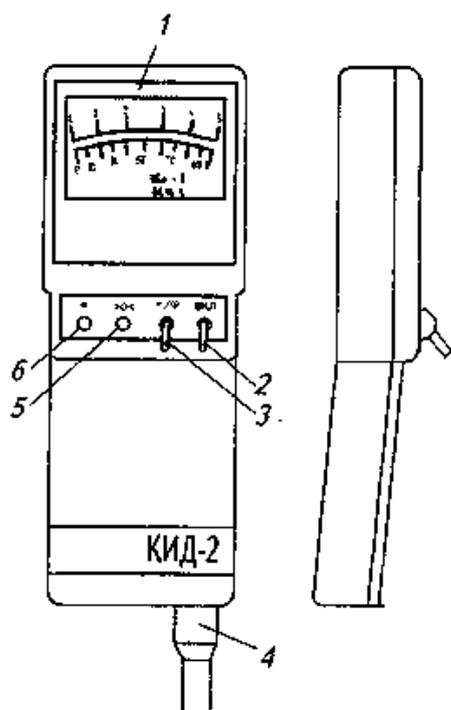
1 - газовая кювета; 2 - клапан; 3 - насос; 4 - фильтр; 5 - предварительный усилитель; 6 - фокопы; 7 - коммутатор канала; 8 - аналогово-цифровой преобразователь (АЦП); 9 - мотор; 10 - буфер управления; 11 - плата индикации; 12 - калибр; 13 - сброс; 14 - датчик тахометра; 15 - ИК-фильтры; 16 - ИК-источники; 17 - отражатели; БП - блок питания; БУ - блок управления; ДТ - датчик температуры; ДС - датчик синхронизации модулятора; ДР - датчик регистра; ЦП - центральный пульт

Рисунок 24 – Структурная схема газоанализатора «Аскон-01»

Прибор работает следующим образом. Сформированные отражателями параллельные пучки ИК-излучения от спиралей поступают в измерительные

оптические кюветы, прерываются модулятором потока и, пройдя в каждом из каналов измерения свой селективирующий ИК-фильтр, попадают на пироприемники. Оптические кюветы состоят из двух половинок, через одну из которых последовательно прокачивается насосом исследуемый газ, предварительно пройдя очистку через фильтр, вторая половина кюветы заполнена окружающим воздухом. Пройдя через кюветы с газом, ИК-излучение уменьшается по интенсивности вследствие поглощения излучения по сравнению с той частью ИК-излучения, которая прошла через непрокачиваемую часть кюветы.

Сигнал об интенсивности излучения получают с пироприемника. В коммутаторе каналов происходит синхронное детектирование – выделение сигналов каждого из каналов и подключение к аналогово-цифровому преобразователю. Буфер управления служит для передачи служебного кода из ЦПЭ для управления ключами в коммутаторе каналов и АЦП, а также для управления вспомогательными устройствами (насос, воздушный клапан, модулятор).



1 - приборный блок; 2 - включатель питания; 3 - переключатель режимов работы; 4 - разъем для подключения оптического датчика; 5 - кнопка установки нуля; 6 - кнопка индикации питания

Рисунок 25 – Приборный блок КИД-2

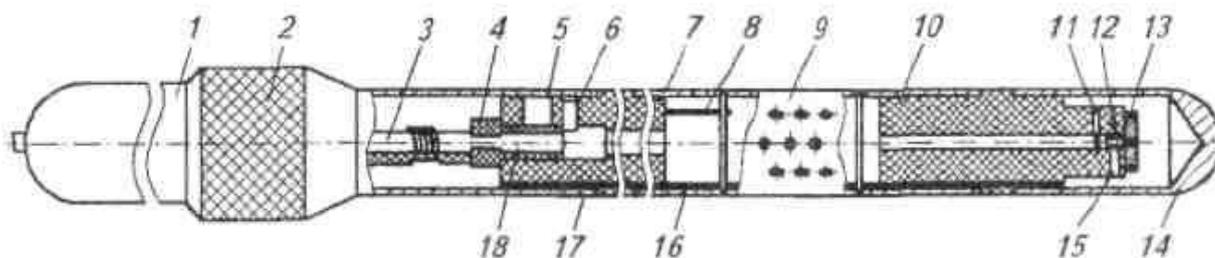
Все вычислительные и управляющие действия формируются в центральном процессоре, в который от АЦП поступают оцифрованные значения сигналов пироприемников, датчика измерения

частоты вращения коленчатого вала и датчика температуры воздуха. Центральный пульт управляет также выводом информации на плату индикации и на разъем аналогового выхода. Блок питания

(БП) служит для питания всех узлов прибора в той мере, в которой они требуют.

Для замера дымности отработавших газов двигателей можно использовать прибор КИД-2 (компактный измеритель дымности). Он состоит из приборного блока 1 (рисунок 25) и оптического датчика (рисунок 26).

В оптическом датчике (рисунок 26) имеется излучатель 12 и фотоприемник 18, расположенные соосно с измерительной камерой 9, которая выполнена в виде равномерно перфорированного отверстиями патрубка. В измерительной камере размещен термодатчик 8, служащий для измерения температуры отработавших газов. Для удобства применения КИД-2 оптический датчик снабжен телескопической рукояткой 1, которая фиксируется в рабочем положении при помощи муфты 2.



1 - телескопическая рукоятка; 2 - муфта; 3 - шнур; 4 - втулка фотоприемника; 5, 15 - штифты; 6 - отверстия для очистки фотоприемника; 7 - патрубок фотоприемника; 8 - термодатчик; 9 - измерительная камера; 10 - патрубок светодиода; 11 - гнезда контрольного светофильтра; 12 - излучатель; 13 - втулка светодиода; 14 - крышка камеры излучателя; 16 - трубка; 17 - крышка камеры фотоприемника; 18 - фотоприемник

Рисунок 26 – Оптический датчик

Съемная крышка 14 открывает доступ к отверстию для очистки поверхности излучателя 12. Там же расположено гнездо для установки контрольного светофильтра 11. Отверстие для очистки рабочей поверхности фотоприемника 18 расположено на его держателе под трубой рукоятки 1. Со-

единительный шнур 3 закреплен на втулке фотоприемника 4. Соединительные провода излучателя проложены в защитной трубке 16.

На лицевой панели приборного блока (см. рисунок 25) размещается стрелочный показывающий прибор и органы управления: кнопка коррекции нуля 5, переключатель режимов работы 3 (режимы регистрации пиковых и текущих значений дымности), включатель питания 2 и кнопка проверки источника питания.

Принцип работы КИД-2 основан на регистрации поглощения ИК-излучения отработавшими газами и на автоматическом преобразовании аналитического сигнала к единицам приведенного коэффициента поглощения с учетом теплового расширения газов по измеренной температуре.

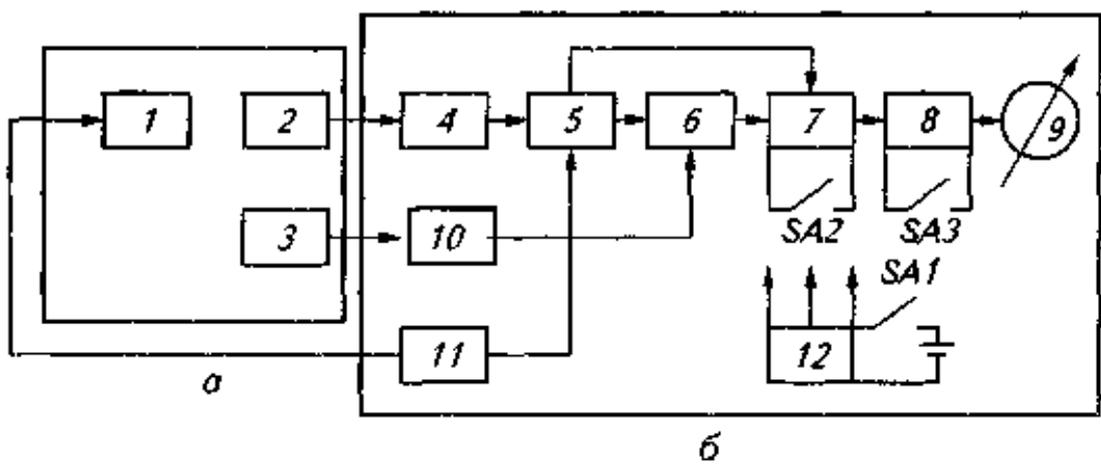
Алгоритм функционирования КИД-2 предусматривает измерение температуры отработавших газов, измерение степени ослабления ИК-излучения в измерительном канале и вычисление измерительного сигнала путем логарифмирования и перемножения сигналов, соответствующих оптической плотности газов и их температуре. В режиме регистрации пиковых значений осуществляется выборка и запоминание максимального значения результатов измерения.

Функциональная схема КИД-2 показана на рисунке 27. Импульсное излучение инфракрасного светодиода 1, питаемого генератором прямоугольных импульсов 11, преобразуется в электрический сигнал фотоприемником 2 и усиливается усилителем 4. Усиленный сигнал преобразуется логарифмирующим устройством 5 в последовательность импульсов, длительность которых пропорциональна логарифму амплитуды проходного сигнала. Выходной сигнал логарифмирующего устройства перемножителем 6 умножается на усиленный сигнал термодатчика 3. Корректором нуля 7 базового отсчета ставят начальные условия при замыкании контактов кнопкой коррекции «нуля» SA2. Измерительный сигнал регистрируется пиковым детектором 8 и отображается стрелочным показывающим прибором 9. В режиме измерения текущих значений дымности пиковый детектор 8 блокируется переключателем

режима работы SA3. Стабилизатор напряжения 12 обеспечивает формирование питающих напряжений измерительных цепей.

Концентрацию вредных веществ в отработавших газах дизелей измеряют с помощью быстродействующих газоанализаторов непрерывного действия:

- оксидов азота – газоанализатором хемилюминесцентного типа с преобразователем оксида азота NO_2 (IV) в оксид азота NO (II);
- диоксид углерода – газоанализатором недисперсного типа с поглощением в инфракрасной части спектра;
- суммарных углеводородов – газоанализатором пламенно – ионизационного типа.



a - оптический датчик; *б* - приборный блок; 1 - инфракрасный светодиод; 2 - фотоприемник; 3 - термодатчик; 4, 10 - усилители; 5 - логарифмическое устройство; 6 - перемножитель; 7 - корректор нуля; 8 - пиковый детектор; 9 - показывающий прибор; 11 - генератор импульсов; 12 - стабилизатор напряжения; SA1 - вкл. питания; SA2 - кнопка корректора «0»; SA3 - переключатель режима работы

Рисунок 27 – Функциональная схема КИД-2

Калибровку газоанализаторов проводят согласно приложению 3.

Пробоотборная магистраль для суммарных углеводородов и регистрирующее устройство газоанализаторов должны иметь систему подогрева,

обеспечивающую их температуру 180...200° С, а пробоотборная магистраль для оксидов азота – не менее 70° С; все нагреваемые пробоотборные магистрали должны быть снабжены противосажным нагреваемым фильтром.

Можно использовать общую, подогреваемую до 180...200° С магистраль для подвода проб к различным газоанализаторам.

Пробоотборный зонд представляет собой трубку с закрытым торцом и отверстиями в ее цилиндрической части; общая площадь отверстий должна быть не менее $0.2D_B^2$.

Испытательные стенды, оборудованные нагружающими устройствами, в том числе стенды с беговыми барабанами или с бесконечной лентой, а также средства измерений крутящего момента, частоты вращения коленчатого вала, хвостовика ВОМ или ведущих колес, расхода топлива, температуры моторного масла, дизельного топлива и окружающего топлива, атмосферного давления и других параметров должны соответствовать ГОСТ 18509, ГОСТ 7057 и ГОСТ 23734.

Для получения токсических показателей дизельных двигателей при испытаниях по 13-ступенчатому циклу, таких как CO (оксид углерода), CH (суммарные углеводороды) и NO_x (оксиды азота), можно воспользоваться следующей отечественной газоаналитической аппаратурой.

Газоаналитическая система АСГА-Т (Смоленское ПО «Аналитприбор») предназначена для измерения концентраций оксида углерода, углеводородов и оксидов азота в отработавших газах бензиновых и дизельных двигателей (таблица 1).

Аппаратуру АНПО «ОПТЭК» можно использовать для определения концентраций CO , CH и NO_x в отработавших газах (таблица 2).

Таблица 1 – Технические данные

Измеряемый компонент	Диапазон измерения	Пределы допускаемой основной приведенной погрешности, % диапазона измерения
1	2	3
Оксид углерода (CO)	0...10 об. %	+ 2.5
	0...2.5 об. %	± 4
	0...1 об. %	± 5
	0...1000 ррт	± 5
	0...500 ррт	± 5
Углеводороды (CH_4)	0...5 об. %	± 5
	0...1 об. %	± 5
	0...2000 ррт	± 5
	0...1000 ррт	± 10
	0...500 ррт	± 10
	0...100 ррт	± 15
	0...50 ррт	± 15
Оксиды азота (по NO)	0...0.5 об. %	± 15
	0...1000 ррт	± 15
	0...500 ррт	± 15
	0...200 ррт	± 15
	0...100 ррт	± 20
	0...50 ррт	± 20

Газоанализаторы «Гамма 10» и «Гамма 100» НПО «Химавтоматика» предназначены для определения суммарных углеводородов в отработавших и промышленных газах (таблица 3).

Таблица 2 – Техническая характеристика газоанализаторов

Газоанализатор	Диапазон измеряемых концентраций	Минимальная концентрация	Погрешность, %	Габариты, мм	Масса, кг
Л-061-1 (CO) (оптический инфракрасный)	0.05...5 об. %		15	270x170x350	5
Л-061-2 (CO) (оптический инфракрасный)	0.01...1 об. %		15	270x170x350	6
Л-062 (C ₃ H ₄) (оптический инфракрасный)	0.1...3 об. %		20	270x170x350	6
Л-063 (CH ₃)	0.1...5 об. %		20	270x170x350	6
Л-61А (CO)	0.01...4 или 0.04...4 об. %		15	270x170x350	6
P310-12 (NO ₂)	0...2 мг/м ³	10 мкг/м ³	25	140x320x440	6.5
P310-32 (NO, NO ₂)	0...2 мг/м ³	10 мкг/м ³	25	200x240x290	7

Принцип их действия основан на пламенной ионизации - сжигании органических веществ в пламени водорода и сборе образовавшихся ионов.

Таблица 3 – Техническая характеристика газоанализаторов

Показатель	«Гамма 10»	«Гамма 100»
Диапазон измерения по пропану, мг/м ³ :		
минимальный	0...10	-
максимальный	0...10000	-
Выходной сигнал, мА	4...20	-
Интерфейс передачи данных	Отсутствует	
Потребляемая мощность, В·А	Не более 200	Не более 150
Насос	Встроенный эжектор	
Вариация показаний относительно диапазона измерений, %	-	Не более 1
Температура окружающей среды, °С	-	от + 5 до 40
Питание	-	от сети 220 В, 50 Гц
Расход водорода, л/ч		2.5
Габаритные размеры, мм	520 x 520 x 200	Блок ППУ 450x590x210 Блок БЭ-215x180x435
Масса, кг	25	Блок ППУ-20 Блок БЭ - 5

Их достоинства: автоматическое зажигание и контроль пламени, отключение подачи водорода при погасании пламени; выдача сигнала тревоги при достижении установленной концентрации; дистанционная проверка нуля и шкалы; микропроцессорное регулирование в газоанализаторе.

Конструкция газоанализатора «Гамма 10» представляет собой одноблочный прибор, смонтированный на щите или в шкафу, а «Гамма 100» – двухблочный прибор, состоящий из преобразователя (блок ППУ) во взрывозащищенном исполнении и электронного блока (блок БЭ) в обычном исполнении. Блок ППУ монтируют на стене, а блок БЭ – на щите или в шкафу.

Воспользовавшись любым газоанализатором из ранее перечисленных, можно получить достаточную информацию о концентрации CO , CH и NO_x в отработавших газах при испытаниях дизелей по 13-ступенчатому циклу.

ОСОБЕННОСТИ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМ ПИТАНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ С ВПРЫСКИВАНИЕМ БЕНЗИНА

На бензиновых ДВС все чаще применяют системы питания с впрыскиванием бензина. Его преимущества: высокая литровая мощность двигателя и улучшенная экономичность за счет точного распределения доз топлива по цилиндрам (отклонение менее 5...7 % по сравнению с 11...25 %, которые дают карбюраторы) и меньшего сопротивления впускного тракта (нет карбюратора); возможность точного регулирования состава горючей смеси, минимальная токсичность отработавших газов; улучшение продувки цилиндров, в результате которой снижается их температура, что позволяет поднять степень сжатия на 2...3 единицы.

Недостатки системы: высокая стоимость, обусловленная применением дорогостоящих устройств (форсунок, насоса, электроники, специальных датчиков, нейтрализаторов); сложное техническое обслуживание, требующее специального оборудования и высококвалифицированного персонала; повышенные требования к качеству и очистке бензина (при работе с нейтрализаторами неприменим этилированный бензин).

К современному автомобильному бензиновому двигателю предъявляют следующие требования:

- высокая экономичность, т. е. расход топлива автомобилем
- должен быть 3...5 л на 100 км/ч при объеме двигателя до 1.2 л и 4...6 л на 100 км/ч при объеме до 2 л;
- выполнение норм ЕВРО по токсичности;
- низкие показатели по шумности;
- точное регулирование угла опережения зажигания и состава смеси на всех режимах работы двигателя.

Выполнение этих требований, особенно по экономичности и токсичности, возможно только при использовании цифровых электронных систем. Несколько тысяч опытных данных вводят в память электронного блока управления (ЭБУ), оборудованного на базе микропроцессора (МП). Эти системы часто называют микропроцессорными системами управления (МПСУ). Получая от многих датчиков сигналы, МП определяет режим работы двигателя и подает команды исполнительным органам (системе зажигания и форсункам), обеспечивая точный угол опережения зажигания и состав смеси.

Компоновка и работа систем питания с впрыскиванием бензина

Системы питания с впрыскиванием бензина классифицируют по следующим признакам:

- место подвода топлива – центральный (одноточечный) впрыск, распределенный (форсунки у каждого впускного клапана), непосредственный (форсунки в головке цилиндров);
- способ подачи топлива – с непрерывным впрыскиванием (в системах Джетроник типа К и КЕ) и прерывистым впрыскиванием (в системе Л-Джетроник), которое бывает фазированным (подача бензина только на впуске) и нефазированным (подача на каждом обороте коленчатого вала);
- способ регулирования количества топлива – пневматические, механические, электронные;
- способ определения расхода воздуха – по разряжению во впускном

коллекторе, углу поворота дроссельной или специальной (типа «парус») заслонки, показаниям термоанемометрического датчика.

Рассмотрим систему питания с впрыскиванием бензина. Бензин из бака под давлением подается через гидроаккумулятор и топливный фильтр к дозатору-распределителю, а от него к рампе – специальному трубопроводу, в котором поддерживается постоянное давление. В рампе установлены форсунки, которые впрыскивают бензин во впускной коллектор. Так как в рампе поддерживается постоянное давление, то количество впрыскиваемого форсункой топлива будет зависеть только от времени ее открытия. Зная расход воздуха и требуемый на данном режиме коэффициент α , можно подать точную дозу топлива. Количество воздуха замеряет датчик-расходомер. Он же воздействует на регулятор давления топлива, а тот, в свою очередь, – на дозатор-распределитель, обеспечивая заданное давление и цикловую подачу. Насос рассчитан на подачу топлива в 5...10 раз большую, чем нужно для работы двигателя при полной нагрузке, поэтому большая часть топлива от регулятора давления идет на слив, что обеспечивает прокачку топлива через фильтр несколько раз в час.

При пуске двигателя в работу включается пусковая форсунка, а воздух в цилиндры поступает через специальный дополнительный канал во впускном коллекторе.

Для точного управления работой системы в последних моделях (типа KE) устанавливаются электронный блок управления, который управляет режимом работы насоса и форсунок вместе с дозатором-распределителем (на рисунке 31 показано штриховыми линиями).

В системах типа Мотроник функции управления и обработки сигналов по системам питания и зажигания выполняет электронный блок МПСУ. В него введены сложные программы, учитывающие все возможные режимы работы двигателя. Обращаясь к заложенной в его памяти программе, микропроцессор обеспечивает точные сигналы управления форсунками и другими блоками.

При учебных испытаниях бензиновых двигателей можно предложить следующую систему микропроцессорного управления подачей топлива.

Система питания Л-Джетроник представляет собой развитие системы К-Джетроник. В системе применен многоточечный (распределенный) впрыск с электромагнитными форсунками, а в системе ЛЕ-Джетроник – многоцелевое электронное управление.

Подача топлива форсунками осуществляется электронным блоком управления, который получает сигналы от датчиков температуры, давления и объема поступающего воздуха, частоты вращения коленчатого вала, нагрузки двигателя и температуры в системе охлаждения.

Пусковая система состоит из пусковой форсунки и обводного канала воздуха, в котором установлено термореле с клапаном добавочного воздуха. Термореле реагирует на температуру жидкости в водяной рубашке. Регулировки выполняют винтом качества и винтом количества.

В системе питания установлены датчик-распределитель зажигания, датчик положения (выключения) дроссельной заслонки, корректор, расходомер воздуха типа «двойной парус», термореле и датчик температуры охлаждающей жидкости.

В состав системы управлений входят ключ зажигания, блок реле и электронный блок.

На основных режимах средних нагрузок программа, заложенная в электронном блоке, обеспечивает работу двигателя с минимальным расходом топлива при допустимой концентрации токсических веществ в отработавших газах. Система предполагает установку λ – датчиков и нейтрализаторов.

При максимальной мощности смесь обогащается за счет увеличения времени открытия форсунок.

При работе на холостом ходу дроссельная заслонка закрыта, и воздух подается через обводной канал мимо расходомера. Содержание CO регулируют винтом качества.

При принудительном холостом ходе дроссельная заслонка закрыта и

замыкает микроконтакты – в электронный блок поступает один сигнал. Если частота вращения двигателя больше заданной (восстановительной) – это второй сигнал, – то электронный блок управления, сопоставив два сигнала, выключает подачу топлива форсунками. Это режим работы экономайзера принудительного холостого хода. Восстановленная частота соответствует $1200...1700 \text{ мин}^{-1}$.

При пуске работает обводной канал воздуха и пусковая форсунка, которой управляет электронный блок через замок зажигания, термореле и реле пуска холостого двигателя (при низких температурах окружающего воздуха), что продлевает работу пусковой форсунки до полного пуска двигателя.

Система питания Мотроник оснащена одним электронным блоком для управления системами питания и зажигания. Она может включать в себя различные элементы системы питания Л-Джетроник, Моно-Джетроник. Последнюю применяют в двигателях с небольшим объемом на легковых автомобилях массового производства.

По типу этой системы построены все современные системы питания и зажигания, в том числе и на автомобилях ВАЗ, ГАЗ.

УСЛОВИЯ И РЕЖИМЫ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

Перед проведением испытаний двигателя необходимо изучить устройство испытательного стенда, применяемые приборы и оборудование. По каждой лабораторной работе изучают соответствующий раздел.

Перед проведением лабораторной работы по испытанию двигателя студентам необходимо усвоить методику ее выполнения, уяснить содержание протокола испытаний и порядок его заполнения.

При проведении испытаний двигателя должны быть выполнены следующие общие условия: перед началом испытаний двигатель должен быть прогрет до нормального теплового режима, характеризуемого температурой охлаждающей жидкости на выходе из системы охлаждения двигателя и температурой масла в поддоне картера. Эти параметры поддерживают в преде-

лах, указанных в технической документации завода-изготовителя. При отсутствии таких указаний температуру воды поддерживают в диапазоне $75...85^{\circ}\text{C}$, а масла – $85...95^{\circ}\text{C}$.

После подогрева двигатель выводят на заданный режим работы. Устанавливают положение дроссельной заслонки карбюратора $\varphi_{др}$ или рейки топливного насоса h_p , после чего устанавливают заданную частоту вращения коленчатого вала двигателя, нагружая двигатель тормозом. Далее проверяют, а при необходимости регулируют основные регулировочные параметры двигателя ($\varphi_{др}$, h_p , Q_3 , Q_B , C_T). После этого вновь корректируют частоту вращения коленчатого вала двигателя изменением нагрузки тормоза.

Показатели двигателя определяют на установившемся режиме работы – режиме, при котором частота вращения коленчатого вала, показания весов тормоза, температура отработавших газов и охлаждающей воды постоянны, – не менее чем 1 мин. Для стабилизации теплового состояния и режима работы дизель должен проработать на заданном режиме не менее 5 мин, карбюраторный двигатель – 2 мин.

Во время проведения опыта измеряют следующие параметры:

- температура t_0 ;
- давление p_0 ;
- влажность окружающей среды $\varphi_{ОКР}$;
- частота вращения коленчатого вала n ;
- усилие на валу тормоза P ;
- время расхода заданной дозы топлива $t_{оп}$;
- расход воздуха за время опыта G_B ;
- угол опережения зажигания Q_3 или впрыска топлива Q_B ;
- температуру воды t_B , масла t_M , отработавших газов t_T .

Измерения на каждом режиме проверяют не менее двух раз, при этом результаты измерения частоты вращения коленчатого вала, усилия на тормозе, расхода топлива и воздуха не должны отличаться более чем на 2 %.

На основании проведенных измерений для каждого опыта подсчитыва-

вают крутящий момент M_K , эффективную мощность N_e , среднее эффективное давление P_e , часовой G и удельный g расход топлива, эффективный КПД η_e , часовой расход воздуха G_B , коэффициент наполнения η_V , коэффициент избытка воздуха α и т. д.

Результаты измерений и расчетов записывают в протокол испытаний. Число проведенных опытов должно быть не менее восьми. Это связано с тем, чтобы при построении характеристики выявить изменения показателей двигателя на всем протяжении исследуемых режимов.

ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИСПЫТАНИЙ

Цель обработки результатов испытаний - определение показателей, характеризующих работу двигателя.

Крутящий момент, Н·м, на валу двигателя при отсутствии редуктора на стенде определяют по показанию весового механизма:

$$M_k = 7.024 \cdot G,$$

где G – показание весового механизма, Н (кгс);

$$M_K = 0.7162 \cdot P,$$

где P – показания весового механизма, Н.

Эффективная мощность двигателя, кВт,

$$N_e = \frac{M_k \cdot n}{9550}$$

где n – частота вращения коленчатого вала, мин⁻¹.

Часовой расход топлива, кг/ч:

при весовом способе замера

$$G_T = 3.6 \frac{\Delta G}{t},$$

где: ΔG – количество топлива, израсходованного за опыт, г;

t – время расхода дозы топлива, с;

при объемном способе замера

$$G_T = 3.6 \frac{\Delta V_T \cdot \rho_T}{t},$$

где: V_T – объем топлива, расходуемого за опыт, см³;

ρ_T – плотность топлива, г/см³.

Удельный эффективный расход топлива, г/(кВт·ч),

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

Часовой расход воздуха, кг/ч:

при замере газовым счетчиком

$$G_B = \frac{0.0014 \cdot h \cdot B_0}{t_0 + 273},$$

где: h – показатель счетчика;

B_0 и t_0 – соответственно давление, Па, и температура, °С, окружающего воздуха;

при замере с помощью измерительного насадка

$$G_B = H \sqrt{\Delta h \cdot \rho_B},$$

где: H – постоянная прибора;

Δh – перепад давления, Па, $\Delta h = ak$;

a – число делений шкалы, на которые поднимается уровень жидкости в наклонной трубке микроманометра;

k – постоянная микроманометра, $k = \rho_{жс} \cdot \sin\theta$ (где $\rho_{жс}$ – плотность применяемой жидкости в микроманометре, г/см³;

θ – угол наклона трубки микроманометра, град.).

Коэффициент избытка воздуха

$$\alpha = \frac{G_B}{Gl_0},$$

где l_0 – теоретическое количество воздуха, необходимое для сгорания 1 кг топлива, кг.

Коэффициент наполнения

$$\eta_v = \frac{G_B}{G_0},$$

где G_0 – теоретическое количество воздуха, которое сможет поступить в цилиндр двигателя;

$$G_B = \frac{120 \cdot V_h \cdot i \cdot n \cdot \rho_B}{10^3 \cdot \tau_{ДВ}}$$

где: V_h – рабочий объем цилиндра двигателя, л;

i – число цилиндров;

ρ_B – плотность воздуха при нормальных атмосферных условиях, кг./м³;

$$\rho_B = \frac{3480 \cdot B_0}{t_0 + 273},$$

здесь B_0 и t_0 – соответственно давление, кПа, и температура, °С, окружающего воздуха;

$\tau_{ДВ}$ – тактность двигателя.

Среднее давление, МПа:

индикаторное

$$P_i = \frac{N_i \cdot 30 \cdot \tau_{ДВ}}{V_h \cdot i \cdot n};$$

эффективное

$$P_e = \frac{N_e \cdot 30 \cdot \tau_{ДВ}}{V_h \cdot i \cdot n};$$

механических потерь

$$P_{м.п} = \frac{N_{м.п} \cdot 30 \cdot \tau_{ДВ}}{V_h \cdot i \cdot n}.$$

Среднее эффективное давление, МПа, и мощность, кВт,

$$P_e = P_i - P_{м.п}; N_e = N_i - N_{м.п}.$$

Механический КПД:

$$\eta_M = \frac{P_e}{P_i} = \frac{P_i - P_M}{P_i} = 1 - \frac{P_M}{P_i},$$

или

$$\eta_M = \frac{N_e}{N_i} = \frac{N_i - N_M}{N_i} = 1 - \frac{N_M}{N_i}.$$

КПД двигателя:

Индикаторный

$$\eta_i = \frac{L_i}{Q_1},$$

где: L_i – индикаторная работа газов за цикл, кДж;

Q_1 – тепло, введенное в двигатель с топливом, кДж;

эффективный

$$\eta_e = \frac{3600 \cdot 10^3}{Q_H \cdot g_e}$$

где Q_H – низшая удельная теплота сгорания топлива, кДж/кг,

или

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_M$$

Результаты испытаний дизелей на токсичность отработавших газов обрабатывают по 13-ступенчатому циклу в такой последовательности.

1. Вычисляют содержание водяных паров в воздухе на входе в устройство

$$d = \frac{6.21 \cdot \varphi_{окр} \cdot P_s}{B_{окр} - 0.01 \cdot \varphi_{окр} \cdot P_s}$$

2. Рассчитывают поправочные коэффициенты на влажность для оксидов азота и оксида углерода по формуле

$$F_{NO_x} = \left[\left(1 + \frac{0.044 \cdot G_T}{G_B} - 0.0038 \right) \cdot \left(d - 75 \right) + \left(0.0053 - \frac{0.116 \cdot G_T}{G_B} \cdot 1.8 \cdot \left(t_{окр} - 302 \right) \right) \right]^{-1}$$

3. Вычисляют массовые выбросы оксидов азота, оксида углерода (II) и суммарных углеродов для каждого из 1...13 режимов при влажном состоянии

отработавших газов по формулам:

$$G_{NO_x} = 0.001587 \cdot W_{NO_x} \cdot (G_T + G_B);$$

$$G_{CO} = 0.000966 \cdot W_{CO} \cdot (G_T + G_B);$$

$$G_{CH} = 0.000478 \cdot W_{CH} \cdot (G_T + G_B).$$

Если дизель, установленный на стенде, или на тракторе, или на машине, имеет отключаемый наддув или перепускной клапан системы наддува, то массовые выбросы рассчитывают при работе дизеля как с включенным, так и с отключенным наддувом, или как с включенным, так и с выключенным перепускным клапаном. Если дизель имеет несколько выпускных коллекторов, а трактор или машина с таким дизелем - несколько выпускных труб, то при расчетах используют среднее арифметическое всех измеренных на каждом режиме из числа указанных в таблице 4 значений объемных концентраций оксидов азота, оксида углерода и суммарных углеводородов.

4. По таблице 4 находят мощность дизеля на каждом режиме в соответствии с требованиями ГОСТ 18509, если дизель установлен на испытательном стенде, и ГОСТ 7057 или ГОСТ 23734, если дизель установлен на тракторе или машине. При этом должны быть учтены потери мощности в составных частях трактора или машины, а также испытательного стенда, соединяющих маховик или выходной вал дизеля с нагружающим устройством стенда. Мощность дизеля не приводят к стандартным атмосферным условиям, температуре и плотности топлива.

5. Вычисляют удельные выбросы оксидов азота, оксида углерода и суммарных углеводородов по формулам:

$$g_{NO_x} = \frac{\sum_{13} G_{NO_x} \cdot K_B}{\sum_{13} N_e \cdot K_B}$$

$$g_{CO} = \frac{\sum_1^{13} G_{CO} \cdot K_B}{\sum_1^{13} N_e \cdot K_B}$$

$$g_{CH} = \frac{\sum_1^{13} G_{CH} \cdot K_B}{\sum_1^{13} N_e \cdot K_B}$$

Значения удельных выбросов оксидов азота, оксида углерода (II) и углеводородов должны быть не более норм, приведенных в таблицах 3 и 4. Выбросы дизелей, имеющих отключаемый наддув или перепускной клапан системы наддува, а также тракторов и машин с такими дизелями, оценивают по наибольшему удельным выбросам.

При испытаниях на топливе различных марок выбросы оценивают по результатам испытаний на топливе той марки, при использовании которой удельные выбросы оказались наибольшими.

Результаты испытаний дизелей на дымность отработавших газов обрабатывают в такой последовательности.

1. Рассчитывают условный расход воздуха на каждом установившемся режиме по формуле

$$Q_B = \frac{V_h \cdot i \cdot n}{30 \cdot t}$$

Установленный расход воздуха на режиме свободного ускорения вычисляют при условии, что частота вращения коленчатого вала дизеля номинальна.

2. Вычисляют дымность на каждом установившемся режиме как среднее арифметическое результатов всех измерений на этом режиме, а при свободном ускорении - как среднее арифметическое результатов четырех последних измерений.

На каждом из установившихся режимов и на режиме свободного ускорения дымность должна быть не более значений, приведенных в таблице 6.

При испытаниях на топливе различных марок из числа указанных в технических условиях и (или) эксплуатационной документации на дизели, тракторы и машины конкретных марок дымность оценивают по результатам испытаний на топливе той марки, при использовании которой дымность оказалась наибольшей.

Значение дымности дизелей, имеющих отключаемый наддув, перепускной клапан системы наддува, несколько выпускных коллекторов и (или) выпускных труб, а также тракторов и машин с такими дизелями оценивают по наибольшему среднему арифметическим значениям дымности на каждом установившемся скоростном режиме свободного ускорения.

Если значение дымности на режиме свободного ускорения трактора или машины, имеющих наработку от 10 до 55 мото-ч, оказалось больше норм испытания, то наработку после достижения 55 мото-ч повторяют. При обработке результатов испытаний тракторных и автомобильных двигателей на содержание токсичных компонентов в отработавших газах учитывают наличие трех размерностей концентрации этих компонентов в ОГ:

мг/л отработавших газов;

ЧНМ (PPM) - частей i -го компонента на 1 млн. частей ОГ;

об. % (объемных процентов).

Так как существующие модели отечественных и зарубежных газоанализаторов могут иметь любую из этих размерностей, а нормы или методы расчета не совпадают с показаниями конкретных газоанализаторов, следует воспользоваться следующими зависимостями:

$$C_{\text{об.}\%} = 0.0001 \cdot C, \text{ppm};$$

$$C_{\text{об.}\%} = \frac{2.24}{\mu} \cdot C, \text{мг/л};$$

$$C_{\text{об.}\%} = \frac{0.0001 \cdot \mu}{2.24} \cdot C, \text{ppm},$$

где: C – концентрация токсичного компонента ОГ;

μ – молекулярная масса токсичного компонента ОГ.

Контрольные вопросы и задания

1. Приведите классификацию испытаний тракторных дизелей.
2. Какова классификация испытаний автомобильных двигателей?
3. Перечислите установки и приборы, применяемые при испытании двигателей.
4. Расскажите об устройстве и работе тормозных устройств различных типов.
5. Каковы преимущества электрических тормозов?
6. Начертите характеристики электрического, гидравлического и индукторного тормозов.
7. Какие способы измерения расхода топлива при испытаниях двигателей вы знаете?
8. Какие устройства применяются для измерения расхода воздуха при испытании двигателей?
9. Расскажите об устройстве и работе центробежного, приставного и электрического тахометра.
10. Как устроены и действуют манометрический термометр и термопара?
11. Напишите формулы для подсчета мощности двигателя, его крутящего момента, часового и удельного расхода топлива, часового расхода воздуха.
12. Перечислите основные элементы измерительно-вычислительного комплекса для определения параметров ДВС и его агрегатов и укажите их назначение.
13. Какой принцип положен в основу измерения оксида углерода (CO) и суммы углеводородов (CH)?
14. Перечислите основные элементы прибора АСКОН-01 и укажите их назначение.
15. Каковы основные элементы прибора КИД-2 и каково их назначение?

СНЯТИЕ СКОРОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДВИГАТЕЛЕЙ

Цель работы. Установить зависимость технико-экономических, температурных и других показателей двигателя в функции частоты вращения коленчатого вала.

Приборы и оборудование. Тормозной стенд.

Скоростной характеристикой двигателя называют зависимость мощностных (N_e , M_k , P_e), экономических (G_T , g_e), токсических и других показателей двигателя от частоты вращения коленчатого вала при постоянном положении дроссельной заслонки карбюраторного двигателя или органа управления регулятором частоты вращения дизеля.

Характеристики карбюраторного двигателя, полученные при полном открытии дроссельной заслонки, называют внешними, а при промежуточном положении - частичными скоростными.

Согласно требованиям ГОСТ 18509-80 внешнюю скоростную характеристику дизеля снимают при положении органов управления регулятором частоты вращения, соответствующем полной подаче топлива, т. е. при положении рычага управления регулятором на упоре (номинальному скоростному режиму). Частичные скоростные характеристики следует снимать при промежуточном положении органа управления регулятором частоты вращения, соответствующем частичной подаче топлива.

Таким образом, ГОСТ предусматривает снятие скоростных характеристик дизеля при воздействии на подачу топлива через регулятор частоты вращения. Такие характеристики отвечают реальным условиям эксплуатации тракторных дизелей, и их рассматривают в следующей лабораторной работе. Кроме того, в учебных целях целесообразно получить внешнюю скоростную характеристику дизеля при отключенном регуляторе и фиксированном положении рейки топливного насоса, соответствующем подаче топлива на номинальном режиме работы. Положение рейки определено по регулировочной характеристике, по составу смеси или по нагрузочной характеристике дизеля,

полученным в предыдущих лабораторных работах.

Внешняя скоростная характеристика карбюраторного двигателя

Условия испытаний. Внешнюю скоростную характеристику карбюраторного двигателя снимают при полном открытии дроссельной заслонки карбюратора. Состав смеси определяется работой всех систем карбюратора и обычно соответствует мощностной регулировке ($\alpha = 0.85...0.9$). Частичную скоростную характеристику снимают при промежуточном положении дроссельной заслонки карбюратора. Так как в этом случае экономайзер не включен, то состав смеси соответствует экономической регулировке $\alpha = 1.05...1.15$. Угол опережения зажигания устанавливают близким к оптимальному за счет работы центробежного автомата опережения зажигания прерывателя-распределителя и вакуум-корректора.

Частоту вращения коленчатого вала двигателя регулируют изменением нагрузки тормоза.

Подготовка двигателя. В соответствии с ГОСТом в зависимости от укомплектованности двигателя вспомогательными устройствами и оборудованием определяют мощность нетто или мощность брутто.

При определении мощности нетто двигатель должен быть укомплектован серийным оборудованием и устройствами: воздухоочистителем, глушителями шума впуска и выпуска, соответствующими трубопроводами, радиатором, вентилятором системы охлаждения, генератором, устройствами снижения токсичности отработавших газов и т. д.

Вспомогательные устройства потребляют полезную мощность двигателя. Поэтому для определения максимально возможной мощности (мощности брутто) проводят испытания без названных узлов и оборудования. В учебных опытах двигатель укомплектован для определения мощности брутто. Регулировки карбюратора и прерывателя-распределителя серийные.

Порядок выполнения работы. Первый опыт проводят при минимальной устойчивой частоте вращения коленчатого вала двигателя n_{min} , которую

регулируют, увеличивая нагрузку двигателя тормозом. Вторым и последующие опыты проводят после некоторого уменьшения нагрузки тормоза, пока частота вращения коленчатого вала двигателя не увеличится на 150...250 мин⁻¹, а последний опыт - при минимальной нагрузке тормоза и частоте вращения примерно на 10 % выше номинальной. Число опытов должно быть достаточным для определения момента достижения максимальной мощности. В зоне $N_{e\max}$ опыты целесообразно проводить более часто.

По результатам испытаний строят графики внешней скоростной характеристики (рисунок 1). Значения мощности, крутящего момента в значительной мере зависят от параметров окружающей среды - барометрического давления B_0 , температуры t_0 , влажности воздуха ψ . Поэтому значения эффективной мощности N_e , крутящего момента M_k приводят к стандартным атмосферным условиям (методика приведения показателей двигателя к стандартным атмосферным условиям изложена в ГОСТе).

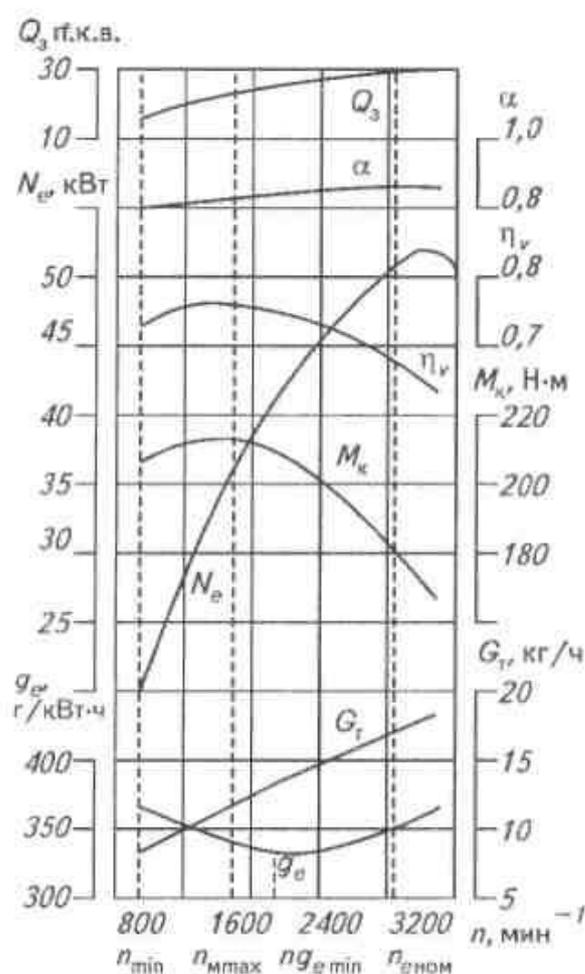


Рисунок 1 – Внешняя скоростная характеристика карбюраторного двигателя

Определяют в характерных точках следующие параметры двигателя:

- максимальная мощность $N_{e\ max}$ и соответствующая ей частота вращения n_N ;
- номинальная мощность $N_{e\ ном.}$, гарантируемая заводом-изготовителем при номинальной частоте вращения $n_{e\ ном.}$;
- максимальный крутящий момент $M_{к\ max}$ и соответствующая ему частота вращения $n_{м\ max}$;
- минимальный удельный расход топлива $g_{e\ min}$ по внешней характеристике и соответствующая ему частота вращения $n_{ge\ min}$;
- минимальная устойчивая частота вращения при работе с полной нагрузкой n_{min} .

По характеристике определяют динамические качества двигателя, которые характеризуются:

коэффициентом приспособляемости двигателя по оборотам

$$k_{\Pi} = \frac{n_{ном}}{n_{Mmax}} ;$$

коэффициентом приспособляемости двигателя по крутящему моменту

$$k = \frac{M_{к.мах}}{n_{к.ном}}$$

коэффициентом запаса крутящего момента

$$\mu_k = \frac{M_{к.мах} - M_{к.ном}}{M_{к.ном}}$$

Часто для объяснения полученных результатов на той же характеристике или отдельном графике строят зависимости изменения регулировочных параметров: коэффициента наполнения η_v состава смеси α , цикловой подачи топлива q_u , угла опережения зажигания φ_z , среднего эффективного давления P_e , давления механических потерь $P_{мт}$, индикаторного, механического и эффективного КПД [η_i, η_M, η_e (рисунок 2)].

Анализ характеристики. Внешняя скоростная характеристика – основная паспортная характеристика карбюраторного двигателя – определяет

его мощностные показатели, соответствующие им регулировки систем двигателя и данные по топливной экономичности на различных частотах вращения.

Проанализируем изменение основных показателей двигателя: часового расхода топлива G_T , крутящего момента M_k , эффективной мощности N_e , удельного расхода топлива q_e .

Количество поступающего в двигатель топлива вычисляют, используя известное из теории двигателя выражение для часового расхода топлива, кг/ч:

$$G_T = i \cdot V_h \cdot \eta_v \cdot p_k \cdot \frac{1}{\alpha \cdot l_0 \cdot 30 \cdot \tau_{дв}}$$

где: i – число цилиндров;

V_h – рабочий объем цилиндра, м³;

p_k – давление наддува, МПа;

l_0 – количество воздуха, необходимое для сгорания 1 кг топлива;

$\tau_{дв}$ – тактность двигателя.

Учитывая неизменность окружающих атмосферных условий (давления, температуры, p_k), сорта топлива, геометрических параметров двигателя (i , V_h , $\tau_{дв}$), можно считать, что часовой расход топлива определяется количеством поступившего в цилиндр воздуха, оцениваемого η_v , концентрацией топлива в воздушном заряде, характеризуемой $1/\alpha$, и частотой вращения n , т. е.

$$G_T = f\left(\eta_v, \frac{1}{\alpha}, n\right).$$

Рассмотрим изменение названных факторов.

Коэффициент избытка воздуха по внешней скоростной характеристике обычно соответствует мощностной регулировке α_N для достижения максимальной мощности на каждом скоростном режиме. С повышением частоты вращения улучшается качество смесеобразования, поэтому значение α_N может несколько увеличиваться в диапазоне $\alpha_N = 0.8...0.9$.

Поступление воздуха в цилиндры двигателя может быть представлено коэффициентом наполнения η_v , который зависит от ряда факторов. В частно-

сти, от времени, отводимого на процессы газообмена, гидравлических сопротивлений впускного тракта, инерции воздушного потока и колебательных процессов во впускной и выпускной системах, фаз газораспределения и теплового режима.

В итоге изменение коэффициента наполнения специфично для каждой модели двигателя. Типичный закон изменения η_v показан на рисунке 1. В зависимости от назначения двигателя фазы газораспределения конструкцию впускной и выпускной систем двигателя выбирают такой, чтобы обеспечить максимум η_v на средней частоте вращения. Для двигателей легковых автомобилей точка Лушах смещается в зону больших частот вращения, для грузовых, наоборот - при малых частотах вращения. При уменьшении частоты вращения от зоны $\eta_{v \max}$ наполнение уменьшается в основном не за счет оптимальности фаз газораспределения, а при увеличении частоты вращения еще и вследствие роста аэродинамических сопротивлений впускной и выпускной систем.

Для двигателя с внешним смесеобразованием цикловая подача топлива $q_{ц}$ изменяется аналогично коэффициенту наполнения η_v .

В результате описанного изменения α и η_v часовой расход топлива возрастает почти пропорционально частоте вращения n , имея характерную выпуклость кривой G_T за счет специфического изменения η_v и $q_{ц}$.

Крутящий момент двигателя M_k зависит, во-первых, от количества поданного топливно-воздушного заряда (характеризуемого η_v и $1/\alpha$), во-вторых, от эффективности использования теплоты сгорания топлива (оцениваемой η_i) и, в третьих, определяется уровнем механических потерь (характеризуемых η_m), т. е.

$$M_k \approx \eta_v \cdot \frac{1}{\alpha} \cdot \eta_i \cdot \eta_m.$$

С увеличением частоты вращения коленчатого вала индикаторный КПД η_i возрастает до определенного значения вследствие улучшения процессов смесеобразования и сгорания, сокращения времени цикла и, следовательно-

но, уменьшения тепловых потерь в стенке цилиндра.

Механические потери возрастают с увеличением частоты вращения коленчатого вала. Однако вследствие общего повышения индикаторной мощности относительные механические потери $N_{м.п.}/N_i$ сначала меняются мало, а затем прогрессивно возрастают. Поэтому η_m на малых частотах вращения почти постоянен, а при высоких интенсивно уменьшается.

В результате совместного действия коэффициента наполнения η_v , цикловой подачи топлива q_u , индикаторного η_i , и механического η_m КПД среднее эффективное давление сначала возрастает, достигая максимума при средних частотах вращения (соответствующих примерно максимуму η_v), а затем снижается (рисунок 2). По сравнению с максимальным значением $M_{к\ max}$ уменьшение среднего эффективного давления на малых частотах объясняется снижением η_v и η_i , а на высоких - уменьшением η_v и η_m .

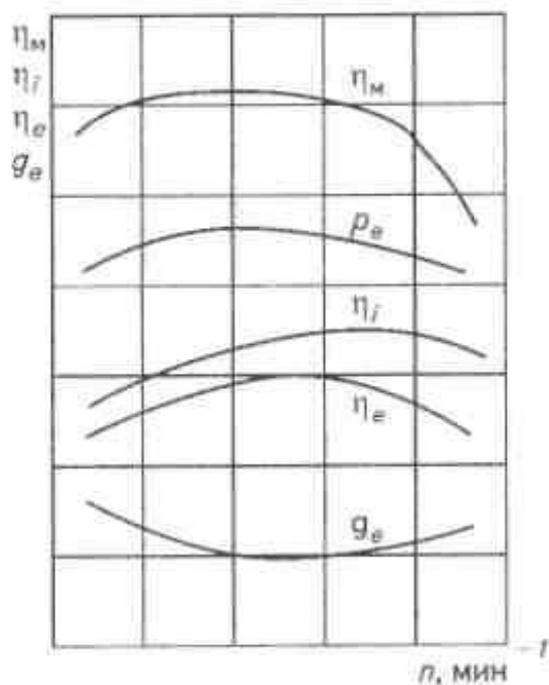


Рисунок 2 – Влияние частоты вращения на индикаторный, эффективный, механический КПД и удельный эффективный расход топлива

Основной показатель двигателя - его эффективная мощность, которая зависит от следующих факторов:

конструкция двигателя ($i, V_h, \tau_{ов}$);

параметры окружающей среды (B_0, t_0, ψ);

количество топлива, поступившее в цилиндр за один цикл, характеризуемое $\eta_v \frac{1}{\alpha}$;

число циклов в единицу времени, т. е. частота вращения n ;

эффективность сгорания топливно-воздушного заряда, т. е. качество протекания рабочих процессов, характеризуемых η_m ;

относительные механические потери, характеризуемые значением η_m .

Математически эта сложная зависимость может быть представлена в виде

$$N_e = f \left(i \cdot V_h, \tau_{gb}, \eta_v, \frac{1}{\alpha}, \varphi_z, n, \eta_i, \eta_m, \rho_k \right).$$

Для данного типа двигателя, испытываемого при неизменных окружающих условиях, эффективная мощность определяется значениями крутящего момента и частоты вращения коленчатого вала $N_e = f(M_K, n)$.

На графике изменения N_e можно выделить три характерные зоны. В первой зоне от n_{min} до $n_{m \max}$ благодаря одновременному увеличению M_K и n возрастание идет наиболее интенсивно.

Во второй зоне от $n_{m \max}$ до n_N вследствие постепенного уменьшения M_K наблюдается замедление, а затем и прекращение увеличения N_e . В третьей зоне после режима n_N уменьшение крутящего момента настолько велико, что не может быть компенсировано повышением частоты вращения, и мощность снижается.

В качестве паспортной характеристики завод-изготовитель обычно указывает не максимальную мощность, а номинальную $N_{e \text{ ном}}$ (т. е. расчетную, гарантируемую заводом-изготовителем) и соответствующую ей номинальную частоту вращения $n_{\text{ном}}$.

Вследствие значительного изменения крутящего момента M_K по скоростной характеристике и большому диапазону возможных рабочих частот вращения для карбюраторного двигателя характерны достаточно высокие значения коэффициентов приспособляемости и запаса крутящего момента:

$$K_{II} = 1.8 \dots 2.0; K = 1.25 \dots 1.35; \mu_K = 0.25 \dots 0.35.$$

Чем больше K_{II} , тем устойчивее двигатель работает на малых частотах вращения, тем реже возникает необходимость в переключении передач при повышении внешней нагрузки.

Чем больше K и μ_K , тем лучше динамические качества, тем легче двигатель преодолевает внешнюю нагрузку, например меньше снижение частоты вращения и скорости автомобиля при движении с полной нагрузкой на подъеме.

Часовой расход топлива определяется цикловой подачей топлива $q_{ц}$, частотой вращения коленчатого вала n , числом цилиндров i и тактностью двигателя $\tau_{дв}$:

$$G_T = f(q_{ц}, n, i, \tau_{дв}).$$

Значения i и $\tau_{дв}$ постоянны, концентрация топлива в воздушном заряде a_N меняется мало, цикловая подача топлива $q_{ц}$ меняется пропорционально коэффициенту наполнения η_v . Поэтому часовой расход топлива определяется значениями η_v и n . В результате описанного изменения часовой расход топлива растет почти пропорционально частоте вращения коленчатого вала n , имея характерную выпуклость кривой G_T за счет специфического изменения η_v .

Удельный расход топлива определяется эффективностью использования выделившейся в цикле теплоты и механическими потерями (рисунок 2):

$$g_e \approx \frac{1}{\eta_e} = \frac{1}{\eta_i \cdot \eta_m}.$$

Минимальный удельный расход топлива наблюдают при средних частотах вращения коленчатого вала, он определяется оптимальным значением $\eta_i \eta_m$. Возрастание g_e при уменьшении n связано с падением η_i вследствие ухудшения процессов смесеобразования, сгорания и увеличения тепловых потерь. Рост g_e при повышении n объясняется снижением η_m .

С увеличением частоты вращения коленчатого вала продолжительность сгорания, выраженная в градусах поворота коленчатого вала, возрастает. Для сохранения оптимальных показателей двигателя необходимо увели-

чивать угол опережения зажигания (см. регулировочную характеристику по углу опережения зажигания), что обеспечивается работой центробежного автомата опережения прерывателя-распределителя.

По внешней скоростной характеристике карбюраторного двигателя определяют, соответствуют ли полученные значения эффективной мощности, крутящего момента, часового и удельного расхода топлива техническим условиям, установленным заводом-изготовителем.

Контрольные вопросы и задания

1. Что называют внешней скоростной характеристикой двигателя?
2. Перечислите условия снятия внешних скоростных характеристик дизеля и карбюраторного двигателя. Как они переходят с одного скоростного режима на другой?
3. Изобразите графически изменение основных показателей параметров двигателя в функции частоты вращения коленчатого вала: N_e , M_k , G_T , g_e , η_v , a , θ_z , η_i , η_m , $\eta_e = f(n)$.
4. Назовите основные причины, определяющие характер изменения η_v , a , θ_z от частоты вращения.
5. Перечислите основные причины, определяющие изменение N_e , M_k , G_T , g_e , η_v , η_m , η_e от частоты вращения.
6. Что такое коэффициент приспособляемости двигателя? Каковы значения коэффициента приспособляемости для карбюраторного двигателя и для дизеля (при работе корректора подачи и при закреплённой рейке топливного насоса)?
7. Чем в основном обусловлено увеличение индикаторного КПД при возрастании частоты вращения?
8. Чем в основном обусловлено уменьшение механического КПД при увеличении частоты вращения?
9. Что определяет сложный характер изменения эффективного КПД с ростом частоты вращения?

10. Какие параметры характеризуют потребление топлива и эффективность его использования? Как они связаны с η_i , η_m , η_e ?

11. За счет каких факторов и регулировок двигателя может быть повышена его мощность?

12. Какие факторы ухудшают работу дизеля при повышении частоты вращения выше номинальной?

13. Какие устройства можно устанавливать на двигателе для компенсации затягивания процесса сгорания в цилиндре при увеличении частоты вращения?

Регуляторные характеристики дизеля

В реальных условиях эксплуатации тракторные и комбайновые дизели работают при одновременном изменении нагрузки и частоты вращения коленчатого вала. Подачу топлива в зависимости от изменения внешней нагрузки и соответственно частоты вращения регулируют автоматически все-режимным регулятором. Изменение показателей двигателя при работе с регулятором оценивают по регуляторным характеристикам, которые являются основной паспортной характеристикой.

Согласно требованиям ГОСТ 18509-88 внешнюю скоростную характеристику дизеля следует снимать при положении органа управления регулятором частоты вращения, соответствующем номинальному, т. е. при положении рычага управления регулятором на упоре.

Регуляторной характеристикой дизеля называют зависимость мощностных (M_k , N_e), экономических (G_T , g_e) и других показателей двигателя от частоты вращения при фиксированном положении рычага управления регулятором на упоре, соответствующем номинальному скоростному режиму, т. е. N_e , M_k , G_T , $g_e = f(n)$.

Кроме того, регуляторные характеристики могут быть представлены как зависимость основных показателей двигателя от крутящего момента N_e , G_T , g_e , $n = f(M_k)$ или от эффективной мощности M_k , G_T , g_e , $n = f(N_e)$.

При положении рычага управления регулятором на упоре максимальной частоты вращения получают полную регуляторную характеристику дизеля, оценивающую максимальные мощностные показатели.

При промежуточном положении рычага управления всережимным регулятором изменяется усилие предварительной затяжки пружины регулятора и соответственно частота вращения и мощность двигателя. Такие характеристики называют частичными регуляторными характеристиками.

Условия испытаний. Характеристику снимают при положении рычага управления регулятором на упоре. При снятии частичной регуляторной характеристики рычаг управления всережимным регулятором устанавливают в промежуточное положение, изменяя тем самым усилие предварительной затяжки пружины.

Характеристику снимают, последовательно увеличивая нагрузки в диапазоне рабочих частот вращения: от максимальной частоты вращения холостого хода до 85 % частоты вращения при максимальном крутящем моменте. Таким образом, охватывают весь диапазон рабочих режимов двигателя при данном положении рычага управления регулятором.

Обычно в характеристике выделяют две ветви: регуляторную - при изменении нагрузки от нуля до номинальной, и корректорную - при работе с нагрузкой от номинальной и более (с перегрузкой).

Регулирование цикловой подачи q_u , состава смеси α и угла опережения впрыскивания топлива θ_B обеспечивается автоматической работой соответствующих систем двигателя.

Подготовка двигателя. Двигатель оснащают устройством, которое фиксирует рычаг управления регулятором в любом положении. Топливный насос и регулятор предварительно проверены и настроены.

Порядок выполнения работы. Проводят опыты: первый - при работе двигателя без нагрузки на режиме максимальной частоты вращения холостого хода; второй - при увеличении нагрузки тормоза, добиваясь уменьшения частоты вращения примерно на 20 мин⁻¹; последующие три-четыре опыта - с

тем же шагом уменьшения частоты вращения. Далее частоту вращения в опытах уменьшают на 100 мин^{-1} .

Последний опыт проводят при падении частоты вращения до 85 % частоты вращения при максимальном крутящем моменте. Это примерно соответствует минимальной устойчивой частоте вращения коленчатого вала двигателя, работающего с перегрузкой.

По результатам испытаний строят графики регуляторной характеристики в функции частоты вращения и эффективной мощности (рисунок 3). На характеристике выписывают как основные показатели двигателя N_e , M_k , G_u , g_e так и значения регулировочных параметров угла опережения впрыскивания топлива θ_B , коэффициента наполнения η_v , коэффициента избытка воздуха a , цикловой подачи топлива q_u и других параметров. Определяют следующие показатели двигателя в характерных точках:

максимальную частоту вращения коленчатого вала $n_{x.x. \max}$ и соответствующее значение часового расхода топлива $G_{T.x.x.}$;

номинальную мощность $N_{e \text{ ном}}$, часовой $G_{T \text{ ном}}$, удельный расход топлива и значение номинальной частоты вращения коленчатого вала $n_{\text{ном}}$;

минимальный удельный расход топлива $g_{e \text{ min}}$ и соответствующую частоту вращения коленчатого вала $n_{g_{e \text{ min}}}$;

оценочный удельный расход топлива $g_{e \text{ оц}}$;

максимальный крутящий момент $M_{k \text{ max}}$ и соответствующую частоту вращения коленчатого вала $n \cdot M_{k \text{ max}}$;

режим минимальной устойчивой частоты вращения коленчатого вала при работе с полной нагрузкой n_{min} ;

коэффициенты приспособляемости по оборотам K_n , коэффициент запаса крутящего момента μ_k , оценивают степень неравномерности работы регулятора:

$$\delta = \frac{n_{x.x.\max} - n_{\text{ном}}}{n_{\text{ср}}}$$

где $n_{\text{ср}} = \frac{n_{x.x.\max} - n_{\text{ном}}}{2}$

Анализ характеристики. На регуляторных характеристиках, показанных на рисунке 3, можно выделить две ветви характеристики – регуляторную (зона 1) и корректорную (зона 2). По регуляторной ветви отмечают значительное изменение нагрузки от нуля до номинальной и небольшое, порядка 6...8 %, изменение частоты вращения. По корректорной ветви двигатель работает с максимально возможной нагрузкой и значительным (50...70 %) изменением частоты вращения. Изменение регулировок и показателей дизеля можно проанализировать по регуляторной характеристике, построенной в функции частоты вращения (рисунок 3, *a*).

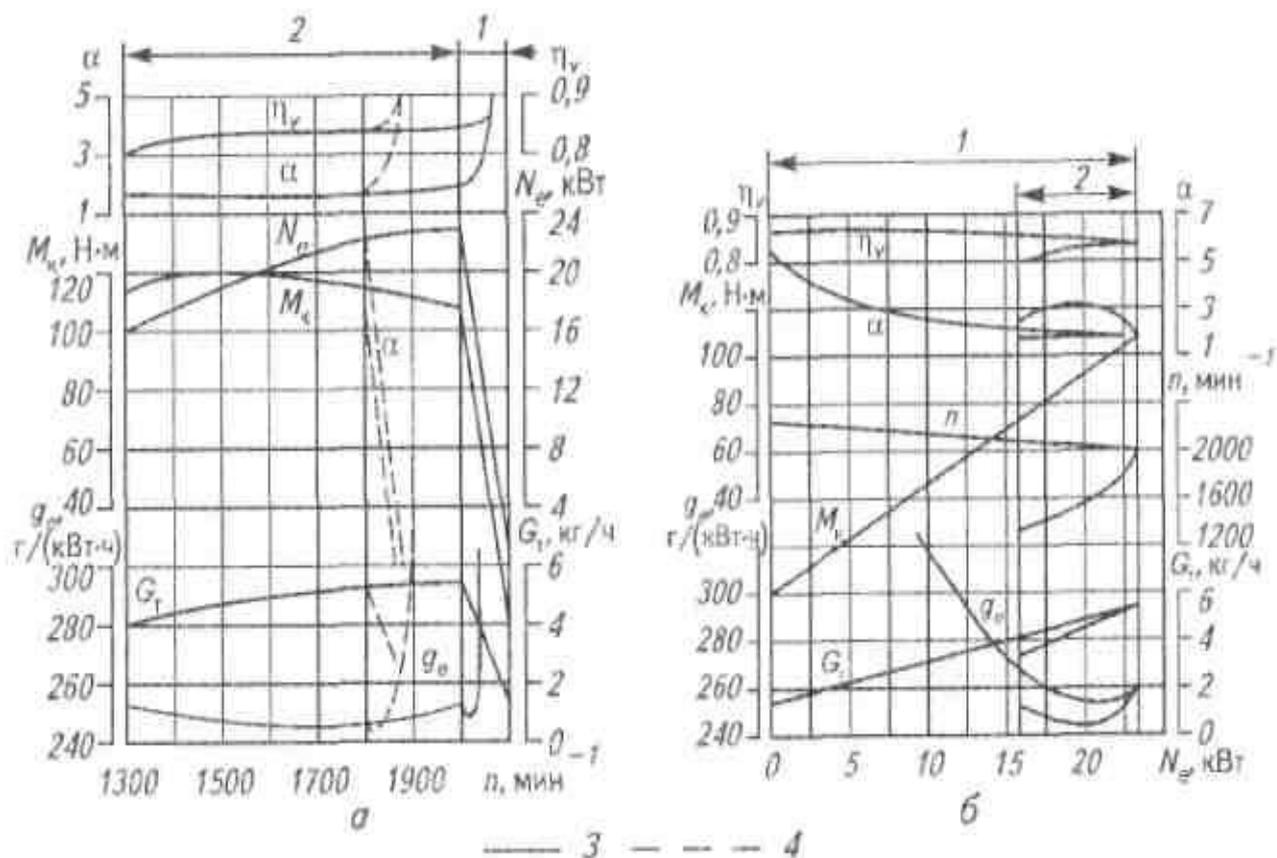
Дизель имеет качественное регулирование мощности, и расход воздуха в дизеле специально не регулируется. Однако при работе по регуляторной ветви с увеличением нагрузки повышается температура деталей двигателя, увеличивается подогрев заряда, снижается его плотность и количество, что несколько (на 5...8 %) уменьшает коэффициент наполнения η_v . При работе в зоне корректорной ветви коэффициент наполнения аналогичен коэффициенту в карбюраторном двигателе (см. скоростную характеристику), но возрастает медленнее. Это объясняется меньшим диапазоном изменения частоты вращения коленчатого вала, а, следовательно, меньшим влиянием аэродинамических сопротивлений впускного тракта и фаз газораспределения.

Регулируют мощность дизеля на регуляторном участке характеристики только за счет увеличения цикловой подачи топлива при незначительном изменении частоты вращения коленчатого вала. Вследствие этого при работе по регуляторной ветви характеристики смесь обогащается от $a = 6...8$ на режиме холостого хода (и максимальной частоты вращения) до $a = 1.2...1.5$ на режиме номинальной мощности. При дальнейшем повышении внешней нагрузки на двигатель сверх номинальной устойчивая работа возможна лишь при дополнительном увеличении цикловой подачи топлива, осуществляемом корректором. Это увеличение цикловой подачи топлива невелико (15...20 %), так как ограничено предельной дымностью отработавших газов.

Значение крутящего момента зависит от количества поданного топли-

ва, эффективности использования теплоты и механических потерь, т. е.

$$M_k = f(\eta_v, q_{ц}, \eta_i, \eta_m).$$



а - в функции частоты вращения; **б** - в функции эффективной мощности; **1** - регуляторная ветвь; **2** - корректорная ветвь; **3** - полная регуляторная характеристика дизеля; **4** - то же, частичная

Рисунок 3 – Регуляторная характеристика дизеля

При условии полного и своевременного сгорания топлива (т. е. достаточно высоких значений η_i) увеличение цикловой подачи топлива и обогащение смеси ведет к росту количества теплоты, выделяющейся в цилиндре двигателя, увеличению среднего эффективного давления и крутящего момента. По регуляторной ветви благодаря линейному увеличению $q_{ц}$ наблюдается линейное возрастание крутящего момента M_k от нуля до номинального. Поэтому повышение внешней нагрузки на двигатель приводит лишь к незначительному уменьшению частоты вращения. При работе по корректорной ветви в режиме перегрузки увеличение цикловой подачи топлива и соответственно

крутящего момента невелико и составляет не более 15...25 %. В результате повышение внешней нагрузки существенно уменьшает частоту вращения.

Коэффициент наполнения, индикаторный и механический КПД также оказывают влияние на M_k . Их значение проанализировано в скоростной характеристике карбюраторного двигателя. Изменение указанных параметров для дизеля идентично.

Изменение крутящего момента зависит от настройки корректора. Размер хода штока корректора определяет приращение цикловой подачи топлива, усилие пружины корректора, частоту вращения коленчатого вала, соответствующую $M_{k\max}$.

Известно, что мощность двигателя определяется значением крутящего момента и частоты вращения $N_e = f(M_k, n)$. При повышении нагрузки в диапазоне от режима максимальной частоты вращения холостого хода до номинальной нагрузки мощность двигателя, как и крутящий момент, возрастает за счет увеличения цикловой подачи топлива и обогащения смеси. При работе с перегрузкой мощность уменьшается вследствие значительного снижения частоты вращения. Наблюдающееся при этом увеличение крутящего момента на 15...25 % не компенсирует уменьшение эффективной мощности из-за падения частоты вращения.

Часовой расход топлива возрастает по мере повышения нагрузки от холостого хода вплоть до номинальной за счет увеличения q_u . При работе на корректорной ветви дополнительное увеличение цикловой подачи топлива для преодоления кратковременной перегрузки невелико, а частота вращения существенно уменьшается, что определяет снижение часового расхода топлива.

При работе дизеля на регуляторной ветви удельный расход топлива на режиме холостого хода стремится к бесконечности, так как полезной работы двигатель не совершает. Коэффициент избытка воздуха при этом, $a = 6...8$. При повышении нагрузки до номинальной цикловая подача топлива увеличивается, что совместно со снижением коэффициента наполнения вызывает

снижение коэффициента избытка воздуха до $a = 1.2...1.5$. При этом η_m возрастает, достигая максимума при $a = 3...4$, а затем снижается; η_m возрастает, и максимальное его значение соответствует номинальной мощности. Закономерность изменения индикаторного и механического КПД определяет изменение удельного расхода топлива g_e . При незначительном изменении скоростного режима и работе дизеля на регуляторной ветви закономерность изменения удельного расхода топлива определяется причинами, изложенными при описании регулировочной характеристики по расходу топлива или нагрузочной характеристике дизеля.

При работе дизеля на корректорной ветви удельный расход топлива g_e определяется одновременным увеличением механического КПД и падением индикаторного КПД. Возрастание механического КПД связано с уменьшением относительной доли механических потерь $N_{м.п} / N_i$ при снижении частоты вращения коленчатого вала. Падение индикаторного КПД вызвано ухудшением качества смесеобразования при снижении скоростного режима.

В зависимости от регулировки топливной аппаратуры, изменения коэффициента избытка воздуха и особенностей рабочего процесса дизеля минимальный удельный расход топлива отмечают как на регуляторной, так и на корректорной ветви характеристики.

Среднюю топливную экономичность дизеля оценивают по удельному расходу топлива $g_e_{оц.}$, который рассчитывают как среднее арифметическое значение из 10 значений удельного расхода топлива по регуляторной ветви регуляторной характеристики, определенных через равные интервалы мощности в диапазоне от режима номинальной мощности до режима, соответствующего 50 % $N_{e ном.}$.

При снятии частичной регуляторной характеристики за счет изменения усилия пружины регулятора изменяется частота вращения, поддерживаемая регулятором. Изменение мощностных и экономических показателей на регуляторной ветви сохраняется.

Тракторные двигатели, оснащенные всережимными регуляторами час-

тоты вращения, работают в основном по регуляторной ветви, т. е. в условиях значительного изменения мощности, но небольшого изменения частоты вращения. Поэтому для удобства анализа изменения показателей двигателя от нагрузки регуляторную характеристику представляют в функции эффективной мощности (рисунок 3, б). Проведенный выше анализ может быть полностью повторен и для регуляторной характеристики дизеля в функции эффективной мощности.

Нагрузка двигателя может характеризоваться не только эффективной мощностью, но также средним эффективным давлением или крутящим моментом. Поэтому регуляторная характеристика может быть представлена в зависимости от изменения M_k или P_e .

Показатели двигателя по регуляторной характеристике оценивают, сравнив параметры в характерных точках с паспортными:

G_T при $n_{x.x. max}$; $N_{e ном}$, $M_{k ном}$, g_e при $n_{ном}$; $M_{k max}$ при $n_{m max}$; $g_{e min}$ при $n_{ge min}$; $g_{e оц}$.

Из полученных данных определяют коэффициенты приспособляемости по оборотам K_n , коэффициент запаса крутящего момента η_k и неравномерность регулятора δ_p .

Контрольные вопросы и задания

1. Что называют регуляторной характеристикой дизеля?
2. С какой целью, и при каких условиях снимают регуляторную характеристику?
3. Перечислите последовательность работ при переходе с одного режима работы на другой.
4. Как регулируют мощность дизеля при снятии регуляторной характеристики?
5. Изобразите изменение параметров регулирования и оценочных показателей дизеля по регуляторной характеристике, построенной в функции частоты вращения и нагрузки.
6. Как и почему изменяются по регуляторной характеристике дизеля n ,

η_e, a, G_T ?

7. Назовите факторы, определяющие изменение $\eta_i, \eta_m, \eta_e, g_e, M_k, N_e$.
8. При каких условиях достигается минимальный удельный расход топлива $g_{e \min}$?
9. Чем в основном вызвано увеличение g_e по регуляторной ветви регуляторной характеристики?
10. Назовите значение коэффициента избытка воздуха и коэффициента наполнения при работе дизеля на холостом ходу и полной нагрузке.
11. Какие особенности дизеля определяют отличия в протекании a и η_v по нагрузочной характеристике от аналогичных зависимостей для карбюраторного двигателя?
12. Назовите причины лучшей топливной экономичности дизеля по сравнению с карбюраторным двигателем.
13. Каковы значения коэффициента приспособляемости современных автотракторных дизелей, имеющих корректор подачи?
14. Каковы значения механического КПД и удельного расхода топлива при работе двигателя на холостом ходу и номинальной нагрузке?

СНЯТИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПО ТОКСИЧНОСТИ И ДЫМНОСТИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДВИГАТЕЛЕЙ

Токсическая характеристика тракторного дизеля (по 13-ступенчатому циклу)

Токсической характеристикой тракторного дизеля (по 13 - ступенчатому циклу) называют установление значения удельных выбросов оксидов азота (NO_x), оксида углерода (CO) и суммарных углеводородов (CH).

Цель работы. Установить в соответствии с 13-ступенчатым испытательным циклом значения удельных выбросов NO_x , CO и CH ; определить соответствие установленных значений удельных выбросов NO_x , CO и CH нормам ГОСТ 17.2.2.05-97.

Оборудование и приборы (см. стр. 82...90). Для установления значений удельных выбросов CO и CH используют прибор АСГА-Т.

Порядок выполнения работы. Подготавливают дизель к испытаниям в таком порядке.

1. Устанавливают, закрепляют дизель трактора или машины на испытательных стендах, оборудованных нагружающими устройствами, или на площадке. Проверяют соединение маховика, хвостовика ВОМ, ведущих осей, шкива ременной передачи с нагружающим устройством, условия питания топливом по ГОСТ 18509, ГОСТ 7057, ГОСТ 23734, а также по техническим условиям, эксплуатационной и ремонтной документации на тракторы и машины конкретных марок.

2. Определяют выбросы дизелей при стендовых испытаниях по ГОСТ 18509; выбросы тракторов, имеющих ВОМ, механически связанный с коленчатым валом дизеля, не являющийся синхронным и предназначенный для передачи максимальной мощности - при торможении хвостовика ВОМ - по ГОСТ 7050 и ГОСТ 23734; тракторов, имеющих ВОМ, механически связанный с коленчатым валом дизеля и являющийся синхронным и (или) не предназначенный для передачи максимальной мощности или не имеющий ВОМ,

механически связанный с коленчатым валом дизеля, при торможении осей ведущих колес или при испытаниях на стендах с беговыми барабанами или с бесконечной лентой; машин при торможении установленных на них дизелей через ведущие или ведомые шкивы ременной передачи, через ведущие или ведомые звездочки цепной передачи или через другие составные части трансмиссии или на стендах с беговыми барабанами или с бесконечной лентой, если конструкция тракторов и машин обеспечивает работу установленных на них дизелей, на режимах (1...13), указанных в таблице 1.

Таблица 1 – Европейский 13-ступенчатый испытательный цикл

№ цикла	Частота вращения коленчатого вала дизеля	Крутящий момент, % крутящего момента при полной подаче топлива на данном скоростном режиме	Коэффициент весомости режима
1	Минимальная устойчивая	0	0.0833
2	Соответствующая максимальному крутящему моменту	10	0.08
3	То же	25	0.08
4	»	50	0.08
5	»	75	0.08
6	»	100	0.2501
7	Минимальная устойчивая	0	0.0833
8	Номинальная	100	0.1
9	»	75	0.02
10	»	50	0.02
11	»	25	0.02
12	»	10	0.02
13	Минимальная устойчивая	0	0.0833

3. Проверяют соответствие требованиям к установке пробоотборных зондов, к дизельному топливу и маслам – по разделу 7 ГОСТ 17.2.2.02; мест установки газоанализаторов относительно пробоотборного зонда - по технической документации на газоанализаторы конкретных марок.

4. Проводят испытания при атмосферных условиях, удовлетворяющих условию

$$0.96 \leq F_A \leq 1.06.$$

Значение F_A вычисляют по формулам:

для дизелей:

без наддува или с механическим приводом компрессора, а также для тракторов и машин с такими дизелями

$$F_A = \left(\frac{100}{B_{\text{окр}}} \right) \cdot \left(\frac{T_{\text{окр}}}{293} \right)^{0.7} ;$$

с турбонаддувом без промежуточного охлаждения наддувочного воздуха, а также для тракторов и машин с такими дизелями

$$F_A = \left(\frac{100}{B_{\text{окр}}} \right)^{0.65} \cdot \left(\frac{T_{\text{окр}}}{293} \right)^{0.5} ;$$

с турбонаддувом и промежуточным охлаждением наддувочного воздуха, а также для тракторов и машин с такими дизелями

$$F_A = \left(\frac{100}{B_{\text{окр}}} \right)^{0.7} \cdot \left(\frac{T_{\text{окр}}}{293} \right)^{1.5} ;$$

где: F_A – показатель окружающей среды;

$B_{\text{окр}}$ – атмосферное давление, кПа;

$T_{\text{окр}}$ – температура окружающего воздуха, °K;

$B'_{\text{окр}}$ – давление сухого воздуха, кПа.

$$B'_{\text{окр}} = B_{\text{окр}} - 0.01 \cdot \varphi_{\text{окр}} \cdot P_s,$$

здесь $\varphi_{\text{окр}}$ – относительная влажность окружающего воздуха, %;

P_s – парциальное давление насыщенного водяного пара при данной температуре окружающего воздуха, кПа.

5. Измеряют выбросы дизеля, имеющего отключаемый наддув или перепускной клапан системы наддува, а также трактора и машины с таким дизелем при включенном и выключенном агрегате наддува или перепускном клапане; выбросы дизелей, имеющих несколько выпускных коллекторов, а также тракторов и машин с двумя и более выпускными трубами, в каждом выпускном трубопроводе испытательного стенда, в каждой выпускной трубе

или каждом удлинительном патрубке.

При проведении испытаний регистрируют: показатель окружающей среды; атмосферное давление; температуру окружающего воздуха; давление сухого воздуха, парциальное давление насыщенного водяного пара при данной температуре окружающего воздуха; содержание водяных паров в воздухе на входе в устройство для измерения расхода воздуха; коэффициент весомотности режима, на котором определяли выбросы; мощность дизеля, укомплектованного необходимым для его обслуживания оборудованием, который установлен на стенде, или мощность дизеля, установленного на тракторе или машине.

б. Проверяют дизель, трактор или машину непосредственно перед измерением содержания вредных веществ в отработавших газах, которые должны быть прогреты до температуры моторного масла и (или) охлаждающей жидкости дизеля, находящейся в пределах, рекомендуемых предприятиям – изготовителем дизеля, трактора или машины, а газоанализаторы – согласно инструкции по их применению.

Перед началом испытаний на токсичность отработавших газов снимают регуляторную характеристику дизеля. Эксплуатационная мощность, максимальный крутящий момент, частота вращения и удельный расход топлива на режиме эксплуатационной мощности должны соответствовать техническим условиям на дизель.

Испытания проводят в течение одних суток в таком порядке.

Определяют содержание вредных веществ в отработавших газах при работе дизеля на установившихся режимах в соответствии с таблицей 2 по ГОСТ 17.2.2.02. При этом крутящий момент во время испытаний не должен отличаться от приведенного в таблице 2 более чем на 2 %, а частота вращения - более чем на 10 мин^{-1} ; продолжительность отбора проб на каждом установившемся режиме должна быть не менее 4 мин; показания газоанализаторов фиксируют в течение не менее трех последних минут отбора проб на каждом режиме.

Таблица 2 – Примерные объемные концентрации вредных веществ по 13 - ступенчатому испытательному циклу

№ режима	Частота вращения коленчатого вала	Вращающий момент, % момента при полной подаче топлива	Значение, мг/л		
			NO_x	CO	CH
1	Минимальная устойчивая	0	0.31	0.66	0.55
2	Соответствующая $M_{кр\ max}$	10	0.73	0.64	0.52
3		25	1.12	0.61	0.47
4		50	2.25	0.56	0.39
5		75	3.46	0.55	0.37
6		100	5.03	0.54	0.37
7	Минимальная устойчивая	0	0.41	0.6	0.43
8	Номинальная	100	4.52	0.5	0.37
9		75	3.17	0.3	0.28
10		50	1.97	0.25	0.27
11		25	0.92	0.37	0.36
12		10	0.63	0.51	0.4
13	Минимальная устойчивая	0	0.41	0.6	0.43

После этого проверяют соответствие полученных значений нормам ГОСТ 17.2.2.05-97 (таблица 2 и 4) и делают выводы.

Допустимые погрешности измерений. Основная абсолютная погрешность средств измерений должна соответствовать ГОСТ 18509, ГОСТ 7056 и ГОСТ 23734. При расчетах она должна быть не более 0.2 %.

Нормы выбросов. Значения удельных выбросов вновь изготовленных и капитально отремонтированных на ремонтных заводах дизелей, тракторов и машин не должны быть более норм, приведенных в таблице 3.

Таблица 3 – Значения удельных выбросов вредных веществ при стендовых испытаниях тракторов и машин

Наименование вредных веществ	Удельные выбросы, г/(кВт · ч), при воздухообмене	
	неограниченном	ограниченном
Оксиды азота	18	9
Оксид углерода (II)	10	4
Углеводороды	3	1.5

Примечания: 1. Нормы выбросов оксидов азота установлены по сумме оксидов азота, приведенных к оксиду азота NO .

2. Нормы выбросов углеводородов установлены по сумме углеводородов, приведенных к условному составу $C_1H_{1.85}$.

Удельные выбросы тракторов и машин, находящихся в эксплуатации, не должны быть более норм, приведенных в таблице 4.

Таблица 4 – Значения удельных выбросов вредных веществ при эксплуатации тракторов и машин

Наименование вредных веществ	Удельные выбросы, г/(кВт · ч), при воздухообмене	
	неограниченном	ограниченном
Оксиды азота	18	9
Оксид углерода (II)	14	5.6
Углеводороды	4.5	2.2

После проведения испытаний по 13-ступенчатому циклу и получения показаний газоанализаторов на содержание NO_x , CO и CH в отработавших газах дизеля для каждого из 13 режимов нужно, пользуясь методикой обработки результатов, определить суммарные значения удельных выбросов оксидов азота – q_{NO_x} , оксидов углерода – q_{CO} и углеводородов – q_{CH} .

Характеристика дымности отработавших газов тракторного дизеля

Характеристикой дымности отработавших газов тракторного дизеля называют зависимость их дымности от различных скоростных и нагрузочных режимов дизеля.

Цель работы. Установить значения дымности отработавших газов тракторного дизеля во всем диапазоне режимов его работы по регуляторной характеристике (от частоты вращения холостого хода до частоты вращения коленчатого вала, соответствующей режиму максимального крутящего момента дизеля); определить соответствие установленных значений дымности отработавших газов нормам ГОСТ 17.2.2.02-98.

Приборы и оборудование. Прибор КИД-2 (компактный измеритель дымности).

Порядок выполнения работы. При подготовке к испытаниям.

1. Устанавливают и закрепляют дизель, трактор или машину на испы-

тательном стенде, оборудованном нагружающим устройством, или на площадке.

2. Проверяют соединение маховика, хвостовика ВОМ осей ведущих колес или шкива ременной передачи с нагружающим устройством; условия питания топливом должны соответствовать ГОСТ 18509, ГОСТ 7057, ГОСТ 23734, а также техническим условиям эксплуатационной и ремонтной документации на тракторы и машины конкретных марок.

3. Располагают пробоотборные зонды на прямолинейном участке выпускного трубопровода испытательного стенда, выпускной трубы трактора или машины либо удлинительного патрубка на расстоянии не менее $6D$ (где D – диаметр цилиндра двигателя) от входного и не менее $3D$ от выходного (по потоку газов) сечения выпускного трубопровода, выпускной трубы или удлинительного патрубка. При этом прямолинейный участок должен быть расположен на расстоянии не более 5 м от выходного сечения выпускного коллектора дизеля.

4. Устанавливают пробоотборный зонд и, если необходимо, удлинительный патрубок для увеличения давления на выходе из выпускного коллектора дизеля без турбонаддува или за турбиной турбокомпрессора дизеля с турбонаддувом с давлением наддува более чем на 650 кПа на режиме эксплуатационной мощности. Утечка отработавших газов через неплотности устройства для отбора проб отработавших газов, выпускной системы дизеля, трактора или машины, выпускного трубопровода испытательного стенда и удлинительного патрубка, а также подсосы воздуха не допускаются.

5. Устанавливают пробоотборные зонды или в каждом выпускном трубопроводе испытательного стенда, или в каждой выпускной трубе, или в каждом удлинительном патрубке, если трактор, машина или дизель имеют несколько выпускных коллекторов и (или) выпускных труб. Если дизель оборудован противосажевым фильтром (фильтрами) и (или) нейтрализатором (нейтрализаторами) каталитического или термического типа, пробоотборные зонды устанавливают за этими устройствами.

Место установки дымомера относительно пробоотборного зонда должно соответствовать технической документации на дымомеры конкретных марок.

Марки дизельного топлива, а также моторного и трансмиссионного масла при определении дымности должны соответствовать технической документации на испытываемые дизель, трактор или машину.

По требованию заказчика можно использовать стандартное дизельное топливо по ГОСТ 18509.

Топливо и масла должны соответствовать требованиям стандартов и (или) технических условий на эти топливо и масла.

Атмосферное давление и температура окружающего воздуха во время испытаний дизелей, тракторов и машин должны находиться в пределах, удовлетворяющих требованию ГОСТа.

6. Проверяют дизель, трактор или машину непосредственно перед измерением дымности так, чтобы значения температуры масла и (или) охлаждающей жидкости дизеля, а при испытаниях трактора или машины и значения температуры масла в агрегатах трансмиссии находились в пределах, рекомендуемых предприятиями-изготовителями дизеля, трактора или машины.

7. Определяют при стендовых испытаниях дизелей дымность на установившихся режимах и на режиме свободного ускорения, а при испытаниях тракторов (через ВОМ, если он рассчитан на передачу полной мощности), машин (через оси ведущих колес) – на стендах с беговыми барабанами или с бесконечной лентой. Дымность определяют в течение суток.

Следует отметить, что дымность только на режиме свободного ускорения определяют при эксплуатации, а также при испытании тракторов и машин, если их конструкция не позволяет определить дымность на установившихся режимах.

Дымность дизелей, имеющих отключаемый наддув или перепускной клапан системы наддува, а также тракторов и машин с такими дизелями измеряют при включенном и выключенном агрегате наддува или перепускном

клапане. Дымность измеряют в каждом выпускном трубопроводе испытательного стенда, в каждой выпускной трубе трактора или машины или в каждом удлинительном патрубке, если дизель имеет несколько выпускных коллекторов и (или) выпускных труб.

Перед началом и после окончания испытания проверяют нулевое положение показывающего устройства дымомера.

Перед началом испытаний на дымность отработавшие газы тракторного дизеля снимают его регуляторную характеристику. Эксплуатационная мощность, максимальный крутящий момент, частота вращения и удельный расход топлива на режиме эксплуатационной мощности должны соответствовать техническим условиям на дизель.

Порядок проведения испытаний. Определяют дымность на установленных режимах при положении органов управления регулятором частоты вращения коленчатого вала дизеля, соответствующем полной подаче топлива, на следующих скоростных режимах дизеля:

номинальная частота вращения коленчатого вала;

частота вращения коленчатого вала, соответствующая режиму максимального крутящего момента дизеля;

четыре частоты вращения коленчатого вала через равные интервалы в диапазоне первых двух частот вращения.

Перед началом измерения дымности дизель должен проработать на заданном режиме не менее 10 мин, причем в течение последних 5 мин измеряемые крутящий момент и частота вращения коленчатого вала не должны отличаться от заданных более чем на 1 % и 10 мин^{-1} соответственно.

Дымность на каждом режиме измеряют не менее трех раз с промежутком между двумя последовательными измерениями не более 1 мин.

Правила определения дымности на режиме свободного ускорения следующие.

Во время измерения дымности дизель должен быть отсоединен от нагружающего устройства, муфта сцепления тракторов, имеющих ее, выключе-

на, а у тракторов, не имеющих муфты сцепления:

при гидромеханической и электромеханической трансмиссии рычаг переключения передач или избиратель скорости устанавливают в нейтральное положение;

при гидравлической трансмиссии гидротрансформатор не должен быть заблокирован;

при электрической трансмиссии отключают напряжение на обмотках возбуждения силового генератора.

При работе дизеля на максимальной устойчивой частоте вращения холостого хода орган управления перемещают регулятором частоты вращения коленчатого вала в течение не более 0.5 с. в положение, соответствующее максимальной подаче топлива. Такое положение органы управления сохраняют 5...10 с. Затем его регулятором частоты вращения перемещают в исходное положение: в исходное положение должны возвратиться частота вращения коленчатого вала и индикатор дымомера. По шкале дымомера фиксируют максимальное значение дымности.

Испытания повторяют не менее восьми раз, пока разность между максимальным и минимальным значениями дымности четырех последних измерений не станет равной или менее 0.25 м^{-1} , при этом четыре последних значения дымности не составляют убывающую или возрастающую последовательность.

При проведении испытаний регистрируют:

$B_{окр}$ – атмосферное давление, кПа;

$T_{окр}$ – температуру окружающего воздуха, °К;

Q_B – условный объемный расход воздуха через цилиндры дизеля, $\text{дм}^3/\text{с}$;

i – число цилиндров дизеля;

V_h – рабочий объем цилиндра, дм^3 ;

n – частоту вращения коленчатого вала дизеля, мин^{-1} ;

r – тактность дизеля.

Нормы дымности. Значения дымности на установившихся режимах

вновь изготовленных и капитально отремонтированных на ремонтных заводах дизелей, тракторов и машин не должны превышать норм, приведенных в таблице 5.

Значения дымности на режиме свободного ускорения вноввь изготовленных и капитально отремонтированных на ремонтных заводах дизелей, тракторов и машин, имеющих наработку не менее 55 мото-часов, - не более норм, приведенных в таблице 5, если дизели, тракторы и машины предназначены для работы в местах с ограниченным и неограниченным воздухообменом.

Таблица 5 – Значения дымности дизелей в помещениях с ограниченным и неограниченным воздухообменом

Условный расход воздуха, дм ³ /с	Дымность, %, не более при воздухообмене		Условный расход воздуха, дм ³ /с	Дымность, %, не более при воздухообмене	
	неограниченном	ограниченном		неограниченном	ограниченном
42 и менее	62.2	53.1	125	43.9	30.5
45	61	51.6	130	43.3	29.7
50	59.1	49.3	135	42.8	29.1
55	57.4	47.2	140	42.1	28.2
60	55.8	45.2	145	41.6	27.6
65	54.7	43.8	150	40.9	26.8
70	53.4	42.2	155	40.4	26.2
75	52.3	40.8	160	40.1	25.7
80	51.1	39.4	165	39.5	25
85	50.2	38.2	170	39.1	24.5
90	49.2	37	175	38.7	24.1
95	48.3	35.9	180	38.4	23.6
100	47.4	34.8	185	38.0	23.1
105	46.7	33.8	190	37.6	22.6
ПО	45.8	32.8	195	37.1	22.1
115	45.1	31.9	200 и более	36.7	21.6
120	44.5	31.2			

Примечание. Промежуточные значения, приведенные в таблицах, определяют линейным интерполированием

Значения дымности на режиме свободного ускорения находящихся в

эксплуатации тракторов и машин также не должны быть более норм, приведенных в таблице 5, если тракторы и машины работают в местах с неограниченным и ограниченным воздухообменом.

Нормы дымности дизелей, тракторов и машин, конкретных марок устанавливаются в зависимости от условного расхода воздуха.

Допустимые погрешности измерений:

предел основной абсолютной погрешности дымомеров должен составлять не более 0.05 м (2.1 %) при дымности 51.9 %; других измерительных приборов – по ГОСТ 18509, ГОСТ 7057 и ГОСТ 23734.

Погрешность при расчетах должна быть не более 0.2 %.

Характеристика токсичности отработавших газов карбюраторного двигателя

Характеристикой токсичности отработавших газов карбюраторного двигателя называют установление содержания оксида углерода (CO) и суммарных углеводородов (CH) в отработавших газах карбюраторного двигателя в зависимости от частоты вращения коленчатого вала при работе двигателя и числа цилиндров.

Цель работы. Установить содержание оксида углерода (CO) и суммарных углеводородов (CH) в отработавших газах карбюраторного двигателя при его работе на холостом ходу для двух частот вращения коленчатого вала, установленных предприятием-изготовителем: минимальной (n_{min}) и повышенной ($n_{пов.}$) в диапазоне 2000 мин^{-1} , $0.8 \cdot n_{ном.}$; определить соответствие установленных значений содержания CO и CH в отработавших газах согласно нормам ГОСТ 17.2.2.03-87.

Оборудование и приборы. Прибор АСКОН-01 для установления содержания CO и CH в отработавших газах.

Порядок проведения работы. При подготовке к испытаниям проверяют (внешним осмотром) выпускную систему карбюраторного двигателя.

Перед измерением двигатель прогревают до температуры не ниже ра-

бочей температуры охлаждающей жидкости (или моторного масла для двигателей с воздушным охлаждением), указанной в руководстве по эксплуатации.

Средства измерения (газоанализатор, тахометр) должны соответствовать требованиям действующего стандарта.

К газоанализаторам и тахометрам предъявляют следующие основные требования.

1. Содержание оксида углерода и суммарных углеводородов в отработавших газах автомобилей определяют с помощью газоанализаторов непрерывного действия, работающих на принципе инфракрасной спектроскопии, которые имеют следующие метрологические характеристики:

основная приведенная погрешность газоанализатора должна быть не более 5 % верхнего предела измерений для каждого диапазона;

постоянная времени газоанализатора должна быть не более 60 с.

2. Шкала газоанализатора оксида углерода должна быть отградуирована по бинарной газовой смеси (оксида углерода в воздухе или азоте) в объемных долях, выраженных в процентах оксида углерода, - 0...5 % и 0...10 %.

Шкала газоанализатора суммы углеводородов должна быть отградуирована по бинарной газовой смеси (пропан в азоте) в объемных долях, выраженных в частях на миллион гексана (млн^{-1}), 0...1000 млн^{-1} и 0...10000 млн^{-1} .

3. Шкала тахометра для измерения частоты вращения коленчатого вала двигателя должна иметь два диапазона: 0...1000 мин и 0...10000 мин^{-1} .

Погрешность измерения частоты вращения для каждого диапазона не должна превышать ± 2.5 % верхнего предела измерений.

4. Возможно применение газоанализаторов, работающих на других принципах действия, отвечающих требованиям 1...3 и дающих показания, идентичные с принятыми средствами измерений.

Испытания проводят в таком порядке:

1. подключают тахометр;

2. устанавливают пробоотборный зонд газоанализатора в выпускную трубу на глубину не менее 300 мм от среза (при косом срезе выпускной тру-

бы глубину отсчитывают от короткой кромки среза);

3. полностью открывают воздушную заслонку карбюратора;
4. запускают двигатель;
5. увеличивают частоту вращения вала двигателя до $n_{нов.}$ и работают на этом режиме не менее 15 с;
6. устанавливают минимальную частоту вращения вала двигателя и не ранее чем через 20 с измеряют содержание оксида углерода и углеводородов;
7. устанавливают повышенную частоту вращения вала двигателя, равную $n_{нов.}$ и не ранее чем через 30 с измеряют содержание оксида углерода и углеводородов.

Полученные значения содержания CO и CH в отработавших газах карбюраторного двигателя записывают в протокол испытаний и сравнивают с данными таблицы 6.

Таблица 6 – **Нормы выбросов CO и CH в отработавших газах**

Частота вращения	Объемная доля предельно допустимого содержания оксида углерода, %	Объемная доля предельно допустимого содержания углеводородов, млн ⁻¹ , для двигателей с числом цилиндров	
		до 4	более 4
n_{min}	1.5	1200	3000
$n_{нов.}$	2	600	1000

Если содержание CO и суммарных CH в отработавших газах карбюраторных двигателей превышает предельно допустимое содержание (см. табл. 6), необходимы регулировки двигателя в случае, если его техническое состояние позволяет выполнить эти операции.

Контрольные вопросы и задания

1. Назовите ГОСТы, регламентирующие содержание CO , NO_x и CH в отработавших газах дизелей; дымность отработавших газов дизелей; содержание CO и CH в отработавших газах карбюраторных двигателей.
2. Какого типа приборы применяют для измерения токсичных компо-

нентов и дымности отработавших газов ДВС?

3. Каковы нормы токсичности и дымности отработавших газов ДВС?

4. В чем заключаются основные моменты методик испытаний ДВС на токсичность и дымность отработавших газов?

5. Как оформляют результаты испытаний и делают выводы по испытаниям?

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Регулировочные показатели топливных насосов

1. Типа УТНМ для различных дизелей

Показатель	Д-50	Д-65Н, Д-65М	Д-37Е	Д-240
Номинальная частота вращения кулачкового вала, мин ⁻¹	850	875	900	1100
Начало действия регулятора, мин ⁻¹	865...875	885...895	910...920	1115...1125
Полное выключение регулятором подачи топлива, не более, мин ⁻¹	950	9Х5	1010	1210
Подача топлива при номинальной частоте вращения, см ³ /мин	64	63	58	83
Частота вращения холостого хода, мин ⁻¹	900 ⁺¹⁰	930 ⁺¹⁰	960 ⁺¹⁰	1160 ⁺¹⁰
Число циклов	900	925	950	1150
Подача, см ³ , не более	25	24	21	30
Режим перегрузки, мин ⁻¹	650	650	700	850
Подача четырех секций, не менее, см ³ /мин	224...236	210	203	296...312
Угол геометрического начала подачи, градус поворота кулачкового вала	57 ⁺¹	58 ⁺¹	57 ⁺¹	57 ⁺¹
Угол опережения подачи топлива, градус поворота коленчатого вала	17	21...23	32...34	25...27

2. Типа НД-21 и НД-22/6Б4

Показатель	НД-21 / 2-4 (Д-21)	НД-21 / 4-14 (Д-37Е)	НД-21 / 2-4 07 (Д-21А)	НД-22 / 6Б4-23 (СМД-60)
Номинальная частота вращения кулачкового вала, мин ⁻¹	800	900	900	1000
Начало действия регулятора, мин ⁻¹	810 + 5	910 ± 5	910 ± 5	1020 ± 5
Полное выключение подачи, мин ⁻¹ , не более	910	1020	1020	1160
Номинальная подача топлива, см ³	47	53	53	86
Частота вращения холостого хода, мин ⁻¹	850...865	950...970	950...970	1060...1085
Число циклов	850	950	950	1000
Подача (не более), см ³	16	16	16	36
Режим перегрузки, мин ⁻¹	600...650	650...700	650...700	730...800
Число циклов	600...650	675	675	750
Подача, см ³	47	53	53	86
Угол начала подачи топлива первым штуцером, град	57 ± 1	57 + 1	57 ± 1	37 ± 1

3. Насосов высокого давления КамАЗ-740, КамАЗ-741

Показатель	КамАЗ-740	КамАЗ-741
Угол геометрического начала подачи топлива, град	42°30'	42°30'
Предельное отклонение угла начала подачи секциями относительно исходной	± 20'	± 20'
Номинальная частота вращения кулачкового вала насоса, мин ⁻¹	1300	1300
Частота вращения, соответствующая началу действия регулятора, мин ⁻¹	1350 ⁺⁵ ₋₁₅	1350 ⁺⁵ ₋₁₅
Номинальная подача за 1000 циклов, см ³	75.5...77	64.4...66
Неравномерность подачи, %	5	5
Подача в режиме перегрузки при частоте вращения 900 ± 10 мин ⁻¹ за 1000 циклов, см ³	77...80	67.5...70
Пусковая подача при частоте вращения 100 мин ⁻¹ за 100 циклов, см ³	19.5...21	19.5.-21
Начало выключения пусковой подачи, мин ⁻¹	280...330	280...330
Частота вращения, при которой подача топлива полностью прекращается, мин ⁻¹	1490...1550	1490...1550

4. Техническая характеристика и регулировочные параметры форсунок

Параметр	Марка форсунки									
	ФШ6-2x25 ⁰	В2, 8016002Б (ФШ6-2005)	112, 1112010 (ФД-22)	111, 1112010-02 (ФД-22)	6А1-20С1	6Т2-20С1-2Д	14-69-117С11 115, 1112010	236-1112010 Б2	33, 1120-10 КамАЗ	210-1112010-А
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Марка дизеля	Д-50, Д-60К	СМД-14, СМД-15К, СМД-15КФ, СМД-17К, СМД-18К	Д-65А, Д-65Н, Д-65Т	СМД-14Н, Д-240, Д-65Н, СМД-60	А-01, А-01М, А-03, А-41	Д-37М, Д-37Б, Д-37Е, Д-21, Д-120, Д-144	Д-108, Д-160	ЯМЗ-238, ЯМЗ-238НБ	КамАЗ-740 КамАЗ-241	ЯМЗ-240, ЯМЗ-240Б
Число сопловых отверстий распылителя	1	1	4	4	4		5	4	4	4
Диаметр сопловых отверстий, мм	2	2	0.29	0.34	0.32	0.3	0.35	0.32	0.3	0.34
Ход иглы, мм	0.32±0.10	0.35±0.05	2.2	2.2	2.2	2.2	2.03...2.78	2.35...3.96	-	-
Давление начала впрыска, МПа	13+0.5	13±0.25	17±0.5	17.5±0.5	15±0.5	17±0.5	21.0+0.8	17.5±0.5	18.0±0.5	17.5±0.5
Пропускная способность, см ³	119...126	126...133	96...104	96...104	97.5...100	85...89	109...111	108...116	-	108...116
Число впрысков	1700	1275	1000	1000	1000	600	500	800	-	800
Частота вращения, мин ⁻¹	850	850	800	800	800	800	625	800	-	800

Окончание таблицы 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Давление впрыска при проверке на герметичность, МПа	23	23	26	26	30	26	35	30	30	30
Пределы снижения давления при проверке на герметичность, МПа	20...18	20...18	23...21	23...21	28...23	23...21	30...28	28...23	28...23	28...23
Время снижения давления, с	5...20	5...50	7...20	7...20	10...38	7...20	7...20	10...38	17...45	10...38

Техническая характеристика карбюраторов

1. Карбюраторов ДААЗ

Марка карбюратора	ДААЗ 2105	ДААЗ 2107	ДААЗ 2140	ДААЗ 2108	ДААЗ 21081	ДААЗ 21083	ДААЗ 21051-30
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические условия	ТУ 37.355.082-84			ТУ 3.7355.124-83		ТУ 37.355.124-83	
Рабочий объем двигателя, л	1.2...1.3	1.45...1.60	1.5	1.1...1.5	1.1	1.5	1.2...3
Диаметр, мм: смесительных камер узкого сечения большого диффузора то же, малого	28 / 32	28 / 36	28 / 36	32 / 32			
	21 / 25	22 / 25	22 / 25	21 / 23			23 / 23
	8 / 10.5	8 / 10.5	8 / 10.5	10.5 / 10.5			
Расстояние от поплавка до плоскости разъема крышки карбюратора, мм	6.5 ± 0.25			22.5			
Диаметр калиброванных отверстий жиклеров, мм: главных топливных топливных систем холостого хода главного воздушного	1.07/1.62	1.12/1.5	1.09/1.58	97.5/97.5	95/97.5	95/100	105/100
	0.5/0.6			42	39	40	
	1.7/1.7	1.5/1.5	1.5/1.7	165/125	165/155	165/125	150 135

Окончание таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8
Диаметр калиброванных отверстий, мм: форсунок ускорительного насоса седел топливных клапанов	1	1.2	0.35				
	0.4						
	1.75	1.8					
Подача топлива ускорительным насосом за 10 ходов, см ³	7+1.75			11.5+1.73		14+2.1	
Масса поплавка, гр	11...13			6.2			
Масса карбюратора, кг	2.65			3.025	3.2	3.2	3.515
Габаритные размеры карбюратора, мм	235x178x108			193x 170.5x104			
Долговечность карбюратора, тыс. км пробега автомобиля	125			140			

Примечание. Числитель - размер первичной камеры карбюратора, знаменатель - вторичной камеры.

2. Карбюраторов двигателей ЗМЗ

Марка карбюратора	К-126Г	К-126С
Технические условия	ТУ 37.306.346-85	ТУ 37.306.354-80
Двигатель, на котором установлен карбюратор	ЗМЗ-24Д; ЗМЗ-24-01	ЗМЗ-24-07
Диаметр, мм: входного патрубка смесительной камеры узкого сечения большого диффузора то же, малого	76 32 / 32 24 / 24 11 / 11	76 35.1 / 35.1 24 / 24 11 / 11
Расстояние от поплавка до плоскости разъема крышки карбюратора, мм	20 ± 1.5	20 ± 1.5
Пропускная способность жиклеров, см ³ /мин: главного топливного топливного системы холостого хода	240 / 280 50 / 95	240 / 280 50 / 95
Диаметр калиброванных отверстий жиклеров, мм: главного топливного главного воздушного системы холостого хода топливного то же, воздушного то же, эмульсионного форсунки ускорительного насоса жиклера эконостата	1.15 / 1.25 1 / 1.45 0.4 / 0.6 1.2 / 1.2 - 0.6 1.7	1.15 / 1.25 1 / 1.45 0.4 / 0.6 1.2 / 1.2 0.6 / 1 0.6 1.7
Диаметр, мм: калиброванных отверстий седел топливных клапанов выходного отверстия системы холостого хода: верхнего (нерегулируемого) среднего (нерегулируемого) нижнего (регулируемого)	1.7 0.6 0.9 1.2	1.7 2.4 - 1.2
Подача топлива ускорительным насосом за 10 ходов, см ³	5	5
Масса поплавка, г	13.3 ± 0.7	13.3 ± 0.7
Масса карбюратора, кг	2.6	2.6
Габаритные размеры карбюратора, мм	134x176x161	134x176x161
Долговечность карбюратора, тыс. км пробега автомобиля	200	150

3. Карбюраторов К-151

Параметры	Камера	
	первичная	вторичная
Технические условия	ТУ 37.306.398-85	
Двигатель, на котором установлен карбюратор	ЗМЗ-402, ЗМЗ-	10, ЗМЗ-402.11
Рабочий объем двигателя, л	2.445	2.445
Диаметр, мм: смесительных камер узкого сечения большого диффузора то же, малого	32 23 10.5	36 26 10.5
Расстояние от уровня топлива в поплавковой камере до плоскости разъема крышки карбюратора, мм	21.5 ± 1.5	21.5 ± 1.5
Пропускная способность жиклера, см ³ /мин: главного топливного главного воздушного топливного системы холостого хода (в блоке) воздушного системы холостого хода (в блоке) воздушного второго системы холостого хода эмульсионного системы холостого хода топливного переходной системы воздушного переходной системы	230 ± 3.5 330 ± 4.5 9.5 ± 1.5 8.5 ± 1.5 330 ± 4.5 280 ± 3.5 - -	380 ± 4.5 - - - - - 150 ± 2.0 270 ± 3.5
Диаметр калиброванных отверстий, мм: главного топливного жиклера главного воздушного жиклера топливного жиклера системы холостого хода (в блоке) воздушного жиклера системы холостого хода (в блоке) воздушного жиклера второго системы холостого хода эмульсионного жиклера системы холостого хода топливного жиклера переходной системы воздушного жиклера переходной системы распылителя ускорительного насоса распылителя эконостата штуцера перепуска топлива в топливный бак седла топливного бака	1.1 1.36 0.74 8.5 ± 1.5 1.36 1.24 - - 0.3 + 0.03 - 1.1 + 0.05 2 + 0.06	1.43 1.36 - 1 - - 1 1.23 - 2 + 0.11 1.1 + 0.05 -

Окончание таблицы 3

Диаметр регулируемого отверстия в системе холостого хода в поплавковой камере, мм: верхнего	1.3 + 0.06	-
нижнего	1.3 + 0.06	-
Подача топлива ускорительным насосом за 10 ходов, см ³	10 ± 2.5	10 ± 2.5
Масса поплавка, г	12.5	12.5
Масса карбюратора, кг	4	4
Габаритные размеры карбюратора, мм	200x178x133	200x178x133
Высота карбюратора от фланца для присоединения ее к двигателю до посадочного места воздушного фильтра, мм	105	105
Долговечность карбюратора, тыс. км пробега автомобиля	250	250

4. Карбюраторов К-156

Параметр	Камера		Форкамерная секция
	первичная	вторичная	
1	2	3	4
Технические условия	ТУ 37.306.390-81		
Двигатель, на котором установлен карбюратор	ЗМЗ-4022.10		
Рабочий объем двигателя, л	2.445	2.445	2.445
Диаметр, мм:			
входного парубка	42	44	-
смесительных камер узкого сечения большого диффузора	32	38	10
то же, малого	23	27	5
	8	8	-
Расстояние от уровня топлива в поплавковой камере до плоскости разъема крышки карбюратора, мм	21.5 + 1	21.5 + 1	21.5 ± 1
Пропускная способность жиклера, см ³ /мин:			
главного топливного	145 + 2	330 ± 4.5	140 ± 10
главного воздушного топливного системы холостого хода (в блоке)	180 + 2	180 + 2	715 ± 10
воздушного переходной системы	45 ± 1.5	-	70 ± 10
воздушного второго системы холостого хода	-	360 ± 4.5	-
эмульсионного системы холостого хода	-	-	370 ± 5
воздушного второго системы холостого хода	175 ± 2.5	-	360 ± 4.5
воздушного третьего системы холостого хода	-	-	370 ± 5
воздушного третьего системы холостого хода	-	-	370 ± 5
Диаметр калиброванных отверстий, мм:			
главного топливного жиклера	0.9	1.36	0.9
главного воздушного жиклера	2	1	1
топливного жиклера системы холостого хода (в блоке)	0.6	-	0.5

Окончание таблицы 4

1	2	3	4
воздушного жиклера системы холостого хода (в блоке)	1 + 0.2	-	0.9 + 0.018
эмульсионного жиклера системы холостого хода (в блоке)	1.5 + 0.02	-	1 + 0.02
топливного жиклера переходной системы	-	0.5 + 0.018	-
воздушного жиклера переходной системы	-	1.22	-
эмульсионного жиклера второго холостого хода	1	-	1.44
воздушного жиклера второго холостого хода	1.05 + 0.02	-	1.45
воздушного жиклера третьего холостого хода	-	-	1.45
топливного жиклера пневмоэкономайзера	0.5 + 0.015	-	-
распылителя ускорительного насоса	0.55 + 0.03	-	-
распылителя эконостата	-	3 + 0.15	-
топливно-подводящего винта эконостата	-	1.1 + 0.01	-
штуцера перепуска топлива в топливный бак	-	1 + 0.12	-
седла топливного бака в системе холостого хода (регулируемый)	-	2 + 0.06	-
в системе холостого хода (регулируемый)	1.2 + 0.06	-	1.2 + 0.06
Подача топлива ускорительным насосом за 10 ходов, см ³	10...14	10...14	10...14
Масса поплавка, г	12.5	12.5	12.5
Масса карбюратора, кг	3.4	3.4	3.4
Габаритные размеры карбюратора, мм	206x198x131	206x198x131	206x198x131
Высота карбюратора от фланца для присоединения ее к двигателю до посадочного места воздушного фильтра, мм	105	-	105
Долговечность карбюратора, тыс. км пробега автомобиля	200		200

5. Карбюратора 1111-1107010

Параметры	Камера	
	первичная	вторичная
Диаметр смесительной камеры, мм	28	36
Диаметр диффузора, мм	20	25
Маркировка распылителя	3.5	45
Главная дозирующая система: условный расход топливного жиклера условный расход воздушного жиклера	95 170	95 85
Тип эмульсионной трубки	Солекс-01	Солекс-01
Система холостого хода и переходная система первичной камеры: маркировка топливного жиклера диаметр воздушного жиклера, мм	41 ± 3 1.5	- -
Переходная система второй камеры: диаметр топливного жиклера, мм диаметр воздушного жиклера, мм	- -	0.5 0.7
Эконостат: диаметр топливного жиклера, мм	-	0.95

Тарировочные данные

6. карбюраторов 2107-1107010-20 и 2107-1107010-10

Параметры	Камера	
	первичная	вторичная
Диаметр диффузора, мм	22	25
Диаметр смесительной камеры, мм	28	36
Диаметр главного топливного жиклера, мм	1.12	1.5
Диаметр главного воздушного жиклера, мм	1.5	1.5
Номер тарировки эмульсионной трубки	F15	F15
Диаметр топливного жиклера холостого хода и переходной системы, мм	0.5	0.6
Диаметр воздушного жиклера холостого хода и переходной системы, мм	1.7	0.7
Диаметр распылителя ускорительного насоса, мм	0.4	-
Диаметр перепускного жиклера ускорительного насоса, мм	0.4	-

7. Карбюратор 21051-1107010

Параметры	Камера	
	первичная	вторичная
Диаметр, мм: смесительной камеры, мм диффузора, мм	32 23	32 23
Главная дозирующая система: маркировка топливного жиклера маркировка воздушного жиклера	105 150	110 135
Тип эмульсионной трубки	ZD	ZC
Система холостого хода и переходная система первичной камеры: маркировка топливного жиклера условный расход воздушного жиклера	40 ± 3 140	- -
Переходная система вторичной камеры: условный расход топливного жиклера условный расход воздушного жиклера	- -	50 150
Экономайзер мощностных режимов: маркировка топливного жиклера	40	-
Ускорительный насос: условный расход распылителя подача топлива за 10 циклов, см ³ маркировка кулачка	35 14 ± 15 % 4	40 14 ± 15 % -
Пусковые зазоры: воздушной заслонки (зазор В), мм дроссельной заслонки (зазор С), мм	3 1/2	- -
Маркировка рычага управления воздушной заслонки	7	-
Диаметр отверстия, мм: для вакуумного корректора, мм игольчатого клапана, мм вентиляции картера двигателя, мм	1.2 1.8 1.5	- 1.8 -
Диаметр балансировочных отверстий поплавковой камеры, мм	6	6

8. Карбюратор 2105-Ц07010

Параметры	Камера	
	первичная	вторичная
Номер тарировки распылителя смеси	3.5	4.5
Диаметр главного жиклера, мм: топливного воздушного	1.07 1.7	1.62 1.7
Номер тарировки эмульсионной трубки	F15	F15
Диаметр жиклера холостого хода, мм: топливного воздушного	0.5 1.7	0.6 0.7
Диаметр отверстия распылителя ускорительного насоса, мм	0.4	-
Диаметр перепускного жиклера ускорительного насоса, мм	0.4	-
Производительность ускорительного насоса за 10 полных ходов, см ³	7 + 25%	7 + 25%
Диаметр жиклера эконостата, мм: топливного воздушного эмульсионного	- - -	1.5 1.2 1.5
Диаметр жиклера пневмопривода дроссельной заслонки второй камеры, мм	1.2	1
Диаметр воздушного жиклера пускового устройства, мм	0.7	-
Расстояние поплавка от крышки карбюратора с прокладкой, мм	6.5 ± 0.25	6.5 ± 0.25

9. Карбюратор 21053-07010

Параметры	Камера	
	первичная	вторичная
Диаметр, мм:		
смесительной камеры, мм:	32	32
диффузора, мм	23	24
Главная дозирующая система:		
маркировка топливного жиклера	110	115
маркировка воздушного жиклера	150	135
Тип эмульсионной трубки	ZD	ZC
Система холостого хода и переходная система первой камеры:		
маркировка топливного жиклера	43	-
условный расход воздушного жиклера	140	-
Переходная система второй камеры:		
условный расход топливного жиклера	-	50
условный расход воздушного жиклера	-	150
Эконостат:		
условный расход топливного жиклера	-	70
Экономайзер мощностных режимов:		
маркировка топливного жиклера	40	-
усилие сжатия пружины при длине 9.5 мм, Н	1.5 + 0.15%	1.5 + 0.15%
Ускорительный насос:		
маркировка распылителя	45	-
подача топлива за 10 циклов, см ³	14	-
маркировка кулачка	4	-

10. ВАЗ-2107 «Жигули»

Параметры	Камера	
	первичная	вторичная
Маркировка кулачка	4	-
Пусковые зазоры кулачка заслонки, мм:		
воздушной (зазор В)	3	-
дроссельной (зазор С)	1.2	-
Диаметры отверстия, мм:		
для вакуумного корректора	1.2	1.2
игольчатого клапана	1.8	1.8
перепуска топлива в бак	0.7	0.7
вентиляции картера двигателя	1.5	-

11. Карбюратор 21083-1107010-62

Параметры	Камера	
	первичная	вторичная
Диаметр, мм: смесительной камеры	32	32
диффузора	21	23
Главная дозирующая система: маркировка топливного жиклера	80	100
маркировка воздушного жиклера	165	125
маркировка эмульсионной трубки	23	ZC
Маркировка воздушного жиклера системы холостого хода и переходной системы первой камеры	160	-
Переходная система второй камеры: маркировка топливного жиклера	-	50
маркировка воздушного жиклера	-	120
Ускорительный насос: маркировка распылителя	35	40
производительность за 10 циклов, см ³	12.5	12.5
маркировка кулачка	7	-

12. Карбюратор 21083-1107010-31/35

Параметры	Камера	
	первичная	вторичная
Диаметр, мм: смесительной камеры	32	32
диффузора	21	23
Главная дозирующая система: маркировка топливного жиклера	95	100
маркировка воздушного жиклера	155	125
Тип эмульсионной трубки	23	ZC
Система холостого хода и переходные системы: маркировка топливного жиклера	41+3	50
маркировка воздушного жиклера	170	120
Эконостат: условный расход топливного жиклера	-	70
Экономайзер мощностных режимов: маркировка топливного жиклера	40	-
усилие сжатия пружины при длине 9.5 мм, Н	1.5 + 10 %	1.5 + 10 %

13. ВАЗ-2110 «Жигули»

Параметры	Камера	
	первичная	вторичная
Ускорительный насос: маркировка распылителя подача топлива за 10 циклов, см ³ маркировка кулачка	35 11.5 ± 1.73 7	40 11.5 ± 1.73 -
Пусковые зазоры: воздушные заслонки (зазор В), мм дроссельной заслонки (зазор С), мм	2.5 ± 0.2 1.1 + 0.05	- -
Диаметр отверстия: игольчатого клапана, мм перепуска топлива в бак вентиляции картера двигателя, мм	1.8 0.7 1.5	1.8 0.7 1.5
Уровень топлива в поплавковой камере, мм	22.5	22.5
Диаметр балансировочных отверстий поплавковой камеры, мм	4	4

14. Параметры дозирующих систем и регулировки карбюраторов «Озон»

Показатель	Карбюратор			
	2105-1107010-10		2107-1107010, 2107-1107010-20	
	Камера		Камера	
	первич- ная	вторич- ная	первич- ная	вторич- ная
Диаметр, мм: смесительной камеры	28	32	28	32
узкой части большого диффузора	21	25	22	25
Маркировка малого диффузора	3.5	4.5	3.5	4.5
Диаметр жиклера, мм: главного топливного	1.09	1.62	1.12	1.5
воздушного	1.7	1.7	1.5	1.5
Диаметр жиклера холостого хода, мм: топливного	0.5	-	0.5	-
воздушного	1.7	-	1.7	-
Диаметр жиклера переходной системы вторичной камеры, мм: топливного	-	0.6	-	0.6
воздушного	-	0.7	-	0.7
Диаметр дренажного жиклера распылителя ускорительного на- соса, мм	0.4	-	0.4	-
Диаметр жиклеров эконостата: топливного	-	1.5	-	1.5
воздушного	-	1.2	-	1.2
эмульсионного	-	1.5	-	1.5
Диаметр воздушных жиклеров пневмопривода вторичной каме- ры, мм	1.2	1	1.5	1.2
Подача топлива ускорительным насосом, см ³ за 10 полных ходов	7	7	7	7
Приоткрытое заслонок при пуске, мм: дроссельной	0.7...0.8	0.7...0.8	0.85...0.9	0.85...0.9
воздушной	5...5.5	5...5.5	5...5.5	5...5.5
Расстояние между поплавком и прокладкой крышки при верти- кальном расположении топлив- ного штуцера, мм	6.5 ± 0.25		6.5 ± 0.25	

Порядок проведения калибровки газоанализаторов

1. Проводят калибровку газоанализаторов:

поверочно-газовой смесью (ПГС);

оксидом азота (II) в азоте для газоанализаторов оксидов азота; оксидом углерода (II) в азоте для газоанализаторов оксида углерода; пропаном или метаном в синтетическом воздухе или азоте для газоанализаторов суммарных углеводородов;

поверочным нулевым газом - воздухом или нулевым газом согласно инструкции на газоанализатор. Технические характеристики ПГС и поверочного нулевого газа принимают по технической документации на ПГС и поверочный нулевой газ конкретных марок.

К каждой ПГС должен быть приложен паспорт, удостоверяющий ее параметры: концентрация основного газа в газе-наполнителе, погрешность приготовления ПГС, срок годности.

Калибровку каждого используемого диапазона проводят в двух точках шкалы с помощью ПГС или нулевого газа. При этом используют ПГС, номинальное значение концентрации, которой составляет более 80 % шкалы проверяемого диапазона измерений. Если после подачи ПГС в газоанализатор его показания отличаются от номинального значения ПГС не более чем на 5 % верхнего предела шкалы, параметры регулировки газоанализатора могут быть изменены для достижения необходимых показаний. В противном случае необходимо выявить неисправность, устранить ее и провести повторную калибровку.

2. Проверяют пробоотборную систему на герметичность. Для этого пробоотборник отсоединяют от системы выпуска отработавших газов, а на его конец устанавливают заглушку. Насос газоанализатора должен быть включен. После периода стабилизации все расходомеры должны показывать

«0». В противном случае необходимо выявить и устранить дефект, после чего испытания повторить.

Пробоотборную линию проверяют на быстродействие. На пробоотборник подают измерительный газ различных концентраций переключением с нуля на измерительный газ. Время подачи измерительного газа до считывания 90 % поданной концентрации газа, определяющее быстродействие газоанализатора, не должно быть более указанного в технической документации на газоанализаторы конкретных марок. Если после периода стабилизации газоанализатор покажет меньшую концентрацию измерительного газа в сравнении с исходной концентрацией, то выявляют дефект и устраняют его, после чего испытания повторяют. Калибровки проводят до и после испытаний с помощью одного и того же газа.

Результаты измерений считают достоверными, если показания газоанализаторов при калибровке до и после испытаний отличаются не более чем на 3 %.

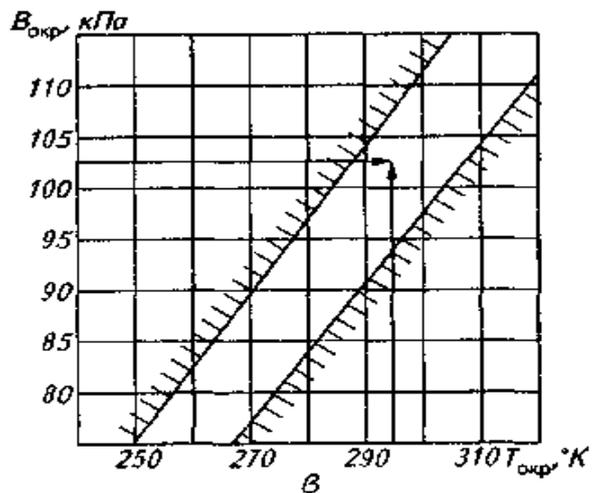
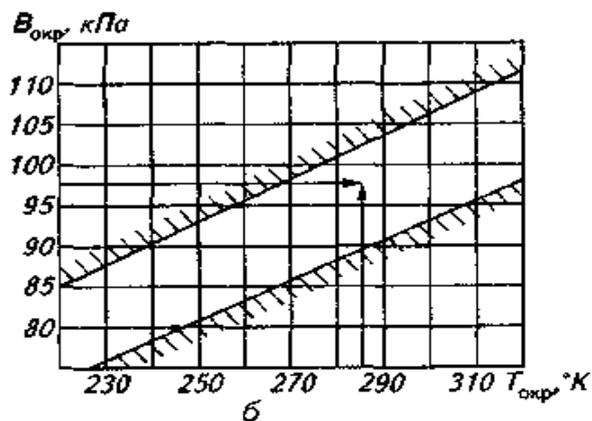
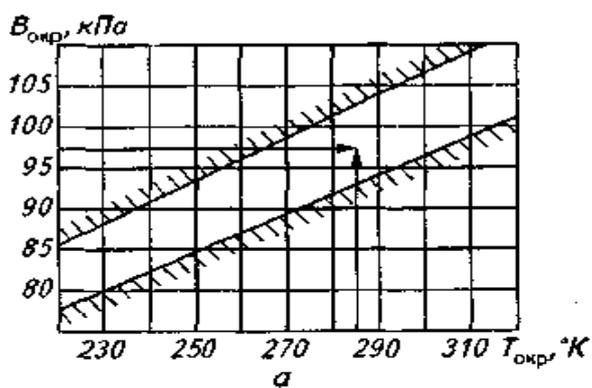
Выбросы определяют, если точка, соответствующая измеренным во время испытаний значениям атмосферного давления и температуры окружающего воздуха, находится внутри поля, обозначенного на номограмме или на его границах.

Номограммы, по которым устанавливают возможность определения выбросов, показаны на рисунке 1:

для дизелей без турбонаддува или с механическим приводом компрессора, а также тракторов и машин с этими дизелями - на рисунке 1, а;

для дизелей с турбонаддувом без промежуточного охлаждения наддувочного воздуха, а также тракторов и машин с этими дизелями - на рисунке 1, б;

для дизелей с турбонаддувом и промежуточным охлаждением наддувочного воздуха, а также тракторов и машин с этими дизелями - на рисунке 1, в.



a - без турбонаддува; *б* - с турбонаддувом без промежуточного охлаждения наддувочного воздуха; *в* - с турбонаддувом и промежуточным охлаждением наддувочного воздуха

Рисунок 1 – Номограммы условий определения выбросов для дизелей

Основные технические требования к дымомерам

Дымомер должен работать по методу просвечивания столба отработавших газов определенной длины, стандартная эффективная база которого равна 0.43 м.

Источник света - лампа накаливания с цветовой температурой от 2800 до 3250 К. Фотоэлемент, служащий приемником светового луча, - со спектральной чувствительностью, аналогичной кривой чувствительности глаза. Максимум чувствительности – в диапазоне 550...570 нм; при этом менее 4 % этой максимальной чувствительности может находиться в зонах менее 430 и более 680 нм.

Индикатор дымомера должен иметь две измерительные шкалы: основную, градуированную в единицах натурального показателя ослабления светового потока от 0 до ∞ , и вспомогательную линейную, имеющую 100 делений с диапазоном 0...100 %.

Перевод натуральных показателей ослабления светового потока по основной шкале дымомера, эффективная база которого составляет 0.43 м, в коэффициенты ослабления светового потока по вспомогательной шкале - по таблице 1.

Если эффективная база дымомера, используемого при испытаниях, не равна стандартной, показания, снятые по линейной шкале, должны быть приведены к показаниям линейной шкалы дымомера со стандартной эффективной базой.

Дымомер должен быть отрегулирован так, чтобы индикатор регистрировал дымность, равную нулю, при проходе светового потока через дымовую камеру, наполненную чистым воздухом.

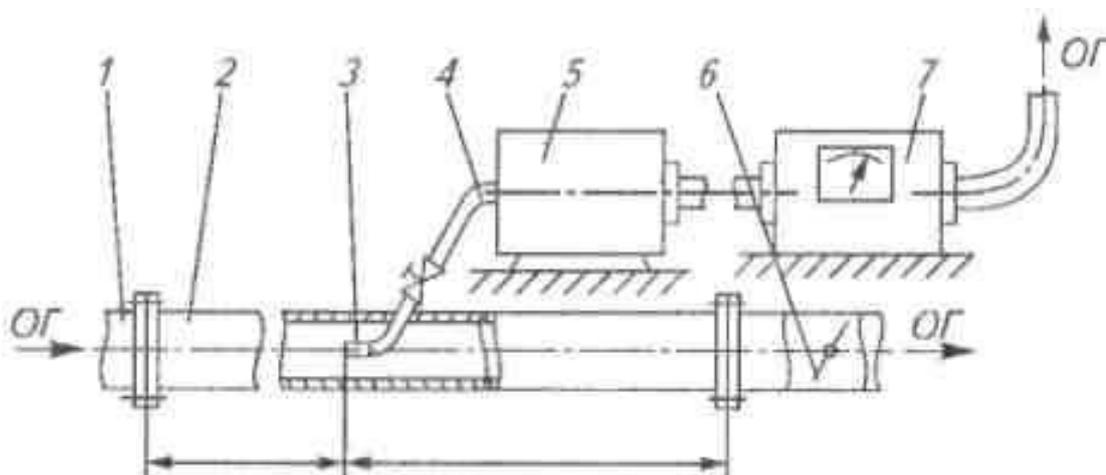
Давление отработавших газов в дымовой камере не должно отличаться от атмосферного давления более чем на 735 Па.

Значение температуры отработавших газов в дымовой камере должно находиться в пределах между 70°C и максимально допустимым значением, указанным предприятием – изготовителем дымомера. При максимально допустимой температуре газа в дымовой камере показания дымомера не должны изменяться более чем на 0.1 м^{-1} по сравнению с показаниями при 70°C (дымовая камера должна быть заполнена газом, коэффициент поглощения которого равен 1.7 м^{-1}).

Дымомер должен быть оснащен приборами для измерения давления и температуры отработавших газов в дымовой камере.

Калибровку дымомера проводят с помощью эталонного дыма или эталонных фильтров. Правила калибровки – по технической документации на дымомер конкретной марки.

Схема установки дымомера показана на рисунке 2.



1 - выпускной коллектор (труба) дизеля; 2 - выпускной трубопровод стенда; 3 - пробоотборный зонд; 4 - газоподводящая труба с краном; 5 - теплообменник с ресивером; 6 - регулирующая заслонка; 7 - дымомер; ОГ - отработавшие газы

Рисунок 2 – Схема установки дымомера

5 Основные технические требования к устройству для отбора проб отработавших газов

Пробы отработавших газов отбирают с помощью устройства, состоящего из пробоотборного зонда, регулирующей заслонки, теплообменника с ресивером, газоподводящей трубы с краном.

Пробоотборный зонд - трубку из нержавеющей стали - располагают на прямолинейном участке выпускного трубопровода испытательного стенда, выпускной трубы трактора или машины или удлинительного патрубка на расстоянии $6D_B$ от входного и не менее $3D_B$, от его выходного диаметра таким образом, чтобы входное отверстие зонда расположилось по оси выпускного трубопровода, выпускной трубы или удлинительного патрубка и было обращено навстречу потоку отработавших газов. Прямолинейный участок располагают на расстоянии не более 3 м от выходного сечения выпускного трубопровода, выпускной трубы или удлинительного патрубка.

Для уменьшения колебаний давления в потоке отработавших газов допускается устанавливать в пробоотборной магистрали по возможности ближе к зонду ресивер объемом 5...10 дм³. Ресивер выполняют в виде устройства «труба в трубе», меньшую из которых, имеющую в середине кольцевой разрез длиной, равной 5 ее диаметрам, соосно соединяют с газоподводящей трубой дымомера.

Допускается размещать регулирующую заслонку или другое устройство для повышения давления на расстоянии не менее $3D_B$ за пробоотборным зондом. При этом система отвода отработавших газов испытательного стенда, выпускная труба и удлинительный патрубок не должны создавать давление в выпускном коллекторе дизеля без турбонаддува или за турбиной турбокомпрессора дизеля с турбонаддувом, отличающиеся более чем на 650 Па

от верхнего предельного значения на режиме максимальной мощности, указанной предприятием-изготовителем трактора, машины или дизеля.

Пробоотборный зонд вводят в выпускной трубопровод испытательного стенда через отверстие в стенке трубопровода, а в выпускную трубу трактора или машины - через ее выходное отверстие, если выпускной трубопровод испытательного стенда отсутствует.

Если длина прямолинейного участка выпускной трубы менее $9D_B$, то пробоотборный зонд устанавливают в середине этого участка.

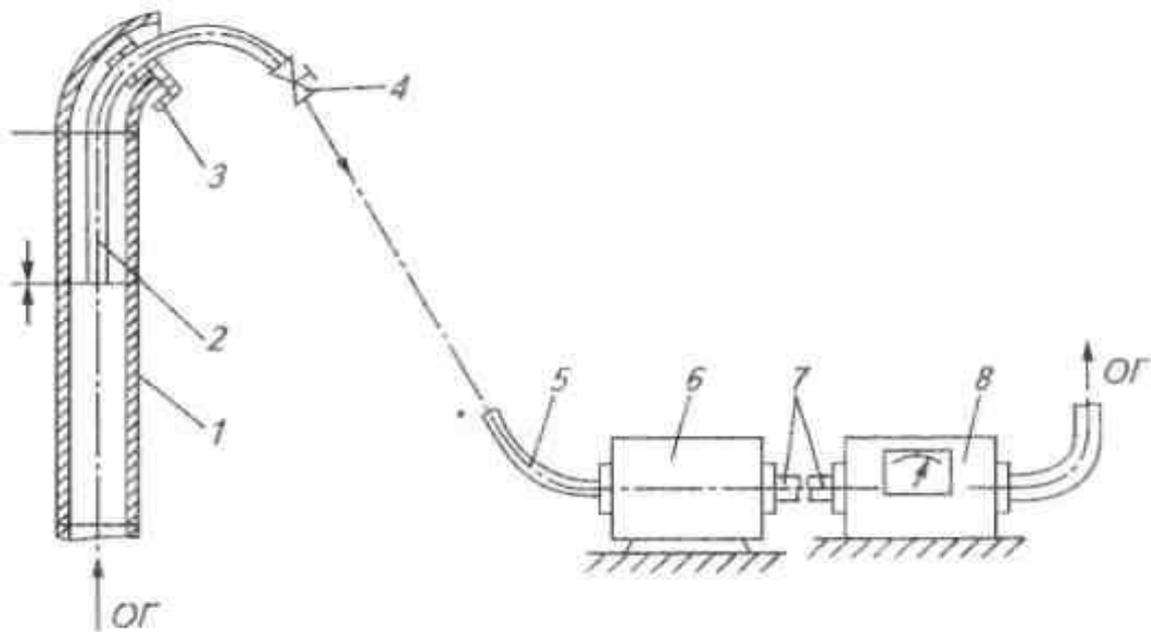
Может быть применен удлинительный патрубок, герметически соединенный с выпускной трубой, длина прямолинейного участка удлинительного патрубка должна быть не менее $9D_B$.

При наличии в системе выпуска трактора или машины нейтрализатора (нейтрализаторов) отработавших газов (за исключением жидкого нейтрализатора) пробоотборный зонд устанавливают с соблюдением требований, изложенных в приложении 5, за нейтрализатором (нейтрализаторами).

Газоподводящая труба, соединяющая пробоотборный зонд с теплообменником, ресивером (если они имеются) и дымомером, должна быть расположена с подъемом в сторону дымомера. Газоподводящая труба должна быть герметичной, без резких изгибов и шероховатостей, способствующих накоплению сажи.

В газоподводящей трубе могут быть установлены регулирующая заслонка и водоотделитель.

Схема устройства для отбора проб показана на рисунке 3, а номограмма условий определения дымности – на рисунке 4.



1 - выпускная труба дизеля; 2 - пробоотборный зонд; 3 - зажим; 4 - газоподводящая труба с краном; 5, 7 - газоподводящие трубы; 6 - теплообменник с ресивером; 8 - дымомер; ОГ - отработавшие газы

Рисунок 3 – Схема устройства отбора проб

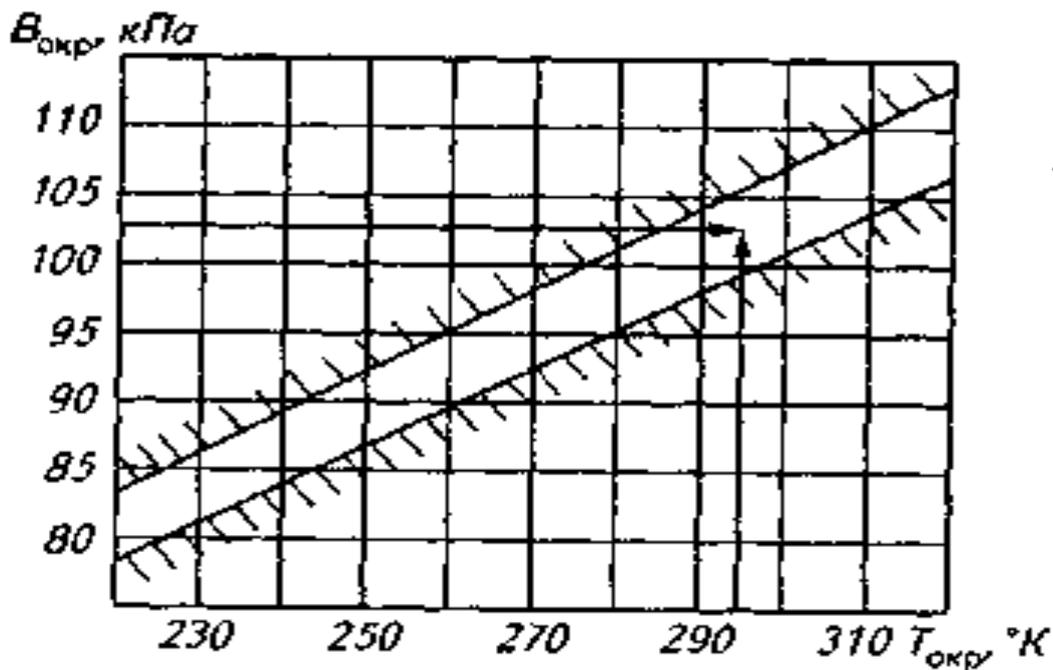


Рисунок 4 – Номограмма условий определения дымности отработавших газов

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 185093-80. Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний [Текст]. – Введ. В 1985. - М. : Издательство стандартов, 1985.
2. ГОСТ 14846-2001. Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний. [Текст]. – Введ. В 1985. - М. : Издательство стандартов, 1985.
3. ГОСТ 19025-73. Дизели автомобильные. Дымность отработавших газов. Нормы и методы измерений. [Текст]. – Введ. В 1981. - М. : Издательство стандартов, 1981.
4. ГОСТ 17.2.202-98. Нормы и методы измерения дымности отработавших газов дизелей, тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин. [Текст]. – Введ. В 1999. - М. : Издательство стандартов, 1999.
5. ГОСТ 8670-82. Насосы топливные высокого давления автотракторных дизелей. Правила приемки и методы испытаний. [Текст]. – Введ. В 1988. - М. : Издательство стандартов, 1988.
6. Автомобили КамАЗ: Техническое обслуживание и ремонт / В. Н. Барун, Р. А. Азаматов, Е. А. Машков и др. - М. : Транспорт, 2004. - 286 с.
7. Грехов Л.В., Иващенко Н.А., Марков В.А. Топливная аппаратура и системы управления дизелей. - М.: Изд-во «Легион-Автодата», 2004. - 344 с.
8. Корабельников А.Н., Носоновский М.Л. Практикум по автотракторным двигателям. М., Колосс, 2010. – 239 с.
9. Кривенко П. М., Федосов И. М. Ремонт и техническое обслуживание системы питания автотракторных двигателей. - М.: Колос, 1990. - 288 с.
10. Крутое В. И., Горбаневский В. Е., Кислов В. Г. Топливная аппаратура автотракторных двигателей. - М. : Машиностроение, 1985. - 208 с.
11. Лышевский А. С. Системы питания дизелей. - М.: Машиностроение, 1981. – 216 с.
12. Николаенко А. В. Теория, конструкция и расчет автотракторных двигателей. - М. : Колос, 1994. - 335 с.
13. Тракторы Т-25А и Т-25А3: Техническое описание и инструкция по

эксплуатации. - Владимир: Владимирский тракторный завод, 1986.

14. Тракторы «Беларусь» МТЗ-80, МТЗ-80Л, МТЗ-82, МТЗ-82Л, МТЗ-82Н, МТЗ-82ЛН: Техническое описание и инструкция по эксплуатации. - Минск: Ураджай, 1983. – 351 с.

15. Топливная аппаратура тракторных и комбайновых дизелей. Справочник. В. Г. Кислов, В. А. Павлов, А. П. Трусков и др. - М. : Машиностроение, 2003. - 208 с.