МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение
высшего профессионально образования
«Пензенский государственный университет
архитектуры и строительства»

В.В. Салмин, Р.Н. Москвин, В.В. Борсук

АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДВИГАТЕЛИ

Практикум

Рекомендовано Редсоветом университета
в качестве учебного пособия для студентов,
обучающихся по направлению 190600
«Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов»

Пенза 2013

УДК. 621.432
ББК 39.359
С16

Рецензенты: доктор технических наук, профессор, декан автомобильно-дорожного института ПГУАС Ю.В. Родионов;
кандидат технических наук, генеральный директор ОАО «Пензенский автотранспортный холдинг» С.Н. Ларюшин

Салмин В.В.

С16 Автомобильные двигатели: практикум / В.В. Салмин, Р.Н. Москвин, В.В. Борсук. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 144 с.

Практикум состоит из двух частей. Первая часть посвящена изучению основ конструкции силовых агрегатов автотранспортных средств. Во второй части пособия исследуются рабочие процессы и характеристики ДВС, приводятся основные требования по проведению испытаний автомобильных двигателей, дается краткий обзор оборудования, применяемого при проведении испытаний ДВС и рассматривается теоретический материал, позволяющий студентам моделировать работу транспортных силовых агрегатов с целью проведения сравнительного анализа результатов моделирования и реального эксперимента.

Подготовлен на кафедре «Эксплуатация автомобильного транспорта» и предназначен для студентов, обучающихся по направлению 190600 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов».

© Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, 2013
© Салмин В.В., 2013

ВВЕДЕНИЕ

Конструирование новых типов двигателей, модернизация существующих марок, а также технически грамотная эксплуатация и правильная организация их технического обслуживания и ремонта неразрывно связаны со знанием конструкции и умением определять основные рабочие показатели двигателей внутреннего сгорания (ДВС) в ходе стендовых (тормозных) испытаний.

Проведение стендовых испытаний на специальных обкаточно-тормозных стендах дают возможность студенту (будущему инженеру): сравнивать различные типы и марки двигателей между собой; оценивать качество новых образцов и определять их назначение; судить об эффективности произведенной модернизации (тюнинге); давать оценку технического состояния и определять степень изношенности двигателя, полученную в процессе его эксплуатации; выявлять необходимость и производить регулировку систем, агрегатов и оборудования двигателя; определять вид, а также оценивать качество произведенного ремонта; с помощью полученных основных показателей, определяемых в ходе стендовых испытаний, оценивать эффективность воздействия эксплуатационных показателей на двигатели и определять целесообразность внедрения методов, улучшающих их работу.

Следовательно, конструирование, изготовление, модернизация, эксплуатация и ремонт двигателей внутреннего сгорания органически связаны со знаниями, получаемыми студентами, обучающимися по направлению 190600 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», в первую очередь во время изучения лабораторного курса по дисциплине, излагающей устройство и теорию рабочих процессов ДВС.

С целью систематизации и упорядочения материала по данной тематике, а также укрепления навыков по ремонту и обслуживанию ДВС и было подготовлено предлагаемое учебное пособие.

Часть 1. КОНСТРУКЦИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

1.1. Задачи лабораторного курса и последовательность его изучения

Первой задачей лабораторного курса является ознакомление студентов с основными конструкциями современных двигателей внутреннего сгорания, выпускаемых отечественными предприятиями, а также ведущими зарубежными фирмами; развитие умения самостоятельно разбираться и анализировать новые схемы и конструкции узлов двигателей по технической литературе, описаниям и авторским свидетельствам, патентам и пр.

Второй не менее важной задачей курса является изучение основного оборудования и методов стендовых испытаний двигателей внутреннего сгорания, регламентированных такими стандартами, как ГОСТ 14846-81 «Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний» и ГОСТ 18509 «Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний».

Третьей задачей курса является освоение методов снятия основных и вспомогательных характеристик ДВС и сравнительный анализ результатов, снятых в условиях стендовых испытаний характеристик, с результатами математического моделирования, разработанного для лабораторных занятий профессором Салминым В.В.

Все лабораторные занятия по устройству и теории рабочих процессов ДВС проводятся в специализированной лаборатории, оснащенной действующими моделями и макетами, плакатами деталей узлов, агрегатов и механизмов в целом.

При изучении основ конструкции ДВС лабораторные работы строятся следующим образом:

– проводится вводная беседа преподавателя, на которой происходит знакомство с основными конструктивными особенностями изучаемой системы по имеющимся макетам, плакатам и т. п.;

– самостоятельное изучение материала в специализированной лаборатории, оформление рукописного отчета о проделанной работе;

– отчет-собеседование по изучаемой теме.

Работа по теме считается зачтенной после положительного ответа на вопросы преподавателя и сдачи отчета.

Отчет оформляется на листах формата А4. Содержание отчета приведено в учебном пособии в конце каждой темы.

Указанные материалы необходимы студентам для ознакомления с наиболее прогрессивными системами поршневых двигателей, которые применяются на современных автомобилях.

При выполнении соответствующих лабораторных работ эти материалы должны быть дополнены системами, которые иллюстрируют тенденции развития двигателестроения.

При освоении второй части учебного пособия лабораторные работы строятся следующим образом:

– проводится вводная беседа преподавателя, на которой происходит знакомство студентов с основными терминами, определениями, условиями, оборудованием и способами снятия основных и вспомогательных характеристик ДВС;

– самостоятельное изучение материала в специализированной лаборатории, оформление рукописного отчета о проделанной работе и математическое моделирование параметров, получаемых при снятии основных и вспомогательных характеристик ДВС;

– снятие совместно с учебным мастером под руководством преподавателя характеристик ДВС на тормозном стенде в специализированной лаборатории кафедры и обработка результатов стендовых испытаний;

– оформление отчета по изучаемой теме и сравнительный анализ результатов теоретического и натурного эксперимента.

Работа по теме считается зачтенной после положительного ответа на вопросы преподавателя и сдачи отчета.

Отчет по лабораторным работам оформляется также на листах формата А4 и должен содержать конспект работы, таблицы с расчетными и экспериментальными данными, а также должен иметь ответы на вопросы, изложенные в лабораторном практикуме, и содержать графики их анализ и выводы.

1.2. Инструкция по технике безопасности при выполнении лабораторных работ по изучению конструкции двигателей

При изучении конструкции двигателей студенты выполняют работы в специализированной лаборатории, оснащенной не только плакатами и планшетами, но и натурными образцами деталей и узлов двигателя.

В ходе изучения конструкции студентам разрешается производить разборочно-сборочные работы с натурными образцами. В связи с этим необходимо чтобы студенты были одеты в спецовки или халаты.

Если студент находится на занятии не в спецовке или халате, то к его одежде предъявляются следующие требования – одежда студента,

выполняющего лабораторные работы по изучению конструкции ДВС, должна быть подобрана по его росту, заправлена, рукава застегнуты.

Руки студента не должны быть замаслены, чтобы он мог надежно удерживать инструмент для разборки и сборки агрегатов и узлов. Очищать и мыть руки бензином или дизельным топливом запрещено.

Место для изучения конструкции различных деталей и узлов должно содержаться в чистоте и порядке, проходы должны быть свободными.

При снятии или разборке агрегатов, в картере которых может быть масло, подставить ванночку для его слива. В случае попадания масла на пол необходимо пятно засыпать опилками или песком, дать маслу впитаться, и, убрав засыпку, протереть место ветошью насухо. Отработанную ветошь убирать в железный ящик с плотной крышкой.

Круглые детали (валы, поршни, цилиндры, гильзы и др.) запрещается класть на край стола.

Используемый для работы инструмент должен быть в исправном состоянии и соответствовать определенным требованиям:

• отвертка не должна иметь острый рабочий конец, а стержень отвертки должен быть прямым, не погнутым;

• измерительный инструмент должен быть чистым, сухим и содержаться отдельно от рабочего инструмента;

• гаечные ключи для операции необходимо подбирать точно по размеру. Запрещается пользоваться ключом, у которого губки не параллельны и в зев заложены пластинки;

• не допускается удлинение рычага за счет использования куска трубы или другого ключа.

1.3. Общие сведения о двигателях внутреннего сгорания и об их рабочем процессе

Двигателем в общем случае называют такой механизм, в котором тот или иной вид энергии преобразуется в механическую работу. Двигатели, в которых тепловая энергия преобразуется в механическую работу, называются тепловыми двигателями. Тепловая энергия в двигателе получается при сжигании какого-либо топлива. Двигатель, в котором топливо сгорает непосредственно внутри цилиндра и энергия образующихся при этом газов воспринимается движущимся в цилиндре поршнем, называется поршневым двигателем или двигателем внутреннего сгорания (ДВС).

По способу осуществления рабочего процесса поршневые двигатели подразделяют на два основных типа:

– двигатели с внешним смесеобразованием и воспламенением смеси от электрической искры;

– двигатели с внутренним смесеобразованием и воспламенением смеси от сжатия (дизели).

Двигатели с внешним смесеобразованием по роду применяемого топлива и способу смесеобразования подразделяют на:

– карбюраторные, работающие на бензине, смесеобразование в которых осуществляется вне камеры сгорания двигателя в специальном приборе, который называется карбюратором;

– газовые, работающие на газе, смесеобразование в которых осуществляется в газовом смесителе;

– инжекторные, работающие на бензине, смесеобразование в которых осуществляется во впускном трубопроводе или в цилиндре при впрыскивании бензина через специальное устройство, называемое форсункой.

Во всех этих двигателях зажигание смеси производится электрической искрой.

Двигатели с внутренним смесеобразованием и воспламенением от сжатия (дизели) работают на дизельном топливе. В этих двигателях смесь образуется внутри цилиндра из воздуха и топлива, подаваемых в цилиндр раздельно. Воспламенение смеси происходит в результате повышения температуры воздуха внутри цилиндра двигателя в результате его сжатия.

По числу тактов, за время которых осуществляется полный рабочий процесс (воспламенение и сгорание смеси, расширение газов) и все подготовительные операции впуска и выпуска, двигатели подразделяют на двухтактные и четырехтактные.

Двухтактным называется двигатель, в котором все процессы (рабочий цикл) совершаются за два хода поршня, т.е. за один оборот коленчатого вала.

Четырехтактным называется двигатель, в котором рабочий цикл совершается за четыре хода поршня, т.е. за два оборота коленчатого вала.

В устройстве двухтактных и четырехтактных двигателей имеются значительные различия.

По количеству и расположению цилиндров современные двигатели подразделяют на двигатели с четырьмя, шестью цилиндрами и более, а по их расположению на – рядные и расположенные под углом друг к другу. На рядных двигателях цилиндры расположены в одну линию друг за другом, на угловых двигателях в виде буквы «V» под разными

углами (90, 60 или 180°) или «W», у которых средний ряд цилиндров расположен строго вертикально, а левый и правый ряды цилиндров по некоторым углом, но не более 120°.

По назначению современные двигатели подразделяют на двигатели для самолетов (авиационные поршневые), морских и речных судов (судовые), тепловозов (тепловозные), тракторов, грузовых и легковых автомобилей.

К основным показателям ДВС относятся следующие:

– тип двигателя;
– число тактов;
– расположение цилиндров;
– порядок работы цилиндров;
– направление вращения коленчатого вала;
– диаметр цилиндра и ход поршня;
– рабочий объем (литраж);
– степень сжатия;
– эффективная мощность;
– максимальный крутящий момент;
– минимально устойчивая частота вращения коленчатого вала на холостом ходу;
– минимальный удельный расход топлива.

Для понимания этих показателей необходимо рассмотреть общее устройство и работу одноцилиндрового двигателя, показанного на рис. 1.1.

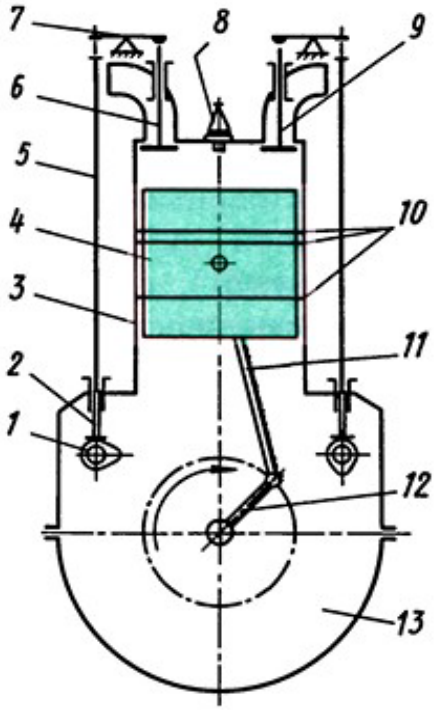


Рис. 1.1. Схема четырехтактного одноцилиндрового карбюраторного ДВС

Четырехтактные поршневые двигатели имеют следующие механизмы и системы:

– кривошипно-шатунный механизм;
– механизм газораспределения;
– систему охлаждения;
– смазочную систему;
– систему питания;
– систему зажигания (для двигателей с искровым зажиганием).

Кривошипно-шатунный механизм (КШМ) служит для осуществления рабочего цикла двигателя и преобразования поступательного движения поршня 4 во вращательное движение коленчатого вала 12 (см. рис. 1.1).

Кривошипно-шатунный механизм двигателя включает в себя цилиндр 3, поршень 4 с поршневыми кольцами 10, шатун 11 и коленчатый вал 12. Механизм установлен в картере закрытом снизу поддоном 13.

Процессами впуска и выпуска управляет газораспределительный механизм (ГРМ), состоящий из распределительных валов 1, толкателей 2, штанг 5, коромысел 7, впускного клапана 6 и выпускного клапана 9.

Поджиг свежего топливовоздушного заряда осуществляется системой зажигания посредством свечи 8.

Работает двигатель следующим образом. При движении поршня 4 вниз внутри цилиндра 3 над поршнем создается разряжение. При открытии газораспределительным механизмом клапана 6 происходит первый процесс, который называется тактом «впуска». Такт впуска заканчивается, как только поршень 4 достигнет крайней нижней точки своего перемещения, так называемой «нижней мертвой точки» (НМТ).

После такта впуска начинается второй такт, который называется тактом «сжатия». В этом такте поршень 4 перемещается снизу (от НМТ) вверх к верхней крайней точке своего перемещения, которая называется «верхней мертвой точкой» (ВМТ). В этом такте клапаны 6 и 9 закрыты. При перемещении поршня 4 вверх происходит сжатие свежего заряда. Не доходя до ВМТ 15–20 градусов поворота коленчатого вала 12 происходит образование электрической искры в свече зажигания 8, и топливовоздушная смесь воспламеняется и начинает гореть.

В результате сгорания топливовоздушной смеси происходит резкое нарастание давления в цилиндре двигателя и поршень начинает перемещаться от ВМТ в направлении к НМТ. Происходит третий такт, который называется «рабочий ход». В результате перемещения поршня 4 вниз двигатель совершает полезную работу, которая в дальнейшем расходуется на все остальные три такта.

При достижении поршнем 4 нижней мертвой точки происходит открытие клапана 9 и начинается последний четвертый такт, который называется тактом «выпуска». Поршень 4 в этом такте вновь пере-

мещается от НМТ к ВМТ, и через открытый выпускной клапан 9 из цилиндра происходит выталкивание отработавших газов. Такт выпуска заканчивается при достижении поршнем 4 верхней мертвой точки.

При положении поршня в крайних мертвых точках давление газов на поршень не может вызвать поворот коленчатого вала, так как шатун и кривошип коленчатого вала располагаются в одну линию.

Ходом поршня (S) называется расстояние между крайними положениями поршня (от ВМТ до НМТ). Ход поршня равен двум радиусам кривошипа.

Двигатели, у которых ход поршня меньше диаметра цилиндра, называются короткоходными. Такие двигатели имеют значительное распространение, так как вследствие меньшего хода поршня его средняя скорость (при одинаковой частоте вращения коленчатого вала) ниже, чем у двигателей, у которых ход поршня больше диаметра цилиндра. Благодаря этому уменьшается износ поршней и цилиндров, а также обеспечивается большая долговечность двигателя.

При повороте коленчатого вала от мертвых точек на одинаковые углы поршень проходит различные расстояния. Это означает, что при равномерном вращении коленчатого вала поршень в цилиндре движется неравномерно с ускорениями и замедлениями, вследствие чего в работающем двигателе появляются силы инерции возвратно-поступательных движущихся масс.

Тактом называется процесс, происходящий в цилиндре при движении поршня от одной мертвой точки к другой. При перемещении поршня вниз от ВМТ к НМТ объем внутренней полости цилиндра над поршнем изменяется от минимального (V_c – объем камеры сгорания) до максимального (V_a – полный объем цилиндра).

Камера сгорания – пространство в цилиндре над поршнем при его положении в ВМТ.

Рабочий объем цилиндра (V_h) – объем цилиндра, заключенный между верхним и нижним положениями днища поршня.

Полный объем цилиндра равен сумме его рабочего объема и объема камеры сгорания.

Рабочий объем, или литраж, двигателя – рабочий объем всех цилиндров двигателя, выраженный в литрах.

Степень сжатия (ε) двигателя – это отношение полного объема цилиндра к объему камеры сгорания. Степень сжатия показывает, во сколько раз сжимается поступившая в цилиндр смесь при перемещении поршня от НМТ к ВМТ.

В двигателе газы, образующиеся при сгорании смеси, перемещают поршни, совершают полезную работу, вследствие чего двигатель развивает определенную мощность.

Мощность – это работа, производимая в единицу времени (за 1 с). Мощность, равная 750 Н·м/с (75 кгс·м/с), называется лошадиной силой (л. с.).

Мощность двигателя измеряется также в киловаттах, 1 кВт равен 1,36 л.с. Мощность, развиваемая газами внутри цилиндров двигателя, называется индикаторной мощностью (N_i). Мощность, которая может быть снята с коленчатого вала двигателя и использована для осуществления движения автомобиля, называется эффективной (N_e).

Часть давления, создаваемого газами внутри цилиндров, затрачивается на трение между деталями (в основном поршней о стенки цилиндров и подшипников коленчатого вала) и на приведение в действие ряда механизмов двигателя (вентилятора, жидкостного насоса и т.п.). Поэтому эффективная мощность, снимаемая с коленчатого вала двигателя, всегда будет меньше индикаторной мощности, развиваемой газами внутри цилиндров, на величину указанных внутренних потерь. Величина этих потерь оценивается механическим коэффициентом полезного действия (КПД), представляющим собой отношение эффективной мощности двигателя к индикаторной.

Работа, производимая газами, а следовательно, и мощность двигателя зависят от площади поршня и его хода, т.е. от рабочего объема цилиндра, а также от числа цилиндров и частоты вращения коленчатого вала в минуту. Кроме того, мощность двигателя зависит от его тактности. В четырехтактном двигателе рабочий ход в каждом цилиндре совершается через каждые два оборота коленчатого вала, а в двухтактном – через каждый его оборот.

Очень важным параметром, характеризующим работоспособность двигателя, является крутящий момент (M_e), развиваемый на его валу. Крутящим моментом называется произведение силы на плечо ее действия. Таким образом, крутящий момент измеряется в ньютонах на метр (Н·м). При работе двигателя на его валу развивается определенный крутящий момент, который через трансмиссию передается ведущим колесам автомобиля.

Экономичность работы автомобильного двигателя измеряется количеством топлива в граммах, израсходованного на каждую единицу мощности (1 кВт) за 1 ч. Эта величина называется удельным расходом топлива $g_{e,}$ она измеряется в граммах на киловатт-час.

Суммарный (общий) расход топлива двигателем характеризуется расходом топлива в килограммах за 1 ч работы. Эта величина называется часовым расходом топлива $G_т$ и измеряется в килограммах в час.

1.4. Лабораторный практикум по конструкции ДВС

Лабораторная работа № 1.1
ОБЩЕЕ УСТРОЙСТВО ПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ

Цель работы: изучить принцип работы, общее устройство ДВС, основные термины и показатели – индикаторные и эффективные поршневых двигателей.

Задачи работы

1. Изучить классификацию, общее устройство и параметры поршневых двигателей – основные системы двигателя и его параметры, а именно: ход поршня, верхняя мертвая точка, нижняя мертвая точка, оценочный параметр двигателя – S/D, рабочий объем цилиндра – V_h, литраж двигателя – $V_л$, объем камеры сгорания – V_c, степень сжатия – ε.

2. Изучить основные механизмы и системы двигателя, такие как кривошипно-шатунный механизм, газораспределительный механизм, система смазки (СС), система охлаждения (СО), система питания (СП), система зажигания (СЗ), система пуска двигателя (СПД).

3. Изучить принцип работы поршневых ДВС и их индикаторные диаграммы.

4. Изучить конструкцию двигателя:

– с внешним смесеобразованием;

– с внутренним смесеобразованием;

– реализующего четырехтактный цикл;

– реализующего двухтактный цикл, а также:

– схемы газообмена двухтактных двигателей: петлевую, прямоточную, клапанно-щелевую, прямоточную с противоположно движущимися поршнями, кривошипно-камерную;

– рабочие циклы комбинированных двигателей (двигателей с наддувом);

– классификацию двигателей.

5. Изучить показатели, характеризующие работу поршневых двигателей:

– показатели эффективности двигателя: среднее индикаторное давление – P_i, индикаторная мощность N_i, среднее эффективное давление – P_e, эффективная мощность – N_e.

– показатели экономичности: индикаторный КПД – η_i, удельный индикаторный расход топлива – g_i, эффективный КПД – η_e, удельный эффективный расход топлива – g_e.

– показатели совершенства конструкции: механический КПД – $\eta_м$, литровая мощность – $N_л$, поршневая мощность $N_п$, удельная масса двигателя – $M_у$.

Материальная часть

Макеты и разрезы двигателя ЗМЗ-53, ЗИЛ-130, ЯМЗ-236, КамАЗ-740, ВАЗ-2101, плакаты и чертежи.

Содержание отчета

1. Описать назначение основных механизмов и систем двигателей, обозначенных на рис. 1.2 и 1.3.
2. Привести схемы работы четырехтактного двигателя.
3. Привести схемы продувок двухтактного двигателя.
4. Дать анализ основных индикаторных и эффективных показателей двигателя. Выделить составляющие тепловых и механических потерь.

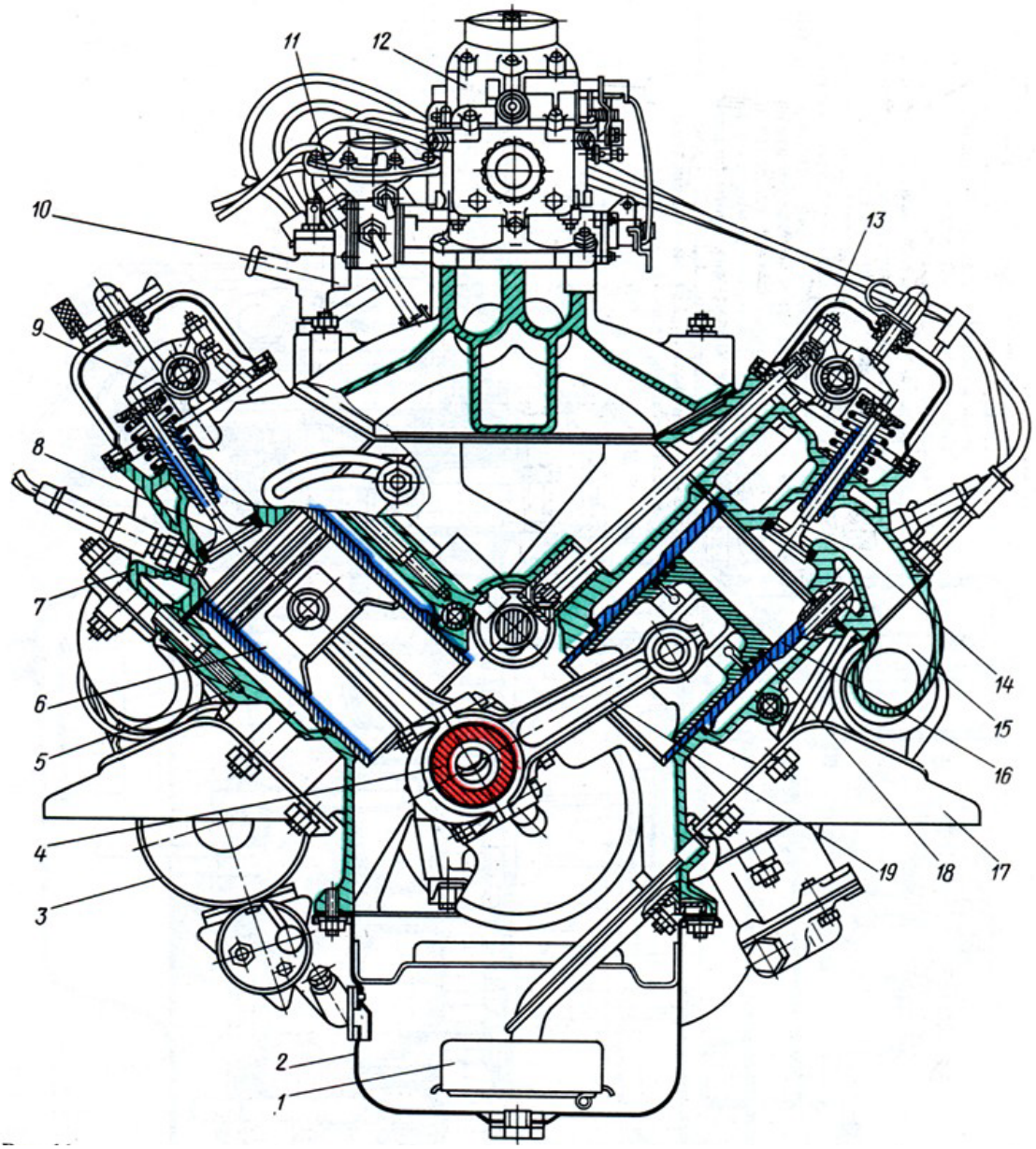


Рис. 1.2. Общее устройство V-образного двигателя ЗМЗ-53

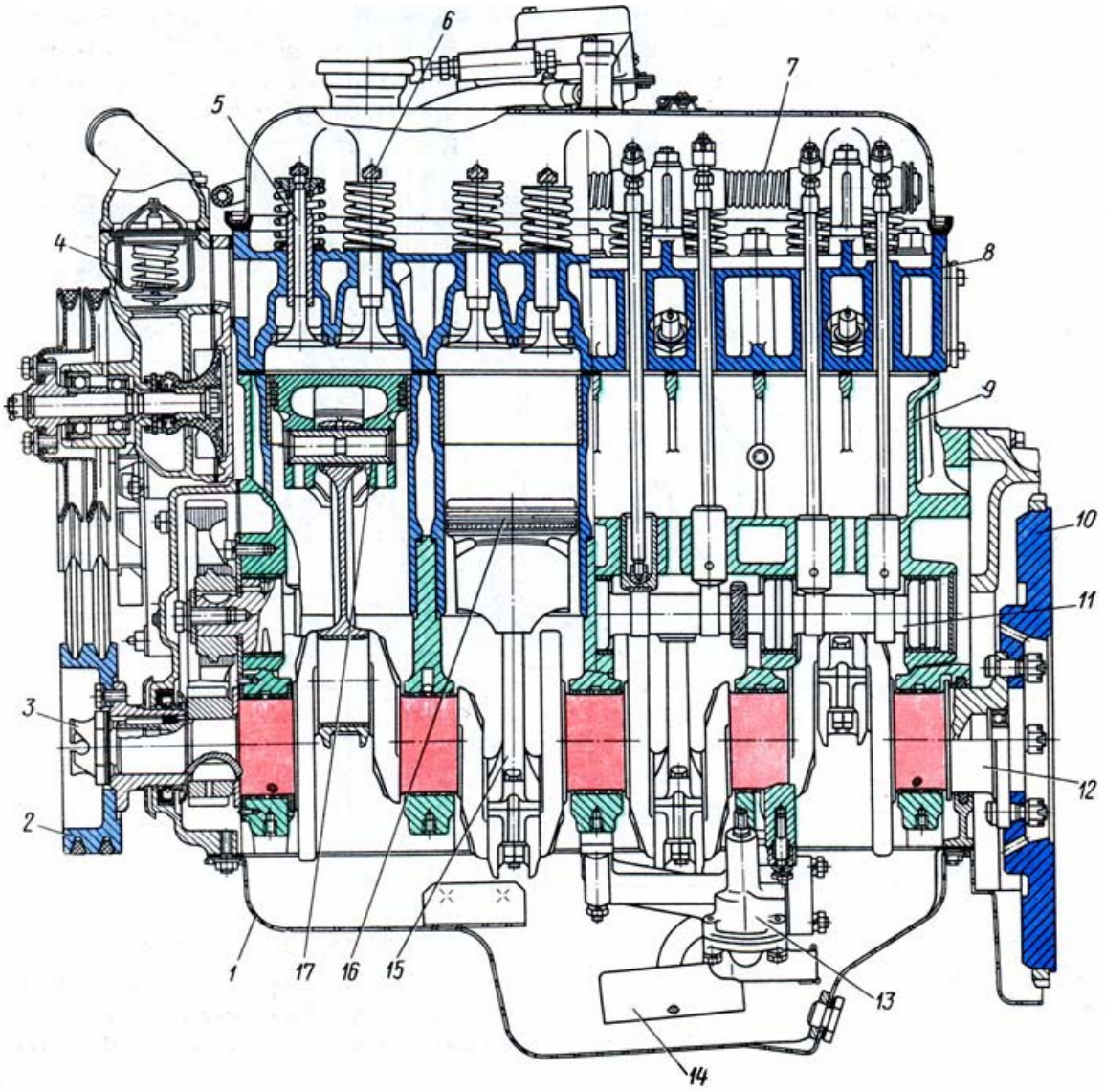


Рис. 1.3. Общее устройство рядного двигателя ЗМЗ-24

Вопросы для самопроверки

1. Для чего служит двигатель внутреннего сгорания?
2. Из каких основных систем состоит двигатель внутреннего сгорания?
3. Как классифицируются двигатели внутреннего сгорания?
4. Как работает четырехтактный двигатель внутреннего сгорания?
5. Как работает двухтактный двигатель внутреннего сгорания?
6. Что называется степенью сжатия двигателя внутреннего сгорания?
7. Что называется рабочим объемом двигателя внутреннего сгорания?
8. Что называется индикаторной диаграммой двигателя внутреннего сгорания?

9. Перечислите индикаторные показатели, характеризующие рабочий процесс двигателя внутреннего сгорания.

10. Перечислите эффективные показатели, характеризующие рабочий процесс двигателя внутреннего сгорания.

11. Назовите недостатки и преимущества четырехтактного двигателя внутреннего сгорания.

12. Назовите недостатки и преимущества двухтактный двигатель внутреннего сгорания.

13. Что является основой действия двигателя внутреннего сгорания?

14. Какие процессы составляют рабочий цикл четырехтактного двигателя?

15. Чем различаются рабочие циклы дизеля и карбюраторного двигателя?

16. Назовите порядок работы четырехцилиндрового двигателя.

17. Перечислите основные механизмы и системы карбюраторного двигателя.

Лабораторная работа №1.2
КРИВОШИПНО-ШАТУННЫЙ МЕХАНИЗМ

Цель работы: изучить конструкцию кривошипно-шатунного механизма, назначение и устройство отдельных узлов, деталей, предъявляемые к ним требования, материал. Изучить условия работы деталей: нагрузки, тепловую напряженность, износостойкость.

Задачи работы

Изучить основные конструкции кривошипно-шатунный механизм:

– общие сведения. Назначение, типы, схемы;

– цилиндры и блок-цилиндры двигателей. Назначение, типы. Условия работы, материал;

– цилиндры. Конструкции цилиндров двигателей жидкостного и воздушного охлаждения;

– блок-картеры. Компоновка блок-картеров с несущими цилиндрами, с несущими стенками рубашки охлаждения, с несущими силовыми шпильками. Туннельный картер. Предотвращение монтажных деформаций;

– головки цилиндров. Назначение, условия работы, материал. Конструкции. Уплотнение стыка. Крепление;

– поршневая группа. Поршни. Назначение, условия работы. Конструкции. Снижение тепловой напряженности. Зазоры между направляющей частью поршня и стенкой цилиндра. Обеспечение работоспособности с малыми зазорами (разрезные и эллипсные юбки, компенсационные вставки). Преимущества и недостатки поршней из алюминиевых сплавов. Мероприятия для улучшения приработки поршней (лужение, коллоидно-графитное покрытие);

– поршневые кольца. Назначение, условия работы. Материалы. Конструкции компрессионных колец. Скорректированная эпюра давления колец на стенку цилиндра, конструкции маслосъемных колец. Улучшение приработки и повышение износостойкости поршневых колец;

– поршневые пальцы. Условия работы, материал. Способы фиксации;

– шатуны. Назначение, условия работы, материал. Конструкции (элементы шатуна, профили стержня). Сочлененные шатуны (вильчатые, прицепные);

– шатунные подшипники (тонкостенные вкладыши, их фиксация). Антифрикционные сплавы. Подготовка шатунно-поршневой группы по весу;

– коленчатые валы. Условия работы. Материал. Конструкции. Противовесы и уравновешивающие механизмы (назначение). Фиксация в осевом направлении;

– гасители крутильных колебаний. Назначение, конструкции. Маховик, его назначение и крепление к коленчатому валу. Подвеска двигателя.

Материальная часть

Макеты и разрезы двигателя ЗМЗ-53, ЗИЛ-130, ЯМЗ-236, КамАЗ-740, ВАЗ-2101, поршни, кольца, цилиндры, шатуны, вкладыши, коленчатые валы, блоки цилиндров, плакаты, чертежи.

Содержание отчета

Используя рис. 1.4, 1.5 описать конструкцию базовых деталей двигателя и его КШМ.

2. Перечислите основные типы конструкций шатунов.

3. Коленчатые валы четырехцилиндрового рядного двигателя: схема, основные конструктивные элементы.

4. Дать схемы и описать конструкции поршней и поршневых колец.

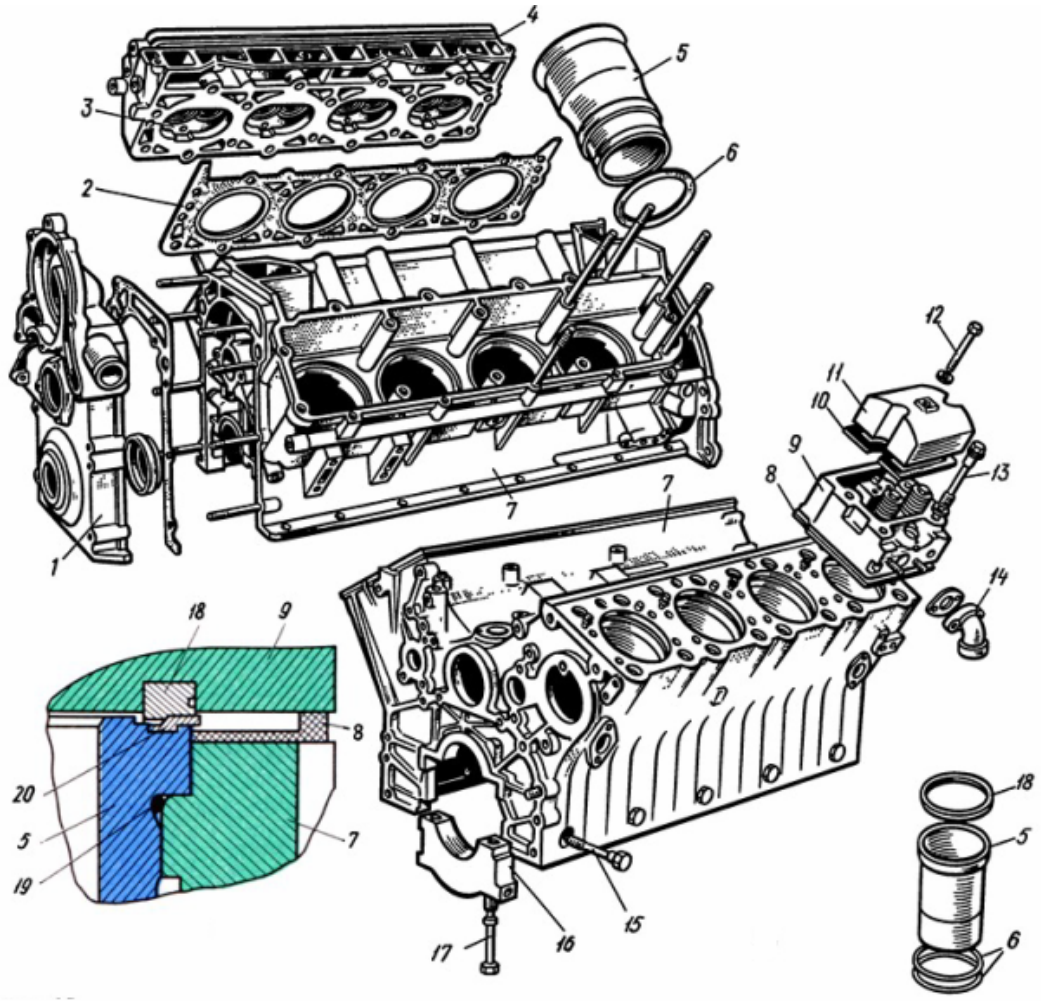


Рис. 1.4. Корпусные детали двигателя КамАЗ-740

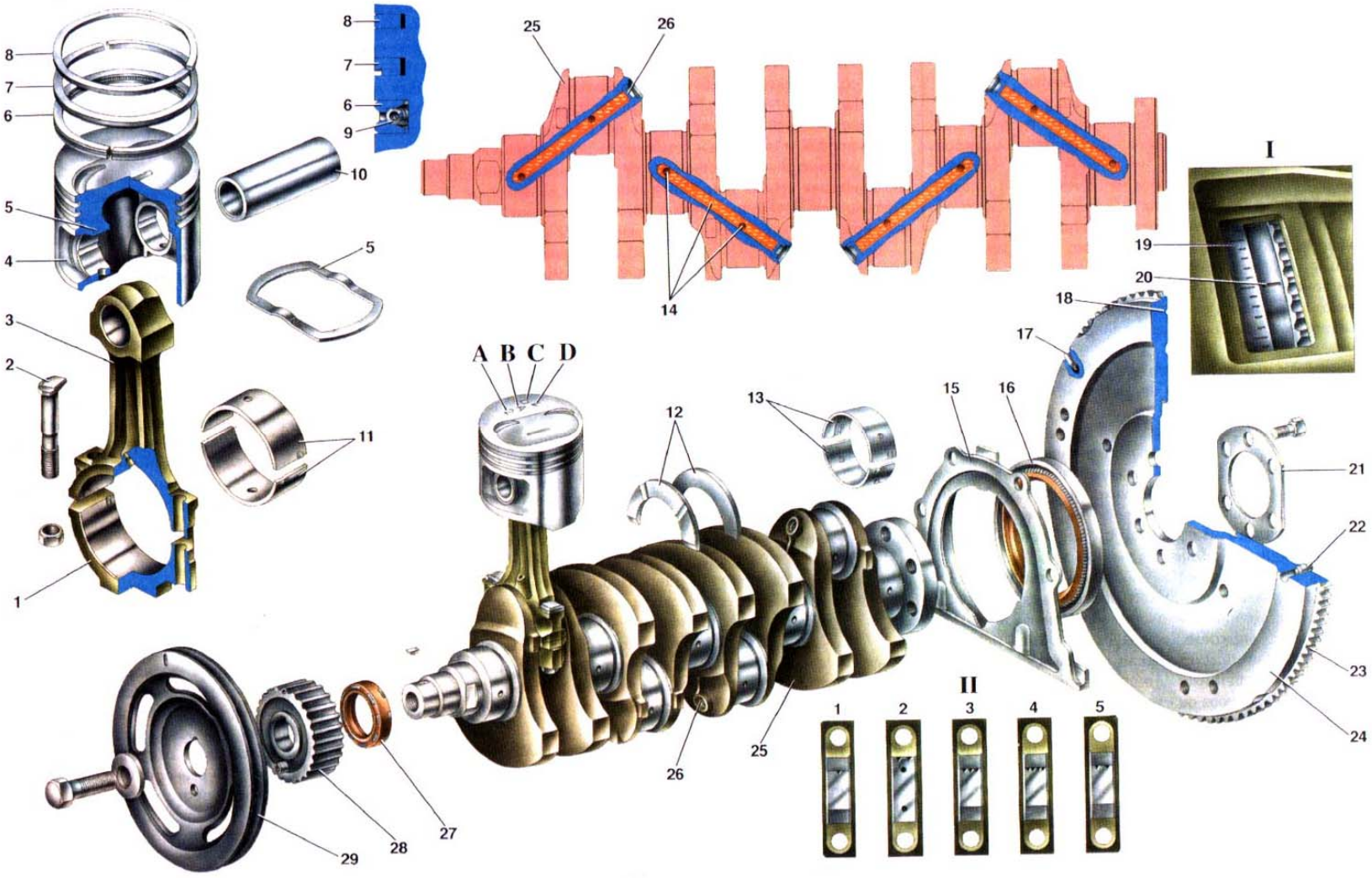


Рис. 1.5. Кривошипно-шатунный механизм двигателя ВАЗ-2101

Вопросы для самопроверки

1. Для чего служит кривошипно-шатунный механизм в ДВС?
2. Из каких основных деталей состоит КШМ?
3. Перечислите основные детали поршневой группы и расскажите об их назначении и устройстве.
4. Для чего предназначен и как устроен шатун?
5. Для чего предназначен и как устроен коленчатый вал ДВС?
6. Каким образом осуществляется крепление двигателя на автомобиле?
7. Перечислите основные виды и типы поршневых колец.
8. Для чего предназначен и как устроен блок-картер?
9. Для чего предназначен и как устроен блок-цилиндров?
10. Для чего предназначена и как устроена головка цилиндров?
11. Какой материал применяют для изготовления корпусных деталей ДВС?
12. Какой материал применяют для изготовления деталей КШМ?
13. Каким образом уплотняется гильза в нижней части блока цилиндров двигателей ЗМЗ-53 и ЗИЛ-130?
14. Как устанавливаются поршни в сборе с шатунами в цилиндры правого и левого рядов?
15. Как устанавливаются компрессионные кольца в поршень на двигателях ЗМЗ-53 и ЗИЛ-130 и как располагаются замки колец?
16. В какой последовательности у двигателя ЗМЗ-53 расположены на головке цилиндров впускные и выпускные клапаны?
17. Чему равен момент силы затяжки болтов и гаек крышек крепления коренных и шатунных вкладышей на двигателе ЗИЛ-130?
18. Какая деталь является основой двигателя?
19. Чем уплотняется соединение головки и блока цилиндров?
20. Из каких деталей состоит кривошипно-шатунный механизм?
21. Каково назначение поршневых колец?
22. Как очищается масло в полостях шатунных шеек коленчатого вала?

Лабораторная работа № 1.3
МЕХАНИЗМ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Цель работы: изучить устройство механизма газораспределения, требования, предъявляемые к его работе.

Задачи работы

Изучить назначение, устройство и принцип работы механизма газораспределения. Схемы приводов механизмов газораспределения: нижнеклапанный, верхнеклапанный, смешанный. Фазы газораспределения. Детали механизмов газораспределения. Изучить назначение и устройство клапанов. Условия работы, материал, конструкции клапанов. Вращение клапана.

Изучить конструкцию седел клапанов. Направляющая втулка клапана. Клапанные пружины, их фиксация. Распределительные валы (конструкции, привод). Толкатели (тарельчатый, цилиндрический, роликовый, с гидравлическим устройством, качающиеся рычаги). Штанга. Коромысла.

Материальная часть

Макеты и разрезы двигателей: ЗМЗ-53, ЗИЛ-508, ЯМЗ-236, КамАЗ-740, ВАЗ-2101; детали (различных конструкций).

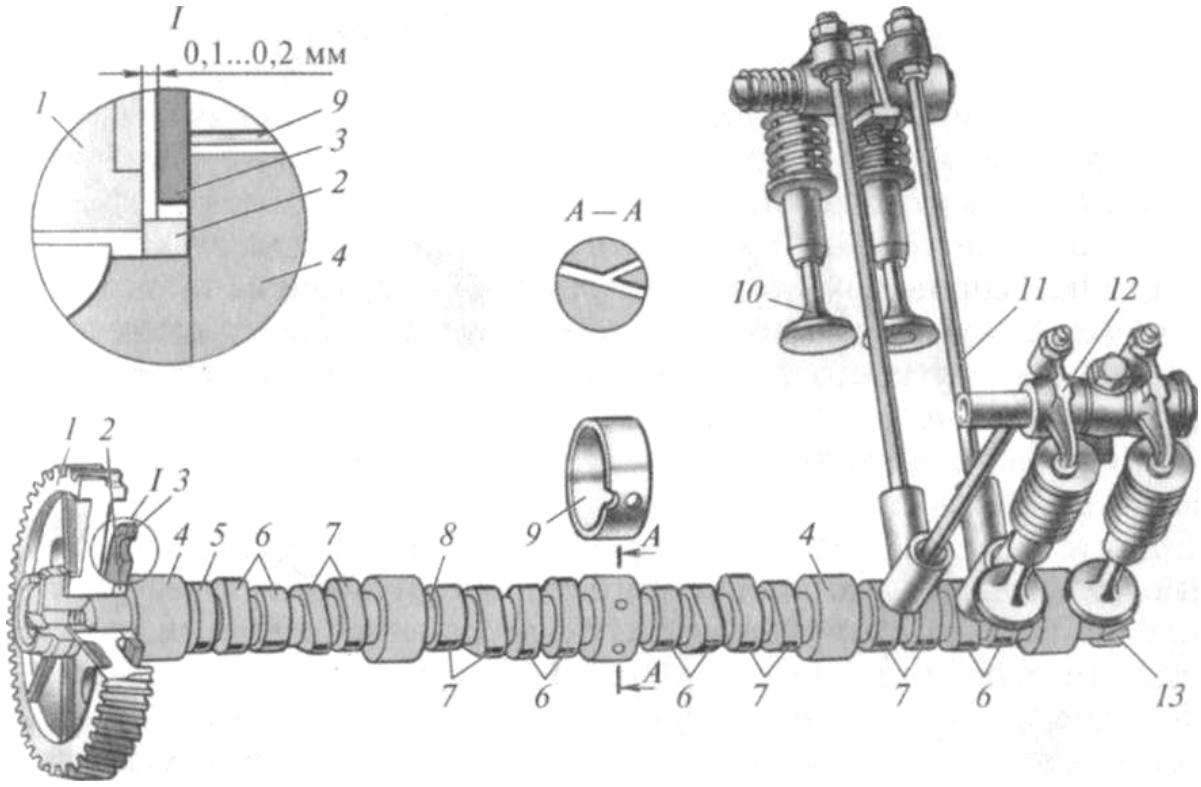


Рис. 1.6. Устройство механизма газораспределения V – образного двигателя

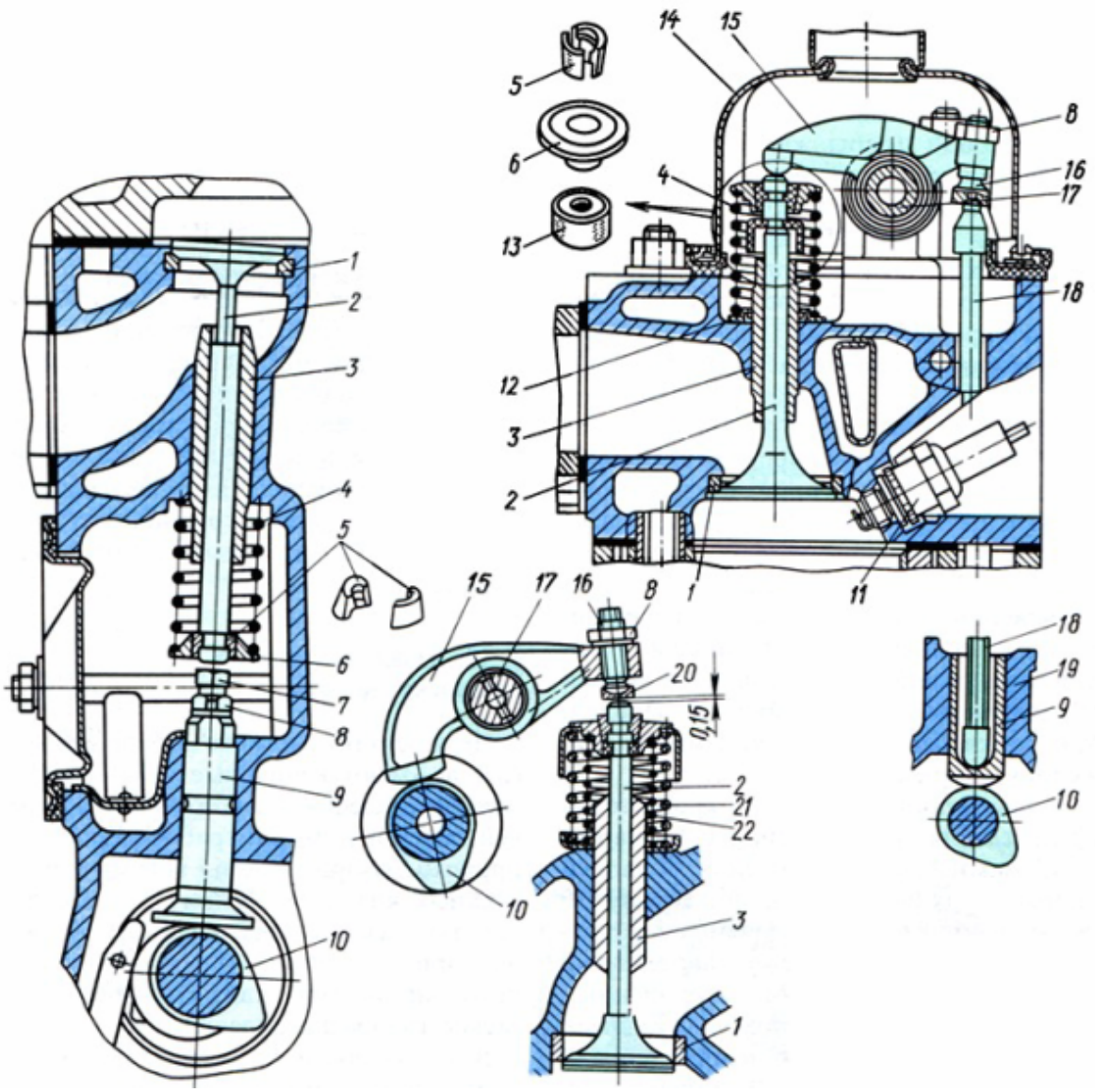


Рис. 1.7. Схемы расположения клапанов ГРМ

Содержание отчета

1. Описать назначение и устройство механизма газораспределения V-образного ДВС (см. рис. 1.6).
2. Изучить основные схемы расположения клапанов (см. рис. 1.7). Достоинства и недостатки этих схем.
3. Диаграмма фаз газораспределения с «привязкой» к индикаторной диаграмме двигателя.
4. Конструкции различных типов толкателей.
5. Схемы уплотнения сопряжения «седло-клапан».
6. Вращение клапана. Привести один тип механизма вращения клапана.

Вопросы для самопроверки

1. Для чего служит механизм газораспределения в ДВС?
2. Перечислите основные детали газораспределительного механизма с верхним расположением клапанов.
3. Что называется фазами газораспределения?
4. Как устроен клапанный механизм?
5. Как устроен привод газораспределительного механизма?
6. Для чего в двигателях применяют декомпрессионный механизм?
7. Почему в газораспределительном механизме для привода не используют (как правило) ременную передачу?
8. Назовите преимущества и недостатки цепного привода ГРМ по сравнению с шестеренчатым.
9. Как производится регулировка зазора в клапанах?
10. Почему в двигателях применяют ГРМ с верхним расположением распределительного вала?
11. Как осуществляется смазка ГРМ?
12. Что называется порядком работы цилиндров?
13. Для чего в клапанном механизме двигателя ЗИЛ-130 установлен механизм вращения клапана?
14. С какой целью внутреннюю полость некоторых клапанов заполняют легкоплавящемся металлом?

Лабораторная работа №1.4
СИСТЕМА СМАЗКИ ДВИГАТЕЛЯ

Цель работы: изучить устройство системы смазки, способы очистки масла; требования, предъявляемые к маслам.

Задачи работы

1. Изучить:

– назначение, устройство и принцип работы системы смазки;

– способы подачи масла к трущимся поверхностям (разбрызгиванием, под давлением, смешанный);

– системы смазки с мокрым и сухим картером;

– особенности смазки двухтактных двигателей;

– конструкцию масляных насосов (односекционных и многосекционных);

– конструкцию фильтров грубой и тонкой очистки масла;

– конструкцию центрифуг (полнопоточных и неполнопоточных);

– перечислите другие способы очистки моторного масла, применяемые в ДВС (кроме центрифугирования и фильтрации);

– конструкции масляных радиаторов;

– конструкцию редукционных, предохранительных (перепускных) и сливных клапанов. Их назначение и условия срабатывания.

Изучить требования, предъявляемые к моторным маслам.

Материальная часть

Макеты и разрезы двигателей ЗМЗ-53, ЗИЛ-508, ЯМЗ-236, КамАЗ-740, ВАЗ-2101; детали масляного насоса, фильтры, плакаты, чертежи.

Содержание отчета

1. Приведите сравнительный анализ системы смазки двигателя с мокрым и сухим картером.

2. Опишите работу полнопоточной центрифуги.

3. Представьте классификацию масляных фильтров.

4. Сравните роторный и шестеренчатый масляные насосы.

5. Перечислите требования, предъявляемые к моторным маслам.

6. Опишите назначение перепускного, сливного, редукционного и предохранительного клапанов устанавливаемых в системе смазки ДВС.

7. Используя рис. 1.8, опишите устройство системы смазки двигателя КамАЗ-740.

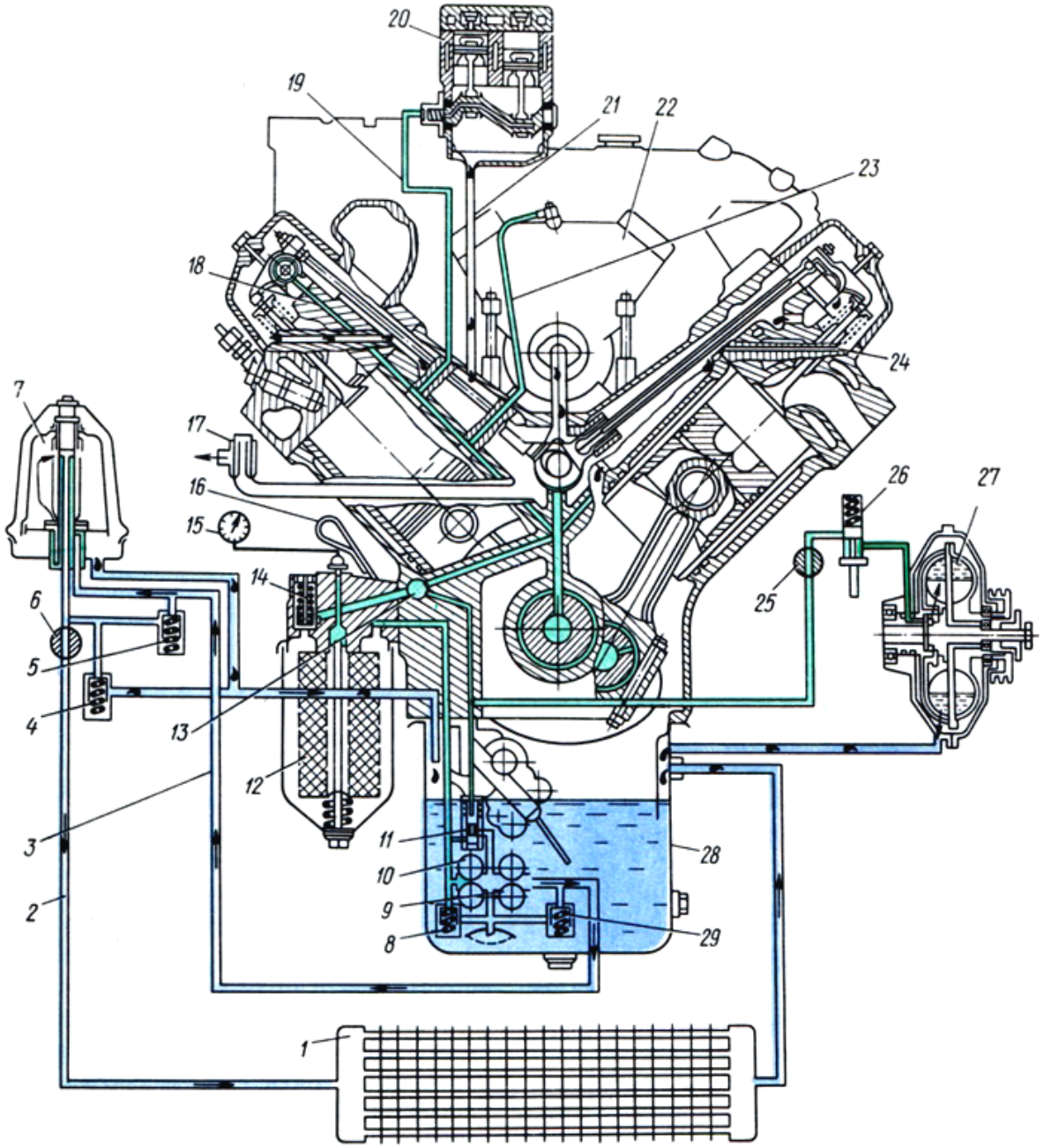


Рис. 1.8. Принципиальная схема системы смазки дизеля КамАЗ-740

Вопросы для самопроверки

1. Назначение системы смазки ДВС.
2. Каким требованиям должны отвечать моторные масла?
3. Как устроена система смазывания автомобильных ДВС?
4. Для чего предназначен и как устроен масляный насос?
5. Какие фильтры применяются в системе смазывания ДВС и как они работают?

6. Для чего необходима и как осуществляется вентиляция картера двигателя?

7. Как устроена и работает маслоочистительная полнопоточная и неполнопоточная центрифуга?

8. Почему масляный картер двигателей имеет такую форму?

9. Почему в маслосливной пробке устанавливают постоянный магнит?

10. Какой уровень масла должен быть в двигателе при определении его с использованием масляного щупа?

11. Как производят заправку моторного масла в двигатель?

12. Назовите несколько марок моторных масел и дайте расшифровку их обозначения?

13. Укажите внешние признаки работоспособности центрифуги?

14. За счет чего обеспечивается вращение ротора центрифуги?

15. Какие правила нужно соблюдать при сборке центрифуги?

16. Почему при очистке центрифуги запрещается снимать ее ротор?

Лабораторная работа №1.5
СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ

Цель работы: изучить устройство системы охлаждения, конструкции отдельных элементов, требования, предъявляемые к системе охлаждения.

Задачи работы

Изучить назначение, устройство и принцип работы:

– системы охлаждения двигателя жидкостного типа, воздушного типа, термосифонного типа, с принудительной циркуляцией жидкости, смешанного типа (комбинированного);

– закрытой и открытой системы охлаждения;

– элементов и узлов системы жидкостного охлаждения;

– водяных насосов и их приводов;

– воздушных вентиляторов и их приводов;

– термостатов;

– гидромуфт;

– водо-водяных и водо-воздушных радиаторов;

– элементов системы воздушного охлаждения.

Дать сравнительную оценку систем воздушного и жидкостного охлаждения.

Знать требования, предъявляемые к рабочему телу систем охлаждения.

Материальная часть

Макеты и разрезы двигателей ГАЗ-51, ЗИЛ-508, ЯМЗ-236, КамАЗ-740, ВАЗ-2101; детали термостатов, подогревателей, радиаторов; плакаты, чертежи.

Содержание отчета

1. Привести схему работы воздушного и жидкостного охлаждения. Описать достоинства и недостатки.

2. Используя рис. 1.9, объясните принцип работы системы охлаждения двигателя КамАЗ-740.

3. Работа термостата.

4. Опишите, какие бывают сердцевины водяных радиаторов. В чем их преимущества и недостатки?

5. Перечислите способы автоматического поддержания теплового состояния двигателя.

6. Опишите, как обеспечивается уплотнение вала водяного насоса.

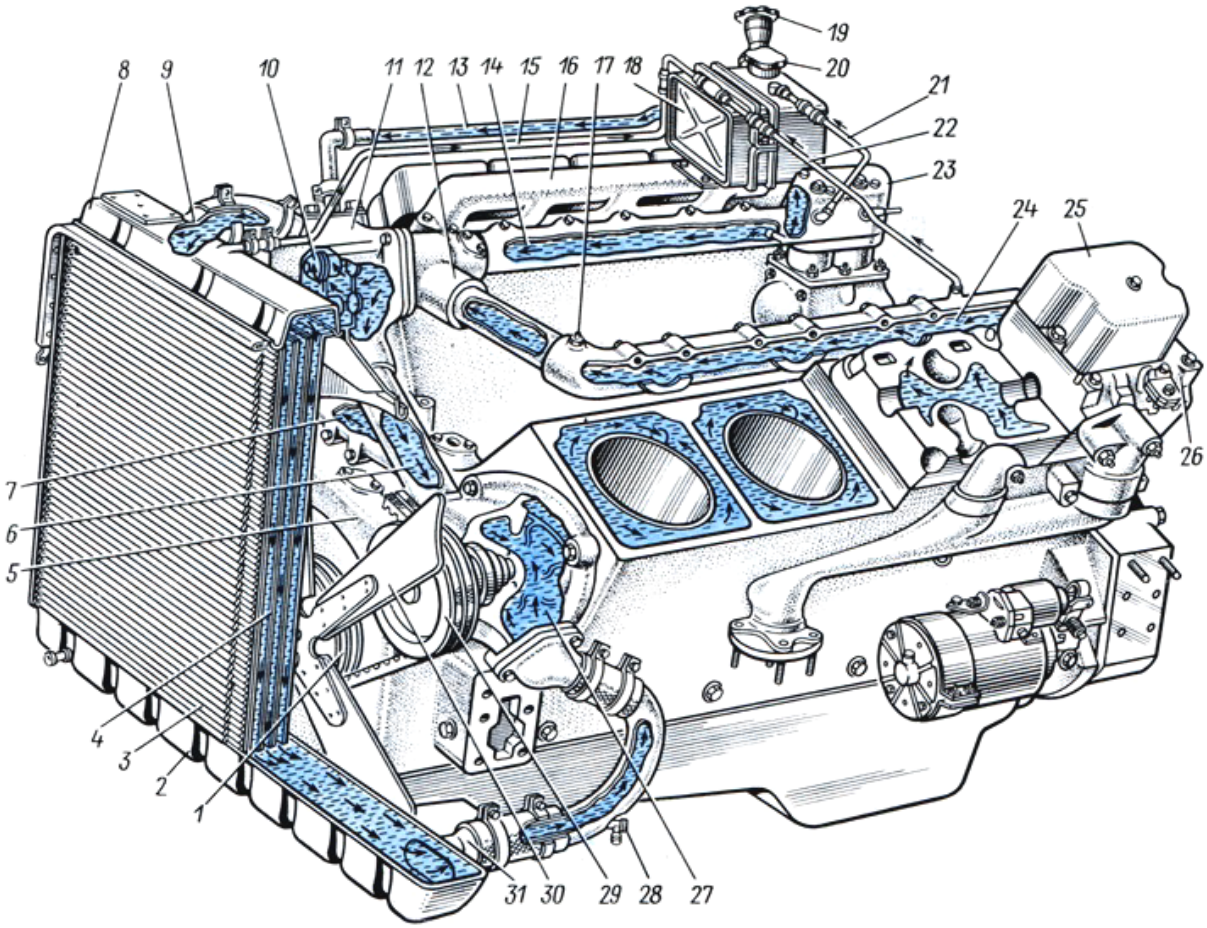


Рис. 1.9. Система охлаждения двигателя КамАЗ-740

Вопросы для самопроверки

1. Используя рис. 1.9, опишите устройство системы охлаждения.
2. Какие системы охлаждения применяются в современных ДВС?
3. Каков принцип работы термосифонной системы охлаждения?
4. Как работает система жидкостного охлаждения?
5. Как работает система воздушного охлаждения?
6. Для чего служит и как работает жидкостный радиатор?
7. Объясните, как устроен и работает термостат?
8. Назначение термостата в системе охлаждения ДВС.
9. Почему подача воды в рубашку охлаждения осуществляется снизу, а не сверху?
10. Как устроена система воздушного охлаждения?
11. Почему в двигателях воздушного охлаждения цилиндры имеют оребрённую поверхность?
12. Для чего в двигателях применяется расширительный бачек?
13. Как устроен и работает водяной насос системы охлаждения?
14. Назначение, устройство и принцип работы гидромуфты двигателя КамАЗ-740.

Лабораторная работа № 1.6
СИСТЕМА ПИТАНИЯ ДИЗЕЛЯ

Цель работы: изучить устройство и принцип работы системы питания дизельных двигателей.

Задачи работы

1) Система питания дизельных двигателей. Принципиальная схема питания дизельных двигателей. Насосы высокого давления. Топливоподкачивающие насосы. Регуляторы. Корректоры подачи топлива. Форсунки (открытые, закрытые, насос-форсунки).

2) Система воздухоснабжения и удаления отработавших газов. Воздухоочистители. Воздушные фильтры. Компрессоры. Турбокомпрессоры. Нагнетатели. Охладители воздуха. Нейтрализаторы газов. Катализаторы газов. Сапун. Коллекторы. Глушители шума.

Материальная часть

Макеты и разрезы: топливных насосов типа: НТ, УТН, НД, форсунок, топливных фильтров, турбокомпрессоров, воздухоочистителей, глушителей и пр.; плакаты; чертежи (рис. 1.10).

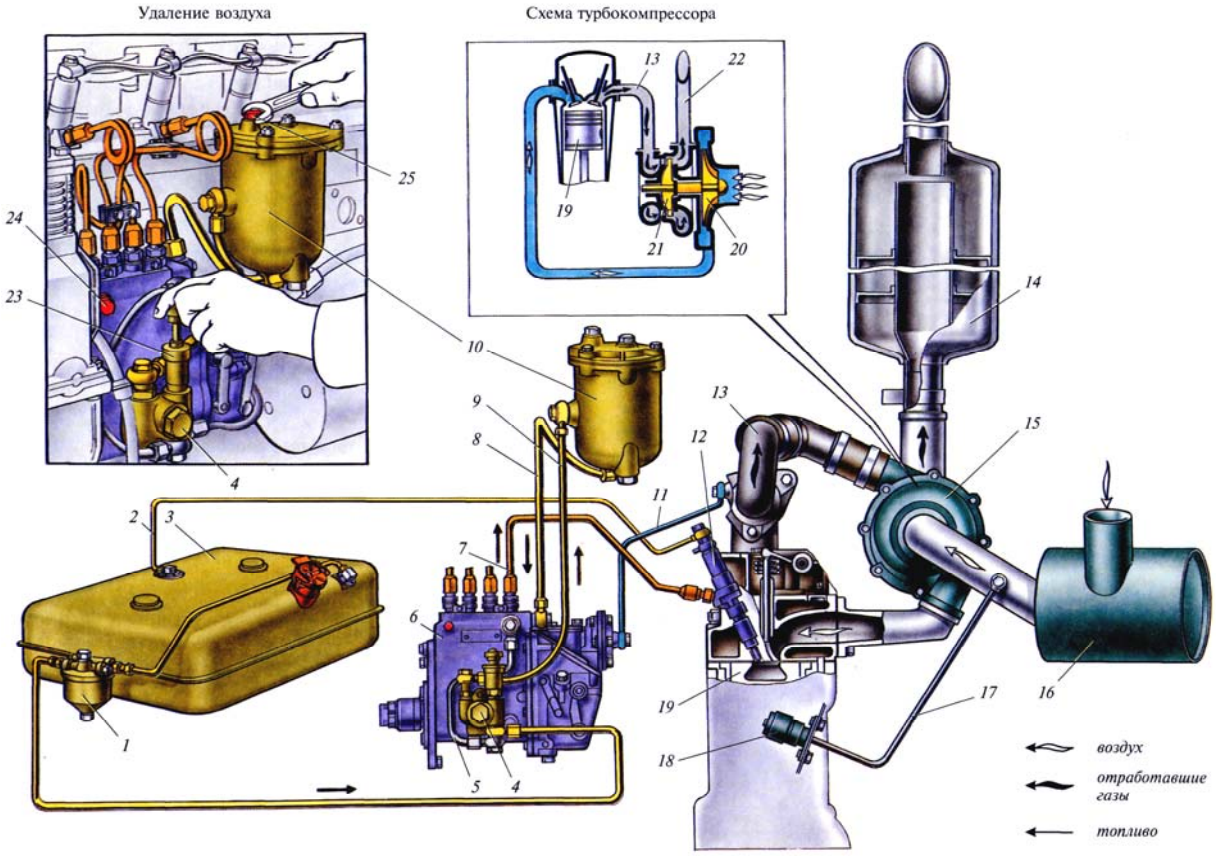


Рис. 1.10. Общее устройство системы питания дизеля Д-245

Содержание отчета

1. Назначение, схемы системы питания дизельных двигателей и их элементы.
2. Привести принципиальную схему всережимного регулятора.
3. Привести схему плунжерной пары.
4. Опишите основные типы форсунок.
5. Приведите схему работы воздухоочистителя.
6. Опишите работу турбокомпрессора.
7. Приведите схему работы топливоподкачивающего насоса.
8. Опишите работу глушителя шума.

Вопросы для самопроверки

1. Назначение системы питания дизельного ДВС.
2. Используя рис. 1.10, проследите путь топлива от топливного бака до форсунки при работе дизеля.
3. Объясните назначение топливных насосов низкого и высокого давления в дизеле.
4. Какие виды воздушных фильтров применяют для очистки воздуха?
5. Перечислите причины возможных неисправностей системы питания дизеля при пуске.
6. Как устроен и работает топливоподкачивающий насос?
7. Назначение, устройство и принцип работы форсунок.
8. Назначение и устройство топливных баков.
9. Назначение, устройство и принцип работы фильтра-отстойника.
10. Как происходит процесс очистки воздуха в воздухоочистителях циклонного типа?
11. Устройство и работа топливного насоса высокого давления типа УТН.
12. Устройство и работа муфты опережения впрыска топлива насоса типа НД.
13. Объясните принцип работы плунжерной пары секционного ТНВД.
14. Объясните принцип работы плунжерной пары ТНВД распределенного типа.
15. Назначение, устройство и принцип работы турбокомпрессора.
16. Назначение, устройство и принцип работы глушителей.
17. Назначение, устройство и принцип работы топливных фильтров тонкой очистки.
18. Чем отличаются топливопроводы низкого и высокого давления?
19. Устройство и принцип работы система впрыска “Common Rail” для дизельных двигателей.
20. Назначение, устройство и принцип работы всережимного регулятора.

Лабораторная работа № 1.7
СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ БЕНЗИНОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Цель работы: изучить устройство, принцип работы, требования, предъявляемые к системам питания бензиновых двигателей.

Задачи работы

1. Изучить схему питания карбюраторного двигателя.

Состав горючей смеси и его влияние на работу двигателя. Топливо. Требования, предъявляемые к карбюратору. Способы компенсации горючей смеси.

Карбюраторы с понижением разрежения в диффузоре. Карбюраторы с компенсацией смеси двумя топливными жиклерами. Карбюраторы с понижением разрежения у топливного жиклера (с пневматическим торможением топлива). Карбюраторы с дозирующей иглой.

Вспомогательные устройства карбюратора (пусковое устройство, система холостого хода. Ускорительный насос. Экономайзер. Экономостат). Ограничители частоты вращения коленчатого вала.

2. Схемы системы питания бензиновых двигателей с впрыском топлива (К-Джетроник, Л-Джетроник, Моно-Джетроник). Достоинства и недостатки системы.

Материальная часть

Макеты и разрезы карбюраторов К-88А, К-126, ДААЗ-2101, детали двигателей ЗМЗ-53, ЗИЛ-130, ВАЗ-2101; плакаты, чертежи (рис. 1.11).

Содержание отчета

1. Опишите назначение и схему системы питания карбюраторного двигателя, требования, назначение элементов, используя рис.1.11.
2. Схема карбюратора со вспомогательными системами.
3. Устройство и принцип работы бензонасоса.
4. Устройство и принцип работы ограничителя оборотов двигателя.
5. Устройство и принцип работы воздухоочистителя.
6. Устройство и принцип работы фильтров тонкой очистки топлива.
7. Устройство топливного бака.
8. Устройство и работа карбюратора К-88 или К-126.
9. Требования, предъявляемые к бензинам.
10. Изобразите схемы систем питания с распределенным и моновпрыском топлива.

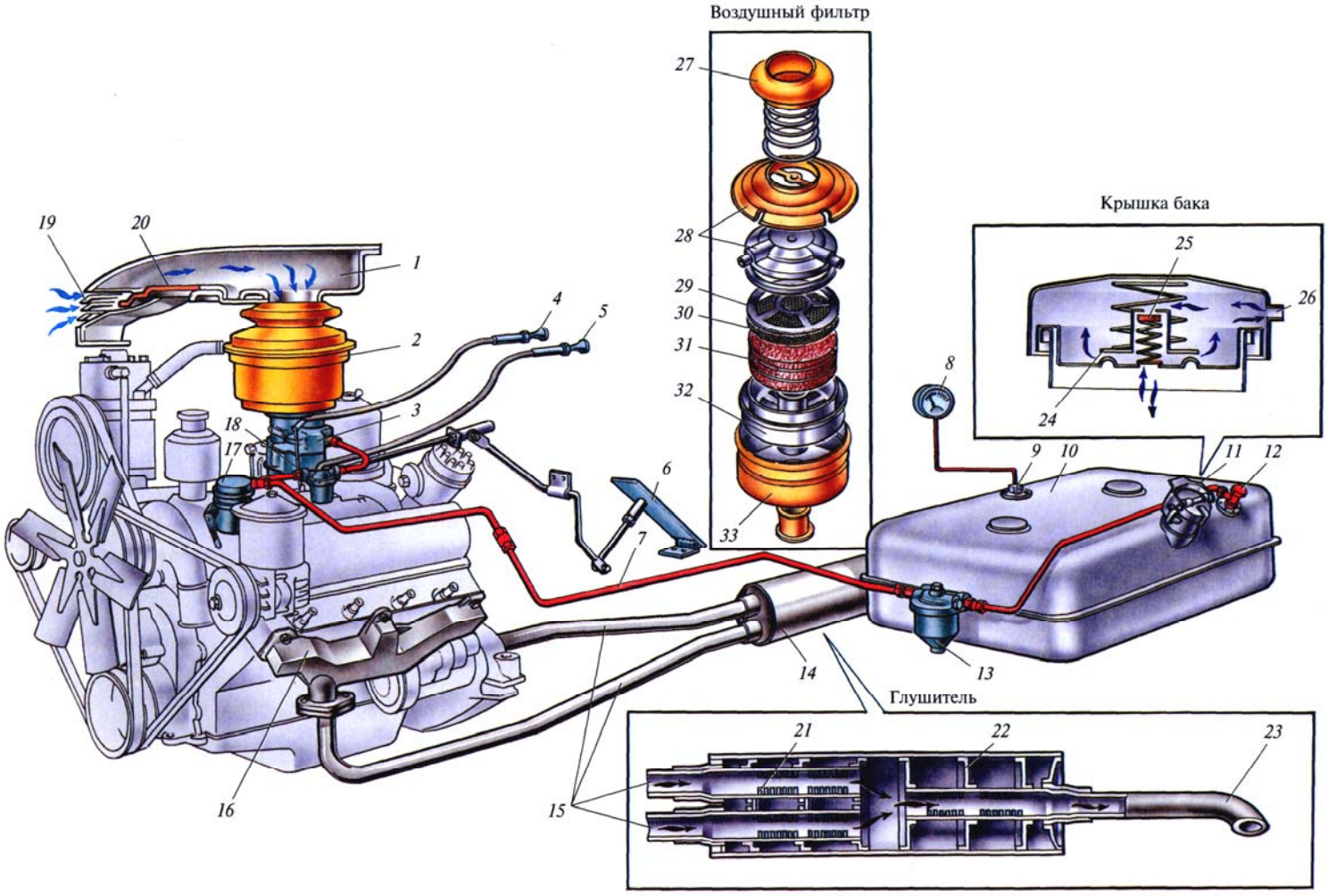


Рис. 1.11. Система питания карбюраторного двигателя ЗИЛ-508

Вопросы для самопроверки

1. Назначение системы питания бензинового ДВС.
2. Какая топливовоздушная смесь называется обогащенной, а какая обедненной?
3. Как устроена и работает система холостого хода карбюратора К-126?
4. Как устроен и работает экономайзер карбюратора К-88?
5. Как устроена и работает главная дозирующая система карбюратора?
6. Можно ли использовать топливный насос двигателя ЗМЗ-53 для двигателя ЗИЛ-130?
7. Изменяется ли количество топлива, подаваемого насосом, при изменении расхода топлива на двигателе?
8. Взаимозаменяемы или нет впускные и выпускные клапаны топливного насоса?
9. Какие системы входят в состав карбюратора?
10. Из каких деталей состоит экономайзер? Какие режимы работы двигателя он обеспечивает?
11. Из каких деталей состоит ускорительный насос, и какие режимы работы двигателя он обеспечивает?
12. Укажите, где расположены воздушные и топливные жиклеры.
13. Укажите, где расположены регулировочные винты карбюратора и что ими регулируют.
14. Назовите назначение и укажите расположение регулятора частоты вращения коленчатого вала.
15. Как устроена и работает система К-Джетроник?
16. Как устроена и работает система Л-Джетроник?
17. Как устроена и работает система Моно-Джетроник?

Лабораторная работа №1.8
СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ РАБОТАЮЩИХ НА ГАЗЕ

Цель работы: изучить устройство, принцип работы, требования, предъявляемые к системам питания двигателей, работающих на сжиженном и природном газе.

Задачи работы

1. Схема питания двигателя, работающего на сжиженном газе. Состав горючей смеси и его влияние на работу двигателя. Топливо. Требования, предъявляемые к сжиженному газу. Способы компенсации горючей смеси.

2. Схемы системы питания двигателей, работающего на сжатом газе. Достоинства и недостатки системы. Состав горючей смеси и его влияние на работу двигателя. Топливо. Требования, предъявляемые к сжатому газу. Способы компенсации горючей смеси.

Материальная часть

Макеты и разрезы карбюраторов-смесителей К-88А, К-126, газового редуктора, газового баллона, испарителя сожженного газа, детали системы питания двигателей ЗМЗ-53, ЗИЛ-130, ЗМЗ-406; плакаты, чертежи (рис. 1.12).

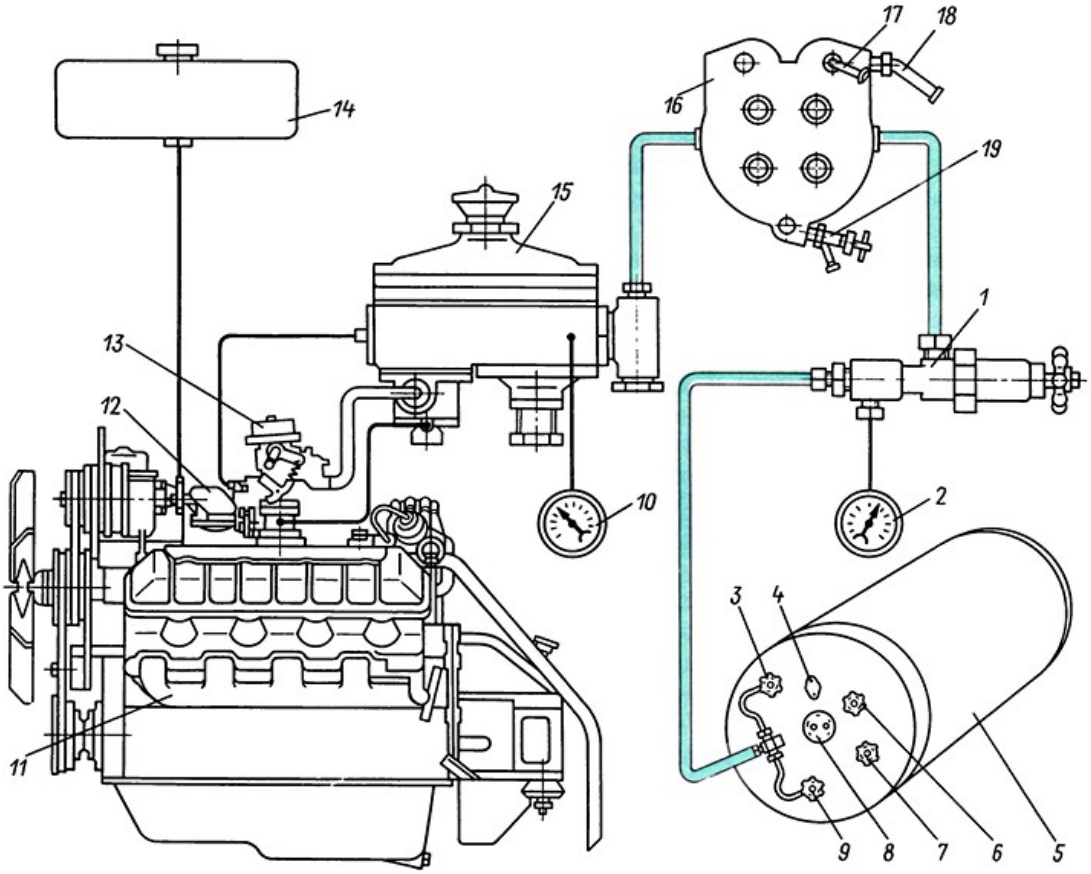


Рис. 1.12. Система питания ДВС, работающего на сжиженном газе

Содержание отчета

1. Назначение и схема системы питания двигателя, работающего на сжиженном газе. Требования и назначение элементов.
2. Схема системы питания двигателя, работающего на сжиженном газе.
3. Назначение и схема системы питания двигателя, работающего на сжатом газе. Требования и назначение элементов.
4. Схемы систем питания двигателя, работающего на сжатом газе.

Вопросы для самопроверки

1. Назначение системы питания ДВС.
2. Назначение, устройство и принцип работы газового редуктора.
3. Как проверить утечку газа в системе питания?
4. Какое давление обеспечивает газовый редуктор в первой ступени и как его контролировать?
5. Для чего используется кран 6 (см. рис. 1.12) в испарителе сжиженного газа?
6. Назначение, устройство и принцип работы электромагнитного клапана.
7. Почему в конструкции системы питания двигателя, работающего на газе, необходима резервная система питания?
8. Назначение, устройство и принцип работы редуктора-испарителя низкого давления.
9. Назначение, устройство и принцип работы газовых редукторов высокого давления.
10. Устройство и работа универсального двухступенчатого газового редуктора.
11. Чем отличается редуктор сжиженного газа от сжатого газа?
12. Назначение, устройство и принцип работы трехступенчатого редуктора-подогревателя газа.
13. Устройство и принцип работы карбюраторов-смесителей газа.
14. Особенности конструкции баллонов для сжиженного и сжатого газа.
15. Устройство и работа газодизельной системы питания.
16. Как устроен и работает сигнализатор аварийной выработки газа?
17. Назначение и устройство расходного и наполнительного вентилей.
18. Конструкция дозатора газа.
19. Устройство и принцип работы фильтра в системе питания двигателя, работающего на газе.

Часть 2. СТЕНДОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

2.1. Основные положения, регламентирующие порядок и условия испытаний двигателей

Автомобильный двигатель отличается от других транспортных энергетических установок широким диапазоном изменения скоростных и нагрузочных режимов работы. К нему предъявляются требования устойчивой экономичной работы как при малом числе оборотов коленчатого вала на холостом ходу, так и при максимальном числе оборотов с полной нагрузкой. Режим работы во всех случаях должен изменяться плавно и бесперебойно. Не должно быть никаких перебоев и при использовании двигателя в качестве тормоза, когда положение дроссельной заслонки в карбюраторе соответствует малому числу оборотов холостого хода, а коленчатый вал получает ускоренное принудительное вращение от ведущих колес автомобиля.

Наиболее часто встречающиеся режимы работы автомобильного двигателя, которые ограничиваются, с одной стороны, значениями мощностей, потребных для движения автомобиля с определенными скоростями по горизонтальной дороге с усовершенствованным покрытием и, с другой стороны, максимальными значениями мощностей, которые двигатель может развивать на каждом скоростном режиме. При движении автомобиля под уклон мощность двигателя, затрачиваемая на перемещение, может падать до нуля, а в случае торможения автомобиля двигателем она переходит в отрицательную зону, где предельным значением является максимальная затрата мощности на принудительное вращение коленчатого вала при закрытой дроссельной заслонке.

Для наиболее объективной оценки рабочих показателей автомобильного двигателя в зависимости от его нагрузки следует учитывать весь диапазон, от режима работы ДВС на максимальной мощности до холостого хода (х.х.). Эти значения нагрузки практически часто ограничиваются диапазоном от полного открытия дроссельной заслонки до положения заслонки, соответствующее холостому ходу.

Необходимый диапазон скоростных режимов ограничивается минимальным числом оборотов на холостом ходу и числом оборотов соответствующим максимальной скорости движения автомобиля. Максимальное число оборотов обычно превышает на 15–20 % число оборотов, при котором двигатель развивает максимальную мощность,

если в конструкции двигателя не применяется ограничитель максимального числа оборотов.

Вследствие многообразия скоростных и нагрузочных режимов работы автомобильного двигателя нельзя оценить его показатели какой-либо одной универсальной зависимостью. Поэтому для оценки используют ряд зависимостей, определенных в некоторых неизменных условиях, каждая из которых называется характеристикой двигателя. Неизменность условий определяется постоянством одного или нескольких показателей или положения органов регулирования мощности двигателя. Так, например, характеристика двигателя может быть определена для постоянного скоростного режима, постоянного значения мощности, постоянного положения дроссельной заслонки и т.п. В каждом случае характеристикой является зависимость всего комплекса рабочих показателей от одного из них, в качестве которого могут быть выбраны число оборотов, мощность, расход топлива, состав горючей смеси, угол опережения зажигания и т.п.

Количество характеристик, необходимое для оценки рабочих качеств двигателя с требуемой полнотой, определяется объемом поставленной задачи испытаний.

Различают следующие виды характеристик автомобильных карбюраторных двигателей и границы их применения.

1. **Внешняя скоростная характеристика**, представляющая собой чаще всего графическую зависимость эффективной мощности N_e, крутящего момента M_e, среднего эффективного давления P_e, расхода топлива (часового $G_т$ и удельного g_e) и других показателей от числа оборотов n_e двигателя при полном открытии дроссельной заслонки. Этой характеристикой определяются максимальные мощностные показатели двигателя и оценивается степень совершенства рабочего процесса при полной нагрузке.

2. **Характеристика внутренних** (или **условных механических**) **потерь**, дающая представление о величинах мощности $N_м$ и момента $M_м$ (или условного внутреннего давления $P_м$ внутренних потерь), потребных для принудительного вращения коленчатого вала двигателя при полном открытии дроссельной заслонки без подачи топлива на разных скоростных режимах, а также об условном механическом к.п.д. $\eta_м$. По этой характеристике судят о степени приработанности деталей двигателя; кроме того, она позволяет с достаточной точностью определить индикаторные показатели двигателя без применения индицирования, если известны эффективные показатели.

3. **Нагрузочная характеристика**, показывающая изменение удельного g_e и часового $G_т$ расходов топлива и других показателей от

эффективной мощности двигателя N_e, или от его крутящего момента M_e, или от среднего эффективного давления P_e при постоянном числе оборотов и переменном открытии дроссельной заслонки. В качестве аргумента может быть также взято относительное значение мощности (крутящего момента, среднего эффективного давления), выраженное в процентах от максимальной мощности при данном числе оборотов. По комплексу нагрузочных характеристик, равномерно охватывающих весь диапазон возможного измерения скоростных режимов двигателя, можно объективно оценить экономичность двигателя при частичных нагрузках.

4. **Частичная скоростная характеристика**, представляющая собой зависимость, аналогичную внешней скоростной характеристике, но выявленную для нескольких постоянных положений дроссельной заслонки, каждое из которых выбирают с таким расчетом, чтобы в совокупности равномерно охватить весь диапазон нагрузок – от полной до близкой к холостому ходу. Характеристики такого вида широко применяются для получения данных, необходимых при расчетах тяговых и экономических (по расходу топлива) качеств автомобиля.

5. **Характеристика холостого хода**, являющаяся частным случаем скоростной характеристики, но имеющая самостоятельное значение при определении рабочих показателей двигателя. Она является нижним пределом для всех скоростных характеристик.

Характеристика холостого хода представляет собой зависимость часового расхода топлива $G_т$, разрежения во впускном трубопроводе H (в мм рт. ст.) и других показателей от числа оборотов n_e вала двигателя при работе его без нагрузки.

6. **Характеристика принудительного холостого хода** – продолжение характеристики холостого хода при повышении числа оборотов вала двигателя без открытия дроссельной заслонки, что имеет место при торможении автомобиля двигателем. Она представляет собой зависимость отрицательной эффективной мощности N_e, крутящего момента M_e, расхода топлива и других показателей от числа оборотов n_e двигателя при принудительном вращении его вала; дроссельная заслонка находится в таком положении, при котором двигатель самостоятельно работает на малых числах оборотов холостого хода. Подача топлива и зажигание при этом включены, вследствие чего тормозной эффект оказывается несколько меньшим, чем при оценке показателей двигателя по характеристике внутренних потерь.

8. **Регулировочная характеристика по составу смеси**, представляющая собой зависимость эффективной мощности N_e, удельного расхода топлива g_e и других показателей двигателя от состава горючей

смеси. Изменение состава смеси при определении регулировочных характеристик этого типа производится вручную с таким расчетом, чтобы равномерно охватить весь диапазон устойчивой работы двигателя в пределах от самой бедной до самой богатой смеси. Опережение зажигания при этом устанавливается оптимальным для каждого состава смеси также вручную или с помощью предусмотренных конструкцией двигателя уже отрегулированных автоматических устройств.

При полном открытии дроссельной заслонки регулировочные характеристики по составу смеси определяют для нескольких постоянных чисел оборотов, равномерно распределенных по всему рабочему диапазону скоростных режимов двигателя.

Регулировочные характеристики по составу смеси для частичных нагрузок могут определяться различными способами. Наиболее распространен способ определения при различных постоянных положениях дроссельной заслонки и при постоянном числе оборотов, для каждой характеристики, т.е. в условиях, аналогичных полному открытию дроссельной заслонки. На каждом скоростном режиме выбирается столько положений дроссельной заслонки, сколько необходимо, чтобы равномерно охватить весь диапазон нагрузок.

Существуют и другие способы определения регулировочных характеристик по составу смеси, как, например, при постоянном крутящем моменте и неизменном положении дроссельной заслонки, но при переменном числе оборотов. Однако сколько-нибудь заметного распространения они не получили.

9. **Регулировочная характеристика по опережению зажигания** – зависимость эффективной мощности N_e, удельного расхода топлива g_e и других показателей двигателя от угла опережения зажигания θ, выраженного в градусах поворота коленчатого вала относительно ВМТ. Регулировка карбюратора при этом должна соответствовать техническим условиям по эксплуатации двигателей данного типа.

Регулировочные характеристики по опережению зажигания определяются главным образом при различных постоянных положениях дроссельной заслонки и при постоянных числах оборотов двигателя таким расчетом, чтобы равномерно охватить весь рабочий диапазон скоростных и нагрузочных режимов.

Возможно определение данных регулировочных характеристик и для частичных нагрузок и при постоянных значениях эффективной мощности двигателя, включая нулевую ее величину. Однако практического распространения такой метод также не получил, несмотря на его принципиальные преимущества.

10. **Детонационная характеристика**, применяющаяся при лабораторных испытаниях для определения необходимого октанового числа (ОЧ) топлива и оценки его.

Детонационная характеристика представляет собой зависимость наименьшего октанового числа ОЧ топлива, при котором двигатель работает совершенно без детонации при полном открытии дроссельной заслонки, от числа оборотов двигателя. Если эта характеристика определена из расчета получения максимальной мощности, т.е. при наивыгоднейшем опережении зажигания, то она называется оптимальной и характеризует наивысшие требования к октановому числу топлива для данного двигателя. Так как такие высокие требования необходимы только для работы при полном открытии дроссельной заслонки, а при уменьшении нагрузки они быстро снижаются, то обычно определяют еще несколько детонационных характеристик – для более позднего зажигания, при котором происходит снижение максимальной мощности двигателя на 1–2 % и более. Это дает возможность пользоваться топливом с заведомо недостаточным октановым числом, при некотором ухудшении максимальных мощностных параметров двигателя или с детонацией на некоторых режимах.

Таким образом, все виды основных характеристик, по которым оценивают рабочие показатели автомобильного карбюраторного двигателя, могут быть разделены на три основные группы.

1. **Скоростные характеристики**, т.е. характеристики, определяющие зависимость различных показателей двигателя от числа его оборотов; к ним относятся внешняя, внутренних потерь, частичные, нагрузочная скоростная, холостого хода, принудительного холостого хода и детонационная.

2. **Нагрузочные характеристики**, т.е. характеристики, определяющие зависимость различных показателей двигателя от его нагрузки при постоянных числах оборотов.

3. **Регулировочные характеристики,** т.е. характеристики, определяющие зависимость различных показателей двигателя от какого-либо параметра, подлежащего предварительному подбору (например, от состава горючей смеси, опережения зажигания и т. п.).

2.2. Классификация и содержание испытаний двигателей

Методы стендовых испытаний тракторных и комбайновых двигателей регламентированы ГОСТ 18509-88 «Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний», а испытание автомобильных двигателей – ГОСТ 14846-81 «Двигатели автомобильные.

Методы стендовых испытаний». В соответствии с этими ГОСТ различают следующие виды испытаний двигателей:

– **приемосдаточные испытания.** Эти испытания проводят с целью контроля качества изготовления, сборки и регулировки дизелей. Во время этих испытаний определяют мощность и расход топлива на номинальной частоте вращения и полной подаче топлива и при максимальной частоте вращения холостого хода;

– **периодические кратковременные испытания**. Эти испытания преследуют целью контроль соответствия основных параметров дизелей, находящихся в производстве, техническим условиям. В состав этих испытаний входят снятие регуляторной характеристики, определение минимально устойчивой частоты вращения холостого хода, выявление расхода масла на угар;

– **периодические длительные испытания.** Испытания выполняют для контроля стабильности параметров и безотказности в стендовых условиях дизелей, находящихся в производстве. Эти испытания занимают 800 ч и состоят из 200 повторяющихся 4-часовых циклов;

– **типовые испытания** проводят, чтобы проверить эффективность изменений, внесенных в конструкцию или технологию изготовления, которые влияют на параметры дизелей, указанные в технических условиях. Эти испытания выполняют по программе периодических кратковременных испытаний и по специальной программе, согласованной с потребителем;

– **предварительные испытания** проводят с целью контроля качества изготовления опытных образцов или опытных партий дизелей, предъявляемых на ведомственные, межведомственные и государственные испытания.

Испытания проводятся в следующем объеме:

а) определение параметров, указанных в технических условиях;

б) по программе периодических длительных испытаний;

в) по специальной программе, составленной предприятием изготовителем;

– **аттестационные испытания** проводят, чтобы определить технический уровень дизелей, находящихся в производстве, и подготовить их к государственной аттестации качества. Испытания ведут по программе периодических длительных испытаний и по специальной программе, согласованной с потребителем;

– **граничные испытания** преследуют целью определение границ допустимых значений параметров дизелей при воздействии заданных факторов.

Объем типовых испытаний автомобильных двигателей определяется ГОСТ 14846-81.

Во время испытаний измеряют целый ряд параметров, основными из которых являются следующие: крутящий момент $M_к$, Н м (кгс м); частота вращения n, об/мин; расход топлива $G_Т$, кг/с; расход воздуха $G_В$, поступающего в цилиндры двигателя, кг/с; давление $B_{окр}$ – давление окружающей среды (барометрическое), $p_г$ – в выпускном коллекторе, $p_м$ – масла в главной масляной магистрали, МПа (кгс/см^2); температура $t_{окр}$ – окружающего воздуха, $t_г$ – отработавших газов в выпускном коллекторе, $t_ж$ и t_m – охлаждающей жидкости соответственно на входе в двигатель и на выходе из него, °С; дымность отработавших газов K, %; установочный угол опережения впрыска топлива или зажигания θ, град.

По измеренным параметрам подсчитывают величины, оценивающие динамические, экономические и другие показатели работы двигателя. Основными из них являются следующие: среднее эффективное давление P_e, МПа (кгс/см^2); эффективная мощность N_e, кВт (л.с.); часовой расход топлива $G_Т$, кг/ч; удельный расход топлива g_e, мкг/Дж, г/кВт ч (г/л·с·ч); крутящий (момент $M_к$ в режиме номинальной мощности, Н м (кгс м); эффективный к.п.д. η_e; условное среднее давление механических потерь $p_{мп}$, МПа (кгс/см^2); условный механический к.п.д. $\eta_м$; коэффициент избытка воздуха α; коэффициент наполнения η_V.

2.3. Основные параметры и формулы, используемые при обработке результатов испытания двигателей

Таблица 2.1

Основные термины, обозначения и расчетные формулы, используемые при обработке экспериментальных данных стендовых испытаний и оформлении лабораторных работ

№ п/п	Наименование параметра	Обозначение и размерность	Расчетная формула
1	2	3	4
1.	Показание весового механизма обкаточно-тормозного стенда	$P_Т$, кГм	–
2.	Время расхода дозы топлива за опыт	Δτ, с	–
3.	Доза расхода топлива за опыт	$\Delta G_Т$, г	–
4.	Барометрическое давление окружающего воздуха	B_o, МПа (мм рт.ст.)	–

Продолжение табл. 2.1

1	2	3	4
5.	Давление масла в системе смазки двигателя	$P_м$, МПа (кг/см^2)	–
6.	Температура масла в картере двигателя	$t_м$, °С	–
7.	Температура жидкости в системе охлаждения ДВС	$t_ж$, °С	–
8.	Подача топлива дизелем за цикл	$\Delta G_ц$, г/цикл	$\Delta G_ц = \frac{2 \cdot \Delta G_Т}{n_e}$
9.	Температура выхлопных газов	$t_г$, °С	–
10.	Угол опережения зажигания или подачи топлива	θ^o п.к.в.	–
11.	Низшая теплотворная способность топлива	Hu, МДж/кг	Для бензина Hu = 44, а для дизельного топлива Hu = 42
12.	Рабочий объем всех цилиндра ДВС	V_h, л	–
13.	Число цилиндров ДВС	z	–
14.	Тактность двигателя	$\tau_{дв}$	Для 4-х такт. = 4 Для 2-х такт. = 2
15.	Частота вращения коленчатого вала	n_e, об/мин (мин$^{-1}$)	–
16.	Эффективная мощность ДВС	N_e, кВт	$N_e = \frac{P_Т \cdot n_e}{1000}$
17.	Индикаторная мощность ДВС	N_i, кВт	$N_i = N_e + N_м$
18.	Условная мощность механических потерь	$N_м$, кВт	$N_м = \frac{N_e \cdot (1 - \eta_м)}{\eta_м}$
19.	Среднее эффективное давление	P_e, МПа	$P_e = \frac{30 \cdot \tau_{дв} \cdot N_e}{V_h \cdot n_e \cdot z}$
20.	Крутящий момент двигателя	M_e, Н·м	$M_e = \frac{9554 \cdot N_e}{n_e}$
21.	Часовой расход топлива	$G_Т$, кг/ч	$G_Т = 3{,}6 \cdot \frac{\Delta G_Т}{\Delta \tau}$
22.	Удельный расход топлива	g_e, г/(кВт·ч)	$g_e = \frac{G_T \cdot 1000}{N_e}$
23.	Температура окружающего воздуха	t_0 °С	–
24.	Часовой расход топлива на холостом ходу	$G_Т^{х.х}$, кг/ч	–
25.	Часовой расход топлива при работе двигателя под нагрузкой	$G_Т^{Н}$, кг/ч	–
26.	Расход воздуха действительный	$G_{в.д}$, кг/ч	$G_{в.д} = A \cdot \sqrt{H \cdot \rho_в}$, $A = 16000 \cdot f \cdot \varphi$

Окончание табл. 2.1

1	2	3	4
27.	Площадь проходного сечения сопла на впуске воздуха в двигатель	f, м^2	$f = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$
28.	Коэффициент расхода воздуха через сопло дифузора	φ	0,8–0,9
29.	Перепад давления в сопле	H, Па (мм вод.ст.)	–
30.	Плотность воздуха приведенная к условиям испытаний	$\rho_в$, кг/м^3	$\rho_в = \rho \cdot \frac{B_о \cdot 273}{760 \cdot T_о}$ $\rho = 1{,}293$
31.	Коэффициент избытка воздуха	α	$\alpha = \frac{G_{В.Д.}}{G_{В.Т.}}$
32.	Теоретически необходимое количество воздуха для полного сгорания топлива	$G_{в.т}$, кг/ч	$G_{в.т.} = G_т \cdot 14{,}5$
33.	Масса воздуха, которая поступила бы в двигатель при отсутствии подогрева и потерь при всасывании	$G_о$, кг/ч	$G_о = \frac{V_h \cdot n_e \cdot 30}{1000} \cdot \rho_в$
34.	Коэффициент наполнения	η_V	$\eta_V = \frac{G_{в.д}}{G_о}$
35.	Эффективный к.п.д.	η_e	$\eta_e = \frac{3600}{H_u \cdot g_e}$
36.	Механический к.п.д.	$\eta_н$	$\eta_м = \frac{N_e}{N_i} = 1 - \frac{G_Т^{х.х}}{G_Т^{Н}}$
37.	Индикаторный к.п.д.	η_i	$\eta_i = \frac{\eta_e}{\eta_м}$

2.4. Приведение параметров двигателя к стандартным атмосферным условиям

Величины расхода топлива, мощности и крутящего момента двигателя зависят от атмосферных условий, при которых проводились испытания. При увеличении температуры и уменьшении давления окружающей среды уменьшается плотность, а, следовательно, и масса свежего топливо-воздушного заряда, поступающего в цилиндр. Это приводит к снижению мощности двигателя. Кроме того, атмосферные условия (давление, температура и влажность) влияют на протекание рабочего цикла двигателя. Поэтому для сравнения результатов испытаний двигателей, полученных в разных атмосферных условиях,

их показатели на определенных режимах приводят к стандартным атмосферным условиям.

За стандартные атмосферные условия в соответствии с ГОСТ 14846-81 принимают: барометрическое давление 100 кПа, температуру воздуха +25 °С, относительную влажность воздуха – 50 %.

При выполнении лабораторных работ к стандартным условиям приводятся значения мощности (крутящего момента) двигателя при полном открытии дросселя.

Это приведение осуществляют путем умножения мощности (крутящего момента) на поправочный коэффициент K_N , величина которого определяется соотношением

$$K_N = (100/B_0)\cdot(T_0/298)^{0,5},$$

где B_0 – атмосферное давление, кПа; В;

T_0 – абсолютная температура воздуха на впуске, К.

2.5. Основные правила стендовых испытаний ДВС

Основные правила стендовых испытания двигателей включают в себя следующее:

1. Техническое состояние двигателя, контрольно-испытательная аппаратура (КИА), приспособлений и приборов за время испытаний не должны претерпевать значительных изменений. Например, новый двигатель должен пройти обкатку в полном объёме согласно рекомендациям завода-изготовителя. В случае проведения продолжительных испытаний необходим промежуточный контроль состояния всей испытательной установки, включая приборы и КИА. Кроме того, перед испытанием целесообразно проводить снятие контрольной точки на заранее установленном режиме работы двигателя.

2. Вся КИА и приборы необходимо предварительно проверить или протарировать.

3. Точность измерений оборудования для стендовых испытаний двигателей должны соответствовать следующим значениям: крутящий момент ±1 %, частота вращения коленчатого вала двигателя ±1 %, расход топлива (жидкого и газообразного) ±1 %.

4. Выдержка до начала замера, при установившемся режиме, должна быть не менее 1 мин для автомобильных и не менее 3 мин для тракторных двигателей. Режим считается установившимся, если температура выхлопных газов остается постоянной.

5. Замер каждой опытной точки, по продолжительности, должен быть не менее 1,5 мин. Количество замеров должно быть не менее 3-х раз.

6. Для построения каждой характеристики двигателя снимается не менее семи-восьми равномерно расположенных точек, а в области максимальных и минимальных значений показателей работы или экономичности двигателя интервалы между точками рекомендуется сокращать. Для регуляторной характеристики рекомендуется снимать не менее десяти точек, причем не менее шести точек на регуляторной ветви.

7. Нормальный тепловой режим в обычных условиях испытания определяется температурой охлаждающей жидкости, при выходе из двигателя которая должна быть в пределах 75–90°С, и температурой масла – 80–95°С, измеряемой в картере на уровне маслоприемника (сухом картере – в масляном баке).

8. Скоростная характеристика снимается от минимальной частоты вращения вала двигателя, соответствующей устойчивой работе, до 1,1 номинальной частоты вращения.

9. При снятии нагрузочной характеристики от холостого хода до полной нагрузки устанавливается частота вращения коленчатого вала двигателя кратная 100.

10. Точность подсчета результатов испытаний проводится до трех значимых цифр.

11. Общие испытания двигателей проводятся только на сортах топлива и масла, рекомендуемых заводом-изготовителем.

12. По результатам испытаний необходимо построить графики зависимостей. При значительных отклонениях точек от вероятного расположения испытания повторить.

2.6. Подготовка двигателя к стендовым испытаниям

Двигатель, предназначенный для стендовых испытаний, должен пройти тщательную подготовку. Новый двигатель или двигатель, поступивший из ремонта, должен пройти, согласно заводской инструкции, холодную и горячую обкатку. В случае отсутствия инструкции на обкатку, ее можно провести в следующих режимах:

35 % n $N_{e\,max}$ мин$^{-1}$	при холостом ходе	30 мин
50 % n $N_{e\,max}$ мин$^{-1}$	при нагрузке 15 %	30 мин
65 % n $N_{e\,max}$ мин$^{-1}$	при нагрузке 20 %	60 мин
70 % n $N_{e\,max}$ мин$^{-1}$	при нагрузке 30 %	60 мин
80 % n $N_{e\,max}$ мин$^{-1}$	при нагрузке 35 %	60 мин
70 % n $N_{e\,max}$ мин$^{-1}$	при нагрузке 40 %	60 мин
85 % n $N_{e\,max}$ мин$^{-1}$	при нагрузке 50 %	1500 мин
	Итого:	1800 мин

Обкатку целесообразно проводить на маловязком сорте моторного масла, а после 5-10-и часового периода работы двигателя необходимо произвести замену масла. После обкатки двигатель должен подвергнуться тщательному внешнему осмотру с последующим выполнением следующих операций:

1. Провести контроль затяжки резьбовых соединений на двигателе и испытательном стенде;

2. Проверить и отрегулировать тепловые зазоры в системе газораспределения двигателя;

3. Проверить давление сжатия (компрессию) во всех цилиндрах двигателя;

4. Отрегулировать карбюратор, согласно инструкции завода-изготовителя, карбюраторного бензинового двигателя. Для дизельного двигателя – проверить работу ТНВД на равномерность подачи топлива;

5. Проверить и отрегулировать затяжку пружин форсунок дизельного двигателя на необходимое давление впрыска, при необходимости. В карбюраторном бензиновом двигателе отрегулировать зазоры между электродами свечей зажигания и в прерывателе-распределителе;

6. Проверить и при необходимости установить опережение зажигания в карбюраторном бензиновом двигателе, а в дизельном двигателе – начало впрыска топлива;

7. Проверить работу редукционного клапана системы смазки двигателя;

8. Все вспомогательное оборудование смазать согласно заводской инструкции;

9. Проверить правильность установки приборов и КИА;

10. Проверить и при необходимости отрегулировать соосность установки «двигатель – тормозное устройство стенда»;

2.7. Организация лабораторных испытаний двигателя

Лабораторные занятия проводятся под непосредственным руководством и наблюдением преподавателя. Занятия студентов, участвующих в испытании двигателя, должны быть построены с учетом их наибольшей самостоятельности. Тему и содержание предстоящих лабораторных работ студенты узнают заранее по графику, из краткого сообщения преподавателя в конце каждого занятия. При этом сообщается основная цель предстоящих занятий, особенности методики исследований, а так же литература для самостоятельной работы.

В начале каждого занятия в течение 10–20 мин преподаватель проводит собеседование со студентами и выясняет степень их подго-

товленности к самостоятельным занятиям. Студенты, теоретические знания которых по предстоящей лабораторной работе недостаточны, к самостоятельному выполнению работ не допускаются.

После собеседования из группы студентов выбирается старший, который распределяет студентов по рабочим местам, объясняет им их роль и проводит испытания двигателя.

Преподаватель контролирует и руководит действиями студентов у рабочих мест и в случае необходимости поправляет их.

Рабочие места при испытании двигателя распределяется следующим образом:

1. Старший студент (центральный пульт управления): запись в журнал испытаний показаний приборов, контролирующих работу двигателя.
2. Регулировка теплового состояния двигателя по температуре охлаждающей жидкости на выходе из головки цилиндров и по температуре масла в картере.
3. Регулировка нагрузки и скоростного режима двигателя.
4. Измерение и запись показаний нагрузки по динамометру тормозной установки стенда.
5. Измерение и запись времени расхода топлива.
6. Измерение и запись расхода охлаждающей жидкости из системы охлаждения.
7. Запись показаний манометра для определения расхода воздуха.
8. Запись по вакуумметру разрежения на всасывающем патрубке.
9. Измерение и запись частоты вращения коленчатого вала двигателя.
10. Пост индицирования двигателя.
11. Пост анализа отработавших газов.
12. Пост измерения угла опережения зажигания или угла опережения впрыска топлива.
13. Пост обработки результатов испытаний двигателя и построение контрольных графиков (1–2 студента).

Приведенное количество постов распределяется между 10–12 студентами, составляющими подгруппу. Проведение занятий с числом студентов свыше 10–12 человек не целесообразно из-за возможного ухудшения качества обучения.

Расставив студентов по рабочим местам, старший по подгруппе студент запускает и прогревает двигатель до оптимальной температуры, а преподаватель в это время с другими студентами проводит тренировочные замеры и проверяет их умение обращаться с измерительной аппаратурой.

При достижении оптимальной температуры старший студент устанавливает контрольный режим испытания двигателя и подает условные сигналы «приготовиться» и затем – «контрольный замер».

Все показания приборов и КИА, кроме центрального пульта, студенты в произвольной форме заносят на отдельные листы бумаги и указывают номер замера. В случае необходимости старший студент заносит в протокол свои примечания, например: «двигатель, работает неустойчиво», «детонация» и т.д.

По окончании испытания двигателя студенты обрабатывают записи своих наблюдений с учетом поправки по паспортам приборов, определяют числовые значения и занося их в протокол испытаний.

2.8. Инструкция по техника безопасности при проведении лабораторных работ, связанных с испытанием двигателя

Испытание двигателей связано с источниками повышенной опасности, а именно: возможность воспламенения топливо-смазочных материалов, высокое напряжение в системе запуска тормозного стенда и опасность поражения током в системе питания электротормоза; наличие токсичных продуктов сгорания в отработавших газах; вращающиеся детали двигателя и тормоза; наличие горячих трубопроводов выпускной системы двигателя и охлаждения.

В целях обеспечения безопасности и исключения несчастных случаев во время испытания двигателей студенты проходят обязательный инструктаж по технике безопасности. Инструктаж проводится на первом лабораторном занятии при ознакомлении с оборудованием лаборатории и регистрируется в специальном журнале. Студенты, не прошедшие инструктажа по технике безопасности, к работе в лаборатории двигателей не допускаются.

Все студенты обязаны выполнять следующие правила по технике безопасности:

– категорически запрещается курить и пользоваться открытым огнем в помещении лаборатории;

– запрещается включение приборов, кнопочных включателей, рубильников, вращение вентилей, передвижных рычагов управления и другие действия без указания преподавателя или учебного мастера;

– запрещается непосредственная работа на испытательной установке лицам, имеющим развевающиеся концы одежды (полы халата, платья, шарфы);

– запрещается проводить любые испытания одному;

– перед пуском двигателя необходимо включать устройство для приточной и вытяжной вентиляции помещения лаборатории;

– запрещается засасывание топлива ртом в шланг и продувка ртом трубопроводов;

– при пуске двигателя и во время его работы запрещается находиться в плоскостях вращения ротора тормоза и соединительных муфт даже при наличии ограждения, а также в плоскости вращения шкивов двигателя;

– запрещается прикасаться к вращающимся деталям двигателя, к выпускному коллектору и выпускному газопроводу установки;

– при появлении ненормальных стуков и шумов в двигателе, тормозной установке или соединительной муфте, а также при значительном падении давления масла двигатель необходимо перевести на режим холостого хода путем снижения подачи топлива с одновременным полным снятием нагрузки. После охлаждения двигатель следует остановить для выяснения причин и устранения возникших неисправностей;

– в аварийных ситуациях и при возникновении пожара двигатель должен быть немедленно остановлен, даже под нагрузкой;

– по окончании работы необходимо отключать топливные баки, рубильники силовой сети и закрывать краны водопроводной магистрали;

– заправку топливного бака производить только при неработающем двигателе;

– не допускается подтекание топлива в топливопроводах, баках и приборах системы питания двигателя, а также загрязнение последнего топливом и маслом;

– нельзя оставлять в лаборатории загрязненные обтирочные материалы и хранить топливо и тару из-под топлива;

– запрещается протирать двигатель или другие механизмы тормозной установки бензином, а также мыть бензином руки или чистить им одежду.

2.9. Лабораторный практикум по испытанию ДВС

Лабораторная работа № 2.1
ОБЩЕЕ УСТРОЙСТВО ТОРМОЗНОГО СТЕНДА

Цель работы: изучить устройство, принцип работы, требования, предъявляемые к обкаточно-тормозным стендам марки КИ.

Задачи работы

1. Ознакомиться с технической характеристикой тормозного стенда и общим устройством.
2. Изучить устройство и принцип работы тормозного стенда.
3. Изучить меры безопасности при работе тормозного стенда.
4. Изучить основные неисправности, которые могут возникать при работе стенда.
5. Изучить контрольно-измерительные приборы, применяемые в ходе стендовых испытаний.

Материальная часть

Стенд КИ-5543 предназначен для проведения обкатки и испытания автотракторных двигателей. КИА и приборы: расходомер топлива, дифференциальные манометры, термометры, манометры часового типа, секундомер.

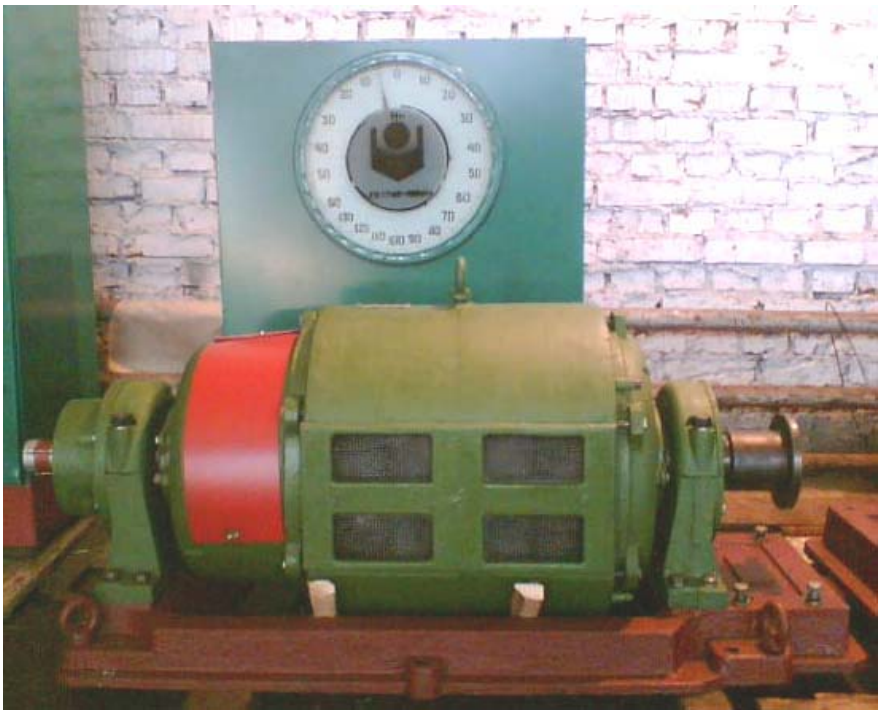


Рис. 2.1. Стенд обкаточно-тормозной КИ-5543

Рис. 2.2. Пусковой реостат для тормозного стенда КИ-5543

Рис. 2.3. Подставка под ДВС для тормозного стенда КИ-5543

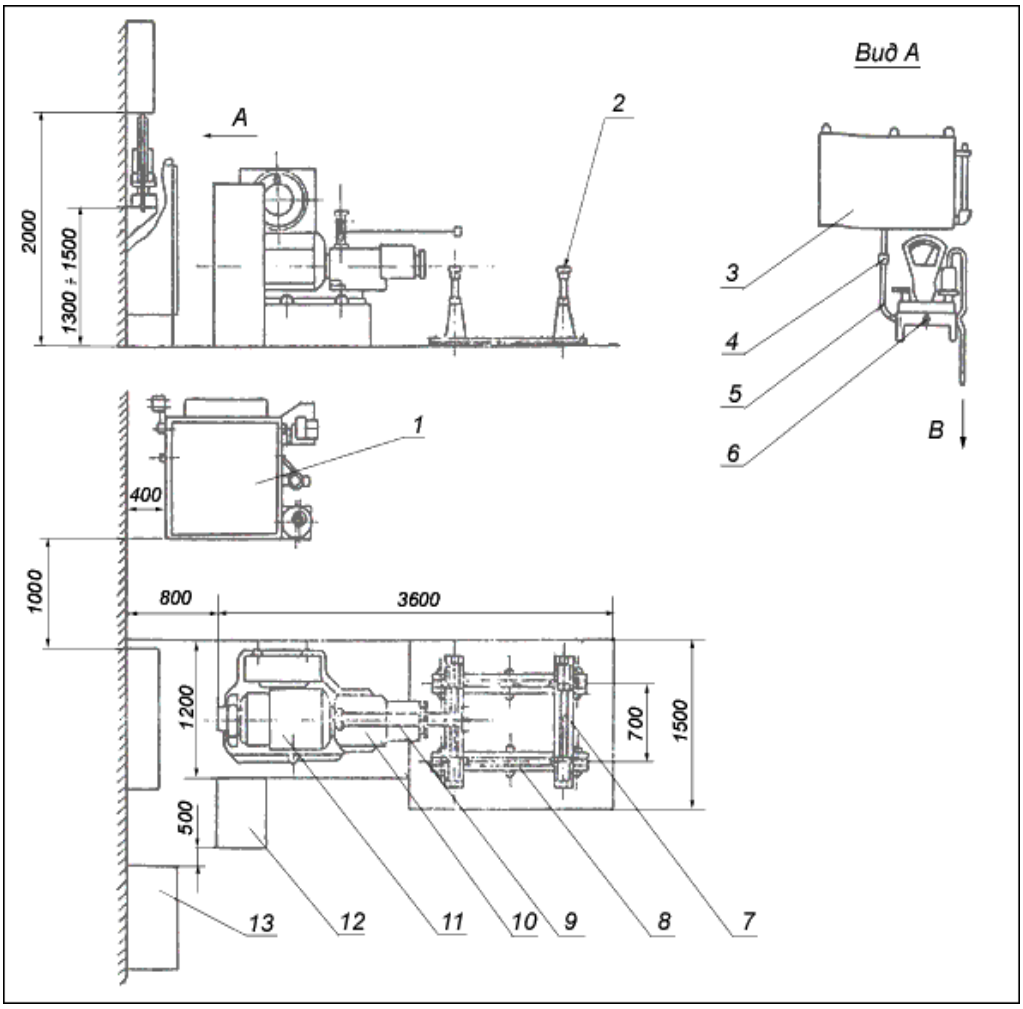


Рис. 2.4. Монтажная схема стенда КИ-5543:
1 – реостат; 2 – стойка; 3 – бак для топлива; 4 – кран муфтовый;
5 – трубопровод; 6 – устройство для определения расхода топлива;
7 – плита поперечная; 8 – плита продольная; 9 – тяга; 10 – ограждение;
11 – электромашина с динамометром; 12 – стойка приборная;
13 – электрошкаф

Техническая характеристика стенда КИ-5543

Полное условное обозначение стенда: «Стенд обкаточно-тормозной КИ-5543 ГОСНИТИ ТУ 70.0001.702-79».

Таблица 2.2

Технические данные тормозного стенда КИ-5543

№ п/п	Наименование показателя, единицы измерения	Норма
1	2	3
1	Питающая сеть	
	напряжение, В	380
	частота тока, Гц	50

Окончание табл. 2.2

1	2	3
2	Электромашина тип	балансирная, асинхронная с фазовым ротором
	марка	АКВ-82-4УЗ
	мощность, кт	55
	синхронная частота вращения ротора, об/мин	1500
3	Диапазон регулирования частоты вращения ротора электромашины, об/мин	
	в режиме двигателя (холодная обкатка)	600 – 1440
	в режиме генератора	1700 – 3000
4	Измерение частоты вращения вала испытуемого двигателя, тип	Тахометр электрический дистанционный
	пределы измерений, об/мин	300 – 3000
	основная погрешность, %	±1
	тип	цифровой
	пределы измерений, об/мин	50 – 9999
	основная допустимая погрешность, об/мин.	±2
5	Наибольшая тормозная мощность стенда при 3000 об/мин, л. с.	150
6	Регулировочный реостат	
	тип	Жидкостный. Охлаждение бака проточной водой
	вместимость бака, л	300
7	Номинальный измеряемый крутящий момент, кгс, м	40
8	Силоизмерительный механизм	
	тип	маятниковый
	пределы измерений по шкале циферблата, кгс	0 – 60
	цена минимального деления шкалы, кгс	0,25
	погрешность силоизмерительного механизма при проверке грузами, масса которых соответствует образцовым гирям 4-го разряда, кгс	0,25
	расчетное плечо, мм	716,2
9	Измерение давления масла	манометр
	верхний предел измерения, кгс/смI	10
	класс точности	1,6
10	Вместимость бака для горючего, л	100
11	Количество обслуживающего персонала, чел.	1
12	Площадь, занимаемая стендом, мI	30
13	Срок службы, лет	5
14	Масса, кг, не более	1810

Устройство и работа стенда

Стенд обкаточно-тормозной КИ-5543 состоит из следующих основных составных частей: динамометра электрического, реостата, электрошкафа, стойки приборной, стоек установочных, плит продольных и поперечных, бака для горючего, весов.

Приведено размещение составных частей стенда, рекомендуемое для испытательной станции ремонтной мастерской. Однако потребитель может, исходя из имеющейся у него площади и технологической планировки испытательной станции, изменить относительное расположение отдельных составных частей стенда.

Динамометр служит для измерения крутящего момента на тормозе. В состав динамометра входит: балансирная электромашина, механизм силоизмерительный, вал карданный и ограждение, смонтированное на плите.

Балансирная электромашина служит в качестве привода при холодной обкатке двигателя и тормозом при горячей обкатке двигателей с нагрузкой при испытании.

Балансирная асинхронная электромашина е фазовым ротором типа АКБ посредством двух опорных цапф подвешена на стойках, закрепленных к общей плите, что позволяет корпусу машины поворачиваться на некоторый угол в обе стороны относительно вала ротора.

При работе электромашины вращающий момент ротора создает реактивный момент на ее статоре, который стремится поворачивать корпус электромашины в противоположном направлении. Так как реактивный момент на статоре равен вращающему моменту ротора, то по реактивному моменту определяется тормозной момент или момент трения при холодной обкатке двигателя, которые замеряются силоизмерительным механизмом. Электромашина работает на стенде в двух режимах: двигательном и генераторном. Двигательный режим работы электромашины используется при холодной обкатке дизельного двигателя, а генераторный – при горячей обкатке двигателя под нагрузкой (в этом случае электромашина используется как электрический тормоз).

В генераторном режиме электромашина начинает работать автоматически, как только ее ротору обкатываемым двигателем сообщается частота вращения, превышающая синхронную (свыше 1500 об/мин). При этом значительная часть механической энергии двигателя внутреннего сгорания преобразуется в электрическую и рекуперируется в питательную сеть.

Для уменьшения сопротивления качания, корпуса электромашины подводки к обмоткам статора и щеткам ротора выполнены из спе-

циальных гибких проводов. Подводка напряжения к электромашине от сети производится через коробку, а подключение реостата – через коробку,

На крышке левой стойки смонтирован датчик дистанционного тахометра, служащего для замера частоты вращения коленчатого вала обкатываемого двигателя. Для более точного замера частоты вращения на стойке приборной имеется цифровой тахометр ТЭСА, бесконтактный датчик, который установлен также на крышке. Вал ротора электромашины соединяется с обкатываемым двигателем посредством карданного вала, позволяющего устанавливать обкатываемый двигатель относительно электромашины с допускаемым смещением осей в пределах ±5 мм. Карданный вал закрыт ограждением, имеющим откидную часть

Механизм силоизмерительный представляет собой механизм маятникового типа, служащий для замера тормозного момента при обкатке двигателей под нагрузкой Момент передается на корпус электромашины, которая связана с механизмом силоизмерительным и демпфером посредством кронштейна. Механизм силоизмерительный смонтирован на стойке, закрепленной на плите.

При повороте корпуса электромашины тяга, связанная с кронштейном, перемещается и поворачивается эксцентриковый вал. На эксцентриковом валу закреплен рычаг с грузом (маятник), который при повороте эксцентрикового вала отклоняется от вертикального положения. Отклонение груза происходит до тех пор, пока момент силы тяжести груза не уравновесит тормозной или крутящий момент. При этом, чем больше момент силы на корпусе электромашины, тем больше угол отклонения маятника. Сектор на эксцентриковом валу находится в зацеплении с малой шестерней, закрепленной на валике. При отклонении маятника стрелка, устанавливаемая на валике, поворачивается и показывает на циферблате усилие, передаваемое от корпуса электромашины. Шкала циферблата протарирована в обе от нулевого значения. По внутренней шкале определяется условно момент противления обкатываемого двигателя при работе электромашины в двигательном режиме, а по наружной шкале значение тормозного момента двигателя в процессе его горячей обкатки с нагрузкой и испытанием.

Демпфер весового механизма служит для гашения колебаний маятника, возникающих при резком изменении нагрузки или напряжения в сети. Демпфер представляет собой цилиндр, внутри которого находится поршень с двумя отверстиями, предназначенными для сообщения надпоршневой и подпоршневой полостей цилиндра.

Поршень шарнирно связан через кронштейн с корпусом электромашины и тягой силоизмерительного механизма, а цилиндр шарнирно соединен с основанием стойки силоизмерительного механизма.

При колебаниях маятника силоизмерительного механизма поршень демпфера перемещается, а находящееся в цилиндре масло по отверстиям в поршне протекает из одной полости в другую. При этом создается сопротивление движению поршня, а следовательно, и качанию маятника.

Реостат жидкостный служит для пуска электромашины балансирной и регулирования частоты вращения ее ротора при холодной обкатке двигателя и регулирования тормозного момента в процессе горячей обкатки и испытания двигателя.

Реостат состоит из бака емкостью. 300 л, наполняемого водным раствором кальцинированной соды. В верхней части бака установлен вал, на котором посредством изоляторов крепятся электроды (секторы). К каждому электроду подсоединяется фаза обмотки ротора и через раствор происходит их замыкание.

Путем погружения электродов в раствор кальцинированной соды можно изменить активное сопротивление в цепи ротора электрической машины и тем самым регулировать частоту вращения или нагрузочный момент на ее валу.

Вал с электродами поворачивается в кронштейнах с помощью электрического исполнительного механизма, соединенного с валом электродов посредством рычага-кривошипа. При повороте вала электроды погружаются в раствор или выводятся из него.

В зависимости от величины площади погружения электродов в раствор изменяется сопротивление обмоток ротора и, следовательно, изменяется частота вращения ротора электромашины или тормозной момент.

В случае выхода из строя электрического привода вал с электродами можно поворачивать вручную посредством рукоятки исполнительного механизма. Груз служит для уравновешивания электродов.

Центробежный насос предназначен для перемешивания раствора с целью уменьшения неравномерности его нагрева и исключения интенсивного испарения. Раствор засасывается насосом из нижней части бака и через отверстия в трубе вновь сливается в бак.

Бак реостата имеет двойные стенки, в пространство между которыми подается вода из водопровода для охлаждения раствора. Подвод холодной воды производится через регулятор температуры, отрегулированный на поддержание температуры раствора в пределах 50–60 °С. Отвод охлаждающей воды производится через патрубок.

Регулятор температуры состоит из термометрической системы и регулируемого клапана. Термометрическая система, внутренняя полость которой герметична и заполнена легкокипящей жидкостью, состоит из датчика, капилляра и сифона. Датчик регулятора устанавливается в баке реостата в любом положении. При отклонении температуры раствора в баке реостата от заданной величины изменяется давление в термометрической системе, сильфон и золотник регулирующего клапана перемещаются, открывая или закрывая доступ холодной воде в рубашку реостата, что приводит к восстановлению заданной температуры раствора реостата.

В нижней части бака имеется колпак для слива раствора. Бак с электродами сверху закрыт кожухом. Провод электропроводов к исполнительному механизму, электродвигателю центробежного насоса и электродам реостата производится через распределительную коробку.

Сверху над распределительной коробкой имеется ограждение, закрывающее токопроводы к электродам. Управление погружением электродов реостата производится дистанционно с панели управления кнопками, расположенными на стойке приборной

Топливо к обкатываемому двигателю поступает из настенного бака, расположенного на высоте около 2 м от уровня пола и снабженного указателем уровня топлива. Из бака при открытом запорном кранике топливо по трубопроводу поступает к трехходовому крану, а затем через трубопровод подводится к двигателю.

Устройство для замера расхода топлива (установка весов) испытываемого двигателя состоит из циферблатных весов с пределом взвешивания 10 кг, установленных на полке, на передней стенке которой смонтирован трехходовой кран. На одной чашке весов при помощи обода установлен стеклянный сосуд, в который по трубопроводу заливается необходимое количество топлива, на другую чашку ставится уравновешивающий груз, масса которого должна уравновешивать стеклянный сосуд в топливо, заполняющее его на 1/6 объема.

Трехходовой кран служит для управления движением топлива. Коническая пробка крана прижимается к корпусу посредством пружины. Поворот пробки осуществляется переключателем, соединенным с пробкой при помощи штока. Для фиксации пробки в требуемом положении на верхнем торце корпуса имеются четыре лунки, в которые устанавливается фиксатор.

С помощью трехходового крана топливо распределяется следующим образом: при положении крана «Двигатель» топливо подается к двигателю из бака; при положении крана «Залив» – топливо подается одновременно в двигатель и по специальном трубопроводу – в стеклян-

ный сосуд на весах; при положении крана «Замер» – топливо подается в двигатель только из сосуда с весов (трубопровод от настенного бака при этом перекрыт); при положении крана «Закрыто» закрыты оба трубопровода – топливо в двигатель не поступает. Таблички, указывающие положение крана, размещены на передней стенке установки для весов.

Приспособление для установки двигателей состоит из закрепляемых на фундаменте двух плит расположенными на них двумя поперечными плитами и 4 стойками. Стойки могут перемещаться по плите как в продольном, так и поперечном направлении. Кроме того, опорные площадки на стойках могут регулироваться по высоте. Благодаря этому конструкция подставок универсальна, т.е. позволяет устанавливать двигатели любых марок.

Стойка приборная служит для размещения в ней аппаратуры дистанционного управления, сигнализации и контрольно-измерительных приборов.

Электрошкаф предназначен для размещения силовой электроаппаратуры, в том числе блока предохранитель-выключатель и сигнальной лампы.

Измерительные устройства и аппаратура для стендовых испытаний

Измерение частоты вращения коленчатого вала

Дистанционное измерение частоты вращения двигателей на современных испытательных стендах осуществляется с помощью импульсных автоматических тахометров типа ТЦ-1, ЦАТ-2М или частотомеров. Принцип работы тахометра основан на преобразовании угловой скорости вращения в электрические импульсы и измерении частоты этих импульсов. В тахометре ТЦ-1 система состоит из индукционного датчика-преобразователя скорости вращения, электронного формирующего устройства и частотомера с блоком автоматики.

Функциональная схема этого тахометра представлена на рис. 2.5. На валу двигателя устанавливается стальной зубчатый диск. Переменный магнитный поток, образующийся при перемещении зубьев диска относительно полюсов магнита датчика, вырабатывает на катушке электрические импульсы, которые, попадая в формирующее устройство ТЦ-1, усиливаются и формируются в прямоугольные. Сформированные импульсы подаются на вход прибора ТЦ-1, который регистрирует на цифровом табло частоту вращения вала двигателя n_e мин$^{-1}$.

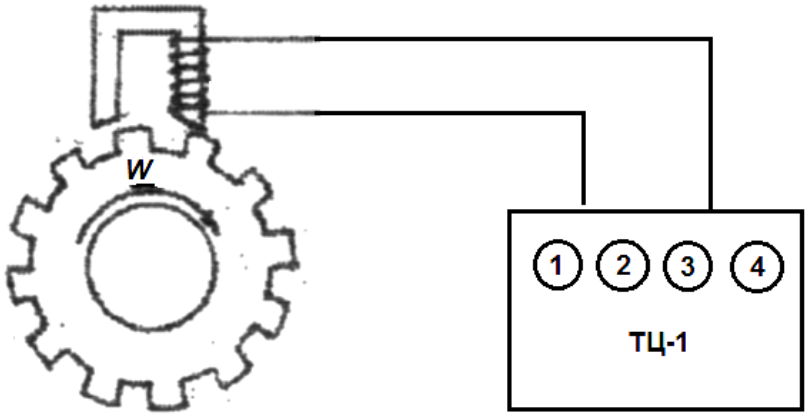


Рис.2.5. Функциональная схема тахометра

Измерение расхода топлива

Принцип замера топлива основан на измерении времени, в течение которого двигатель расходует определенную дозу топлива. Величина дозы выбирается такой, чтобы время замера было не менее 30 с.

Кратность изменения расхода топлива в двигателях составляет величину 25–30. Поэтому для повышения точности измерений без увеличения его продолжительности предусматривается возможность варьирования величиной измеряемой дозы.

Один из наиболее простых и распространенных способов измерения расхода топлива в карбюраторных двигателях основан на измерении времени расхода тарированного объема топлива (рис. 2.6).

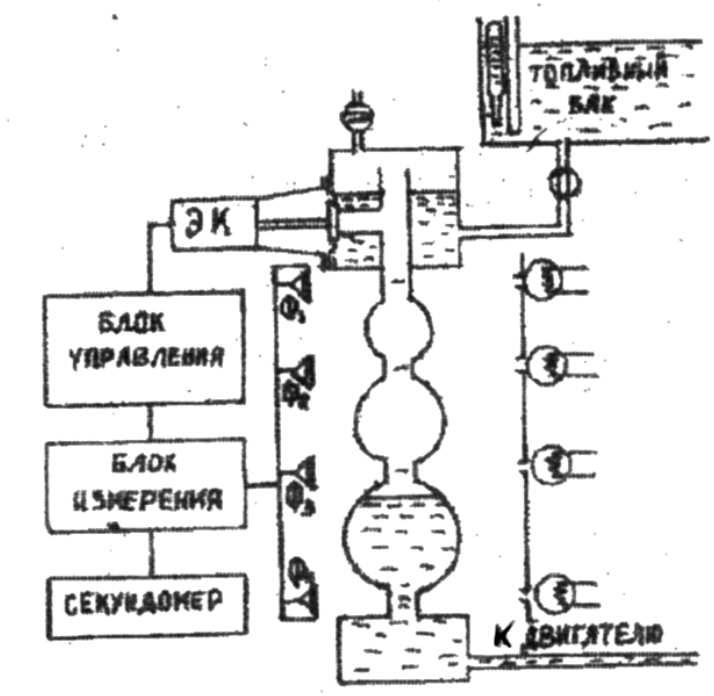


Рис. 2.6. Схема системы замера расхода топлива объемным способом

В исходном состоянии топливо из бака поступает в верхний бачок штихпробера и через открытый клапан сливается в мерную колбу. Уровень топлива в колбах поддерживается автоматически, благодаря герметичности верхнего бачка штихпробера. При необходимости, в зависимости от требуемого для измерения объема дозы, исходный уровень может быть поднят или опущен. Для повышения уровня необходимо выпустить часть воздуха из верхнего бачка с помощью воздушного крана. Для понижения уровня необходимо перекрыть топливный кран бака и открыть воздушный кран штихпробера. Когда уровень понизится до заданного, перекрывают воздушный кран н открывают топливный. При осуществлении замера кнопкой «пуск» включается электромагнитный клапан, который перекрывает поступление топлива через боковой вход, в трубу мерной колбы. Опускающийся мениск топлива в колбах пересечет ближайший луч от осветителя на фоторезистор. Этот сигнал включает через блок измерения секундомер. Пересечение мениском топлива последующей пары осветитель-фоторезистор остановит секундомер и одновременно выключит электромагнитный клапан. Уровень топлива возвратится в первоначальный, и штихпробер будет вновь готов к последующему измерению. Результат измерения высвечивается на табло секундомера до тех пор, пока не выключена кнопка «пуск». Поскольку расход топлива измеряется в весовых единицах, а плотность топлива зависит от его сорта и температуры, система замера снабжена колодцем, в котором установлен нефтеденсиметр.

Использование объемного способа измерения расхода для дизельных топлив нецелесообразно вследствие повышенной вязкости и смачиваемости и, соответственно, повышенной погрешности измерений из-за значительной доли топлива, остающейся на стенках колбы. Поэтому при использовании дизельных топлив применяют исключительно весовой способ (рис. 2.7).

Расходный сосуд, устанавливаемый на левой чаше весов, в положении «готов» уравновешен грузом правой чашки так, чтобы осветитель, распложенный на стрелке, подал световой сигнал на фотоэлемент $Ф_к$, это позволит электромагнитному клапану (ЭК) открыть кран, и топливо будет наполнять мерный сосуд до момента подачи светового сигнала на $Ф_к$. Таким образом, при отсутствии замера стрелка с осветителем будет колебаться около фотоэлемента $Ф_к$, поддерживая постоянный уровень в мерном сосуде при работающем двигателе.

При нажатии кнопки «пуск» фотоэлемент блокируется, по мере расхода топлива стрелка перемещается вправо и при подаче сигнала на $Ф_0$ включает секундомер. Дальнейшее перемещение осветителя из-за

расходования топлива до ближайшего фотоэлемента (например, $Ф_1$) остановит секундомер, откроет ЭК и разблокирует $Ф_к$. Топливо заполнит мерный сосуд до первоначального уровня «готов».

Каждый из фотоэлементов соответствует определенной навеске топлива, выбор которой (или их комбинаций) определяется режимом работы двигателя. Следует отметить, что точность и стабильность результатов у рассматриваемой схемы в определенной мере определяются характеристикой весов.

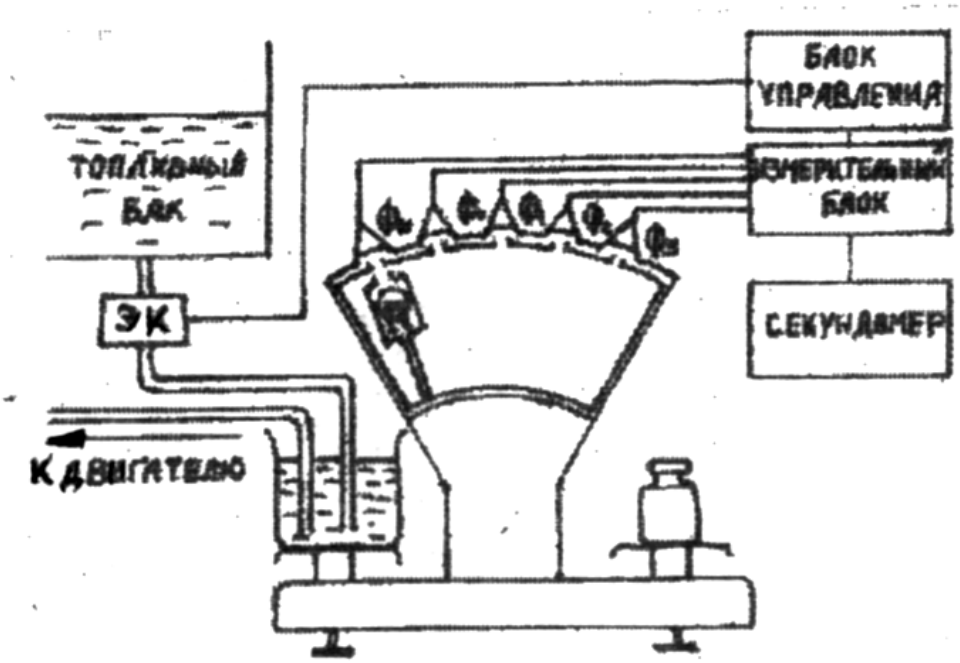


Рис. 2.7. Схема системы замера расхода топлива весовым способом

Измерение расхода воздуха

Наибольшее распространение для измерения расхода воздуха в настоящее время получили объемные расходомеры роторного типа (рис. 2.8). Под действием перепада давления на входе и на выходе из расходомера его роторы, связанные между собой синхронизирующей парой шестерен, вращаются, вытесняя за каждый оборот мерный объем воздуха.

Для измерения мгновенного расхода воздуха газовый счетчик оборудован импульсным счетчиком, состоящим из диска с отверстиями, связанного с валом одного из роторов, осветителем и фотоэлементом. Сигнал от фотоэлемента подается в формирователь импульсов для придания им прямоугольной формы и далее в частотомер или измеритель частоты вращения типа ТЦ-1. Количество отверстий в диске выбрано, исходя из величины мерного объема счетчика таким

образом, что частотомер показывает расход воздуха в $м^3$/ч. Гидравлическое сопротивление счетчика, как правило, невелико и не превышает 10–20 мм водяного столба.

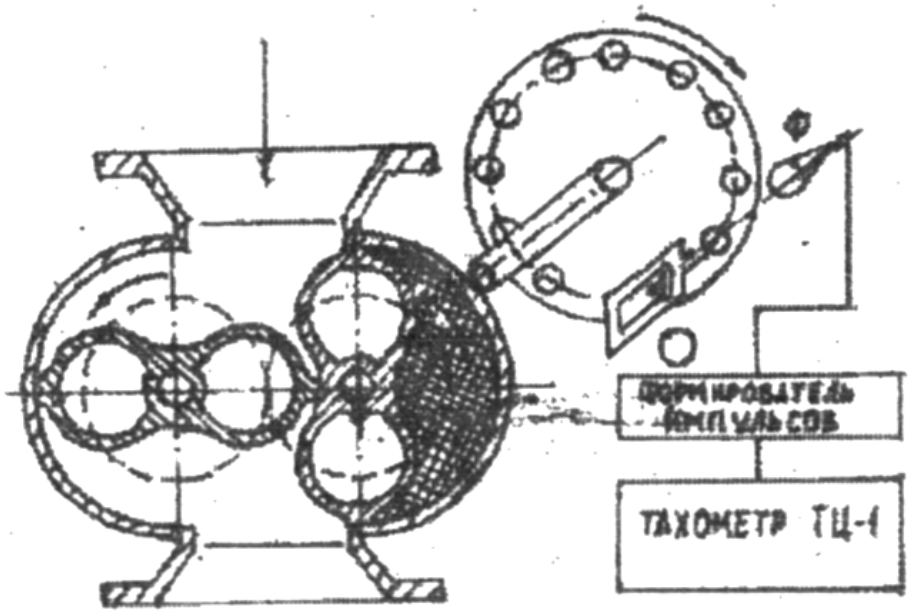


Рис.2.8. Схема системы измерения расхода воздуха

Поскольку кратность максимально допустимого расхода относительно порога чувствительности не превышает 10, для больших и средних расходов включается газовый счетчик РГ-250, а на режиме холостого хода – РГ-40.

Определение токсичности и дымности отработавших газов

Для определения содержания окиси углерода CO и углекислого газа CO_2 при стендовых испытаниях двигателей используются оптико-акустические газоанализаторы типа ОА. Действие оптико-акустических газоанализаторов основано на измерении поглощения анализируемым газом инфракрасной радиации. Известно, что многоатомные газы, имеющие хотя бы два разнородных атома в молекуле (CO_2, CO, NO_x и др.), обладают наибольшей способностью поглощать лучистую энергию (радиацию), причем в строго определенных для каждого газа спектрах (интервалах длин волн). Это позволяет определять содержание отдельных компонентов в сложных газовых смесях отработавших газов, независимо от концентрации других ее компонентов.

Механизм действия оптико-акустических газоанализаторов основан на использовании явления разогрева газа при поглощении радиации и охлаждения его, когда действие лучей прекращается. Степень

поглощения радиации зависит от концентрации измеряемого компонента в анализируемой газовой смеси.

В качестве измерительной схемы в приборах ОА использована дифференциальная оптическая схема с непосредственным отсчетом (рис. 2.9).

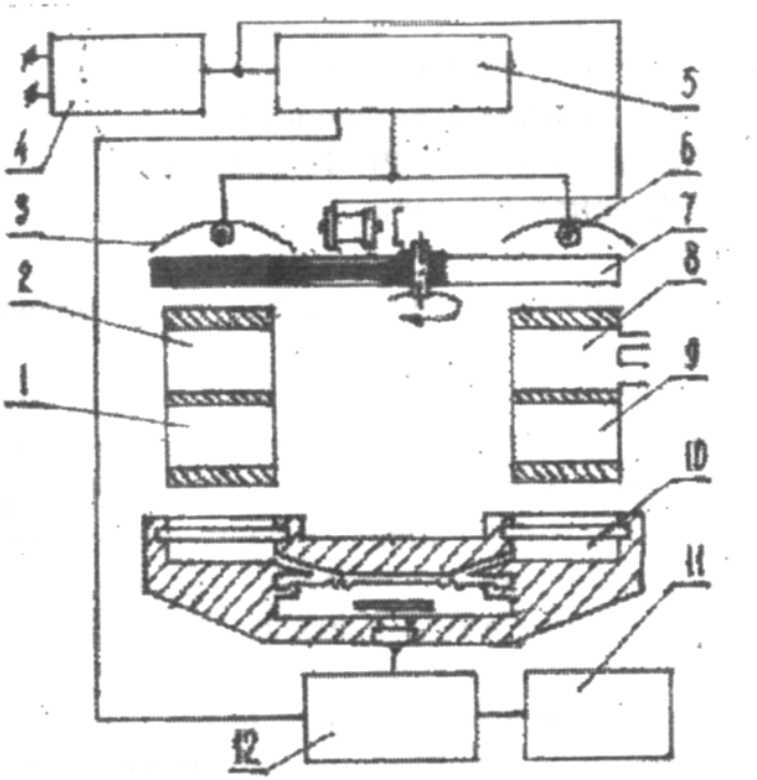


Рис.2.9. Оптическая и измерительная схема газоанализаторов типа АО

Источником инфракрасной радиации являются два нихромовых излучателя 6. Потоки инфракрасной радиации, отражаясь от металлических параболических зеркал 3, поступают в два оптических канала. Оба потока поочередно прерываются обтюратором 7 с частотой 5 Гц. В правом канале поток прерывистой радиации проходит через рабочую 8 и фильтровую 9 камеры и поступает в правый лучеприемник мерной камеры 10. В левом канале поток прерывистой радиации проходит сравнительную 2 и фильтровую 1 камеры и поступает в левый лучеприемник мерной камеры 10.

Через рабочую камеру непрерывно проходит анализируемая смесь. Сравнительная камера заполнена очищенным азотом. Фильтровые камеры служат для влияния на показания газоанализатора неизмеряемых компонентов, присутствующих в анализируемой газовой смеси, и заполняются газовыми смесям, содержащими только неизмеряемые компоненты. Мерная камера заполнена смесью определяемого компонента с аргоном. Последнее обеспечивает избирательность анализа, так как в

объеме мерной камеры колебания температуры и давления газа будут возникать только за счет поглощения инфракрасной радиации, соответствующей спектру поглощаемого компонента. При поступлении прерывистой радиации в правый и левый лучеприемники мерной камеры в них возникают колебания температуры и давления, которые воспринимаются конденсаторным микрофоном, находящимся в мерной камере. При этом колебания давления в правом лучеприемнике будут сдвинуты по времени и по фазе на половину периода оборота обтюратора (*механическое устройство для периодического перекрывания светового потока*) по отношению к колебаниям давления в левом лучеприемнике. При равенстве потоков радиации, поступающих в лучеприемники, мембрана конденсаторного микрофона, воспринимающая сумму давлений, возникающих в правом и левом лучеприемниках, будет находиться в покое, так как в этом случае колебания давления в надмембранном объеме возникать не будут.

Если поток радиации, поступающей в правый лучеприемник, окажется меньше (за счет поглощения в рабочей камере части радиации, соответствующей спектру поглощения определяемого компонента), то в надмембранном объеме мерной камеры появится переменная составляющая давления газа, величина которой будет зависеть от степени поглощения радиации в рабочей камере. Амплитуда колебаний мембраны конденсаторного микрофона будет зависеть от концентрации определяемого компонента в анализируемой смеси.

Колебания мембраны преобразуются в переменное напряжение, которое усиливается электронным усилителем, выпрямляется синхронным детектором и подается на показывающий прибор со шкалой в процентах. Таким образом, величина напряжения, измеряемая показывающим прибором, является мерой концентрации определяемого компонента в анализируемой газовой смеси.

Определение дымности отработавших газов осуществляется с помощью специальных дымомеров. Наибольшее распространение получили дымомеры с фильтрацией отработавших газов и дымомеры, работающие по методу просвечивания газа с поглощением светового потока. В дымомерах с фильтрацией дымность определяется по степени потемнения фильтровальной бумаги, через которую пропущен определенный объем отработавших газов. Степень потемнения фильтра определяют фотометрированием, при этом нулевая отметка шкалы прибора соответствует чистому фильтру, а предельная – полному поглощению света фильтром, то есть 100 % дымности.

Дымомеры с просвечиванием оценивают относительную задымленность по оптической плотности слоя газа определенной толщины

(обычно 0,5 м). В дымомерах этого типа часть отработавших газов или все газы пропускаются через измерительный участок трубопровода, по торцам которого расположен осветитель и фотоэлемент, ток которого регистрируется соответствующим прибором и служит показателем дымности. Дымомеры рассмотренных типов показывают относительную величину дымности в процентах.

Измерение температур

Для измерения температур при испытаниях автомобильных двигателей применяются различные методы и приборы:

- дистанционные манометрические термометры;
- термометры сопротивления;
- термопары;
- жидкостные или ртутные термометры.

Последние применяются крайне редко ввиду больших габаритов, хрупкости и отсутствия возможности дистанционного наблюдения.

Дистанционные манометрические термометры применяют, в основном, для контроля температурного режима работы двигателя, то есть для контроля температур воды и масла. Однако относительно малая точность их показаний позволяет применять их только в качестве контрольных приборов. К недостаткам можно отнести также довольно большие размеры самого датчика термометра и ограниченную длину соединительного капилляра. Благодаря простоте и надежности работы эти термометры получили широкое распространение, особенно на транспортных средствах (в основном – на тракторах).

Термометр состоит из баллона-датчика, заполненного низкокипящей жидкостью (например, хлорэтаном) и соединенного капиллярной трубкой с чувствительным манометром, шкала которого градуирована в градусах температуры. Вся система собирается на заводе-изготовителе, где заполняется жидкостью и герметизируется.

Для точных измерений применяются термометры сопротивления и термопары. Преимуществами их являются достаточно высокая точность и малые габариты, что позволяет их легко монтировать в удобной для измерения точке. Электрическая связь с измерительным прибором обеспечивает возможность дистанционного наблюдения.

Термометр сопротивления представляет собой проволочный или полупроводниковый датчик, который меняет свое термическое сопротивление при измерении температуры. Термометры сопротивления включаются в мостовую измерительную схему, имеющую регистрационный прибор-указатель и источник питания. Разбалансировка мос-

та, пропорциональная изменению температуры, оценивается прибором-указателем.

Применение термопар для измерения температуры основывается на использовании термоэлектрического эффекта, возникающего при нагреве места спая двух проводников из неоднородных металлов. Если два других конца этих проводников замкнуть, то под действием термо-ЭДС нагреваемого спая в цепи возникает электрический ток, силу которого можно измерить чувствительным прибором.

Для измерения термо-ЭДС применяют электронные автоматические потенциометры (например, типа ЭПВ). Принципиальная упрощенная схема такого прибора приведена на рис. 2.10.

Схема, состоящая из двух ветвей ВАГ и ВБГ, представлена в виде тока четырехплечевого «мостика». Она питается от источника постоянного тока $Б_и$, последовательно с которым в диагональ включен реостат $R_р$, служащий для регулирования (установки) рабочего тока в измерительной схеме. При неизменной величине рабочего тока и сопротивлений обеих ветвей напряжения между точками А и Б зависит только от положения движка сопротивления R (реохорда). Одновременно с перемещением движка вдоль по реохорду перемещается вдоль шкалы прибора и каретка с указателем, так что каждому положению движка реохорда соответствует определенное положение указателя на шкале.

Для измерения термо-ЭДС термопары E_x приемник включается последовательно с электронным усилителем ЭУ в диагональ АБ (как показано на схеме).

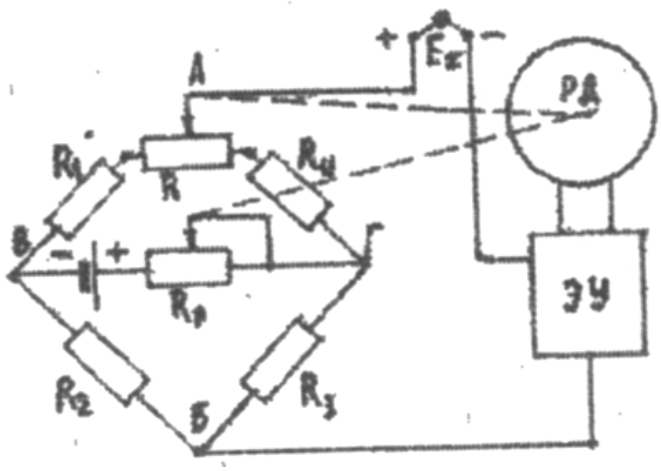


Рис. 2.10. Принципиальная схема измерителя температур

Для каждого значения измеряемой ЭДС можно найти такое положение движка реохорда, когда значение ЭДС и уравновешивающего ее напряжения между точками А и Б станут равными, а ток в диагонали АБ будет равен нулю. При безразличном положении движка реохорда может появиться нескомпенсированная ЭДС, которая подается на вход электронного усилителя ЭУ, преобразуемая в переменное напряжение частотой 50 Гц, усиливается и заставляет реверсивный двигатель РД вращаться в направлении, зависящем от полярности первоначального сигнала.

Реверсивный двигатель кинематически связан с движком реохорда и с кареткой, перемещающей указатель вдоль шкалы. Он передвигает движок реохорда до тех пор, пока «сигнал», уменьшаясь, не станет равным нулю. Тогда двигатель останавливается, а движок реохорда и каретка с указателем занимают положение, соответствующее измеряемой ЭДС.

Многоточечный прибор снабжен переключателем, подключающим к измерительной схеме все подсоединенные к прибору термопары.

Устройство для измерения угла опережения зажигания

Для замера угла опережения зажигания применяется электронный прибор ИУ-5 (рис. 2.11), преобразующий импульсы от датчиков, установленных на двигателе, в сигналы, индицируемые на электронном табло. Датчик 1 подает сигнал на прибор в момент прохождения поршнем ВМТ (индуктивный датчик ВМТ, установленный на шкиве двигателя). Второй датчик 4 подает в прибор сигнал в момент размыкания контакта прерывателя и возникновения высоковольтного импульса на катушке зажигания (индуктивный датчик «искра», установленный на высоковольтном проводе от катушки 3 к распределителю 2).

Опережение по времени импульса от датчика искры относительно датчика ВМТ преобразуется с помощью схемы формирователя в высокочастотные импульсы, поступающие в накопитель в течение 1 с. Затем эти импульсы поступают в делитель, синхронизированный с частотой импульса ВМТ (частотой вращения коленчатого вала двигателя), и из делителя поступают на блок индикации, показывающим угол опережения зажигания в градусах поворота коленчатого вала.

Если опережение импульса искры положительно, то на индикаторе высвечивается знак (+), если отрицательное – знак (-). Изменение величины угла опережения зажигания осуществляется поворотом платы прерывателя относительно корпуса распределителя

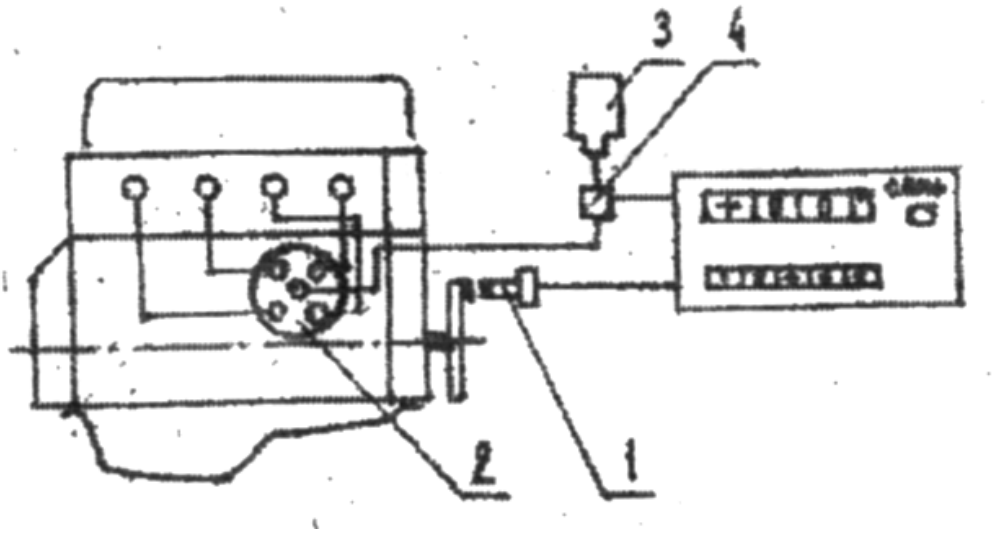


Рис.2.11. Схема устройства для измерения угла опережения зажигания

Регулирование температуры в системе охлаждения двигателя

Схема охлаждения двигателя при стендовых испытаниях представлена на рис. 2.12. Первый контур системы включает водяную рубашку двигателя и теплообменник. Второй контур образован холодильником теплообменника и водопроводной сетью. Циркуляция жидкости в первом контуре осуществляется за счет перепада температур в теплообменнике и насоса двигателя. Для компенсации изменения объема воды в первом контуре водяной бачок теплообменника соединен трубкой с дополнительным бачком 3. Регулирование температуры воды, циркулирующей в системе охлаждения двигателя, осуществляется путем изменения количества холодной воды, циркулирующей во втором контуре. Регулирование количества холодной воды осуществляется электрокраном 1, который управляется через блок управления, мостовую схему и термосопротивление, установленное в выходном патрубке рубашки охлаждения двигателя. Термосопротивление включено в одно из плеч электрической мостовой схемы.

Мост настраивается так, что при совпадении измеряемой температуры с задаваемой, ток в диагонали моста отсутствует. Поэтому если в результате изменения режима работы двигателя измеряемая температура отклоняется от заданного значения, то в диагонали моста появляется ток, сила которого пропорциональна отклонению действительной температуры от заданного значения. После усиления и соответствующих преобразований сигнал, пропорциональный рассогласованию температур, поступает на реверсивный электродвигатель, который открывает или прикрывает регулирующий кран 1 в зависимости от знака рассогласования.

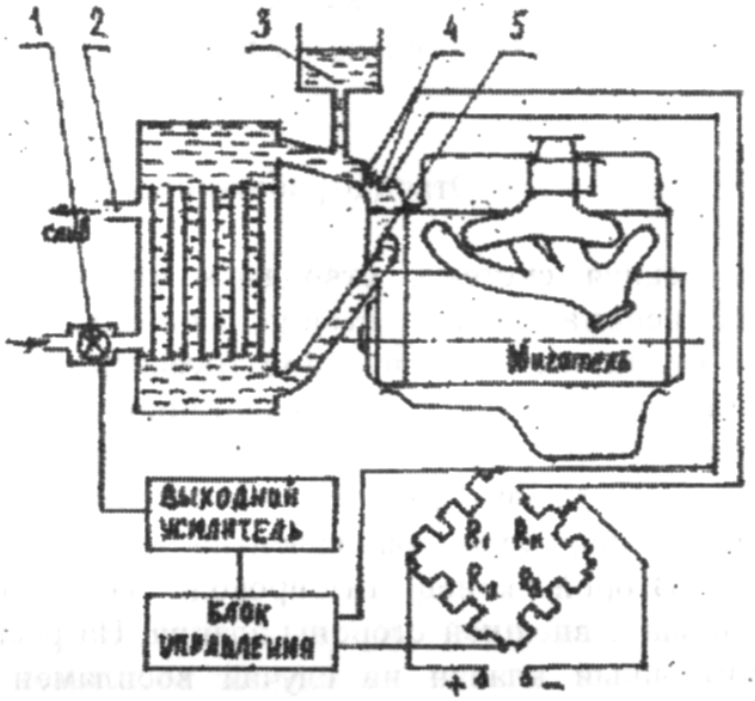


Рис. 2.12. Схема регулирования температуры в системе охлаждения

Аналогичная система применяется для автоматического регулирования температуры масла в картере двигателя, где в качестве теплообменника применяется водомасляный теплообменник. Согласно ГОСТ 14846-81 изменение температуры охлаждающей жидкости и масла во время замера допускается в пределах ± 2°С.

Отвод отработавших газов

Выпускная система, отводящая отработавшие газы из помещения испытательного стенда, состоит из газопровода, ресивера с глушителем и выпускной трубы. Приемная труба двигателя выполнена из тонкостенной стальной трубы и соединяется с газопроводом, который консольно укреплен в стене. Относительно большая длина в сочетании с консольным креплением газопровода эквивалентна гибкому соединению (сильфону). Второй конец газопровода выходит в ресивер, расположенный с внешней стороны здания. На ресивере имеется предохранительный клапан на случай воспламенения горючей смеси в ресивере. Из ресивера отработавшие газы удаляются через выпускную трубу в атмосферу.

Гидравлическое сопротивление выпускной системы не должно превышать величины 300–400 мм вод.ст.

Устройство для управления расходом топлива

При снятии регулировочных характеристик по составу смеси необходимо изменять расход топлива. Наиболее просто это достигается изменением сечения жиклера, в который ввертывается или вывертывается регулировочная игла. Такое устройство неудобно для использования в многокамерных карбюраторах и, кроме того, затрудняет организацию дистанционного управления. Дистанционное управление расходом возможно в схеме, показанной на рис. 2.13. Расход воздуха, поступающего в эмульсионный колодец 2 карбюратора, регулируется винтом 5. Благодаря этому изменяется степень торможения расхода топлива, поступающего через жиклер 1 и, соответственно, расход топлива. При ввертывании винта 5 расход топлива увеличивается, при вывертывании – уменьшается. Для повышения устойчивости работы системы воздух к крану 1 подается из надкарбюраторной полости через трубку 4.

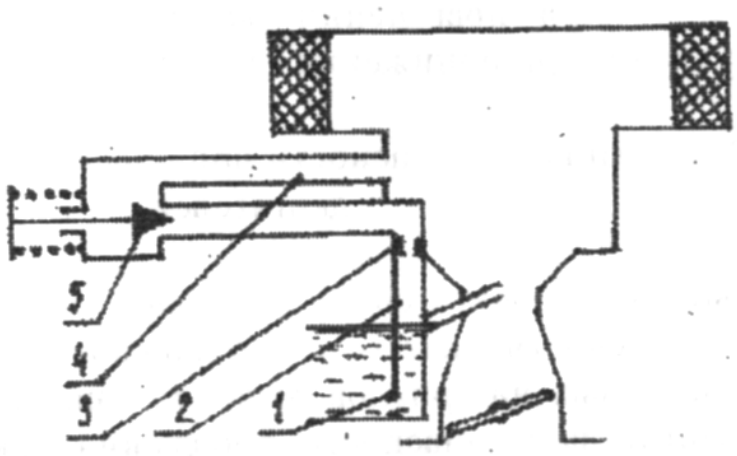


Рис.2.13. Схема устройства для управления расходом топлива

Более совершенное устройство управления расходом топлива выполнено по схеме рис. 2.14. В этой схеме топливная камера герметизирована, а расход топлива регулируется путем изменения давления в ней. Вакуумный насос 3 в зависимости от положения двухходового крана 2 создает в ресивере 5 давление или разрежение, которое контролируется пьезометром 7. Регулирование величины давления или разряжения обеспечивается кранами 6 и 1. При повышении давления в ресивере расход топлива возрастает, при понижении – уменьшается.

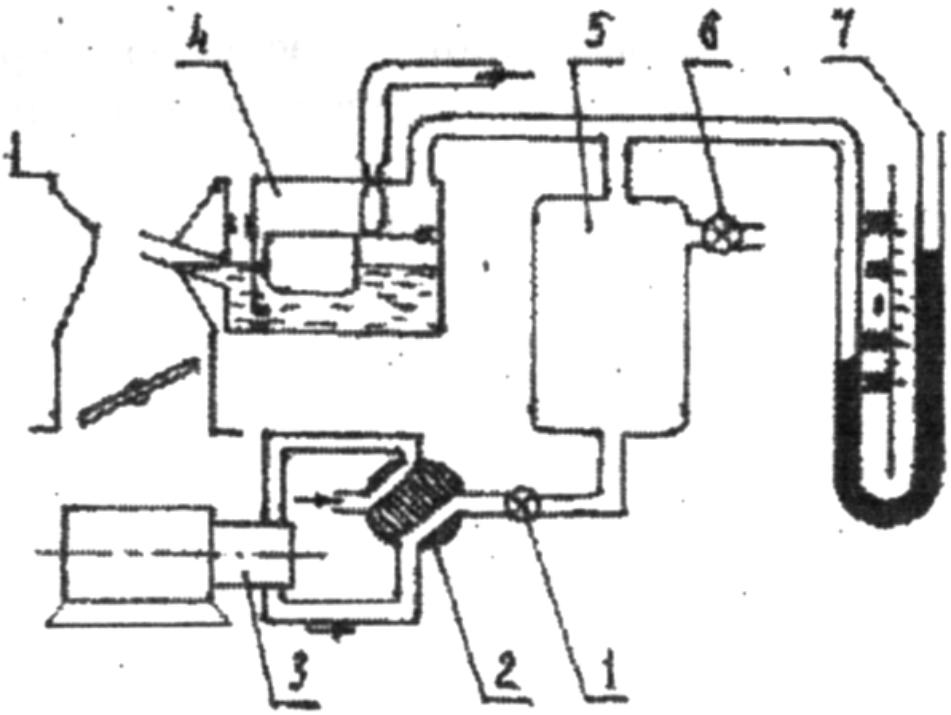


Рис.2.14. Схема устройства для управления расходом топлива

Указание общих мер безопасности при работе со стендом

Стенд должен эксплуатироваться в Соответствии с требованиями «Правил техники безопасности и производственной санитарии для ремонтных предприятий системы «Союзсельхозтехника» и «Правил безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей», утвержденных Госэлектронадзором.

Запрещаются работы по монтажу, ремонту или техническому обслуживанию составных частей и электрооборудования стенда без полного отключения его от питающей сети. Непосредственно после отключения необходимо проверить отсутствие напряжения.

Меры безопасности при подготовке к работе

Перед началом работы необходимо проверить:

а) крепление всех составных частей и деталей;

б) наличие, исправность и крепление защитных ограждений и заземляющих проводов;

в) исправность подъемных механизмов, схваток и других приспособлений;

г) убедиться в достаточности освещения рабочего места и путей транспортировки двигателей.

Меры безопасности во время работы

При установке двигателя на стенд необходимо следить за надежным креплением диска к маховику.

Соединить карданный вал стенда с диском маховика и зафиксировать это положение.

Необходимо следить за плотным соединением выхлопных коллекторов с отводящими патрубками системы отсоса выхлопных газов и исправностью вытяжных устройств.

Запрещается производить обкатку и испытание двигателя при наличии течи в соединениях трубопроводов горючего, смазочного масла и охлаждающей воды.

При обкатке и испытании двигателей запрещается:

– подтягивать гайки шпилек крепления головки блока на работающем двигателе;

– производить регулировку клапанного механизма на работающем двигателе;

– отсоединять трубопроводы горюче-смазочных материалов и охлаждающей воды;

– сливать горюче-смазочные материалы и охлаждающую жидкость на пол.

Запрещается работа на стенде при открытом кожухе ограждения карданного вала и снятом кожухе реостата.

Запрещается сообщать ротору электромашины частоту вращения, превышающую 3000 об/мин, так как это может привести к аварии.

При торможении обкатываемого двигателя нагрузка не должна превышать 50 кг по показанию стрелки силоизмерительного механизма. Кратковременная нагрузка (не более 10 минут) не должна превышать 60 кг.

Не рекомендуется останавливать стенд непосредственным выключением его из сети под нагрузкой. Сначала следует вывести электроды реостата из раствора (снять нагрузку с обкатываемого двигателя), а затем отключить электромашину.

Запускать двигатель внутреннего сгорания на стенде следует при скорости вращения не выше 700 об/мин по электротахометру.

После перевода двигателя на газ, если предполагается его обкатка без нагрузки, электромашину необходимо отключить нажатием на кнопку «стоп».

Не допускается резкое изменение частоты вращения коленчатого вала двигателя, обкатываемого на газу с нагрузкой. При остановке двигателя необходимо плавно снижать частоту вращения коленчатого вала.

Меры безопасности по окончании работы и при техническом обслуживании стенда

После остановки двигателя необходимо слить масло из картера в специальную посуду и отсоединить шланги и трубопроводы от двигателя, осторожно вывернуть термометр сопротивления из картера.

По окончании каждой смены следует обесточить стенд с помощью блока предохранитель-выключателя *F*1, закрыть кран от верхнего бачка с топливом и поставить трехходовой кран в положение «закрыто».

При длительных перерывах в работе (более одного дня) необходимо слить топливо из стеклянного сосуда и из всех топливопроводов.

Необходимо периодически доливать воду в реостат, чтобы уровень был не ниже 100 мм от верхнего края бака. При долине воды стенд должен быть отключен от сети.

Периодически, не реже одного раза в месяц, нужно открывать кожух подшипникового щита электромашины и продувать сжатым воздухом контактные кольца, щетки и щеткодержатели для удаления медно-графитовой пыли.

Запрещается включать стенд при отсоединенном вале от испытуемого двигателя и без защитного ограждения.

Соблюдать осторожность при промывке бака реостата и электродов, т.к. пары кальцинированной соды вызывают ожоги лица и слизистой оболочки.

Меры пожарной безопасности

Емкости для хранения горюче-смазочных материалов должны находиться за пределами испытательной лаборатории.

В испытательной лаборатории должно быть противопожарное оборудование согласно нормам пожарной безопасности.

Лица, обслуживающие стенд, обязаны знать расположение противопожарного оборудования и уметь им пользоваться.

Хранить использованный обтирочный материал допускается только в металлических ящиках с плотно закрывающимися крышками.

В испытательной лаборатории запрещается пользоваться открытым огнем, курить и производить сварочные работы.

Лица, обслуживающие стенд, должны знать «Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей» и «Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей» в объеме не ниже IV квалификационной группы, должны пройти инструктаж по общим правилам техники безопасности, инструктаж на рабочем месте, а также овладеть практическими навыками безопасного выполнения работ на стенде.

Возможные неисправности и методы их устранения

Таблица 2.3

Перечень неисправностей и методы их устранения

№ п/п	Неисправности	Вероятная причина	Метод устранения
1	2	3	4
1	Стрелка силоизмерительного механизма после успокоения маятника не устанавливается в одном положении	Ослабли болты, крепящие кронштейн силоизмерительного механизма к корпусу электромашины. Ослаб винт и болты, крепящие опорные цапфы электромашины	Подтянуть болты. Подтянуть винт
		Заедают подшипники силоизмерительного механизма	Разобрать силоизмерительный механизм. подшипники промыть бензином и смазать маслом. При сборке силоизмерительного механизма стрелку установить против нуля шкалы циферблата для этого необходимо: а) качнуть корпус электромашины и дать возможность ей остановиться; б) ослабив винты крепления стрелки на оси, установить стрелку против шкалы циферблата нулевой риски и закрепить ее
2	Раствор в баке реостата интенсивно испаряется, температура раствора поднимается выше 60°С	Неисправен регулятор температуры неисправен центробежный насос или неправильное вращение электродвигателя привода насоса	Заменить регулятор температуры. Отремонтировать или заменить центробежный насос или установить правильное вращение электродвигателя привода насоса
3	Стрелка циферблата силоизмерительного механизма чрезмерно колеблется при работе двигателя на установившемся режиме	Мало масла в демпфере силоизмерительного механизма. Резкое колебание напряжения в электросети	Долить в демпфер масло. Применять меры, обеспечивающие снижение колебания напряжения в электросети

Продолжение табл. 2.3

1	2	3	4
4	При горячей обкатке при полном заглублении электродов реостата в раствор электромашина не развивает тормозной мощности	Мала концентрация соды в растворе	Увеличить количество соды в растворе до 2-3 %
		Низкая температура	Проверить исправность работы регулятора температуры
		Большой налет соды на электродах	Зачистить электроды
		Частота вращения коленчатого вала испытуемого двигателя близка к синхронной частоте вращения приводной электромашины стенда	Неправильно выбран стенд
5	Сильное искрение при погружении электродов в раствор	Высокая концентрация соды в растворе	Слить раствор, промыть бак, заполнить бак реостата водой и растворить в ней кальцинированную соду
		Высокая температура раствора	Проверить исправность регулятора температуры
		Подгорание носков электродов и неравномерный контакт электродов с раствором	Запилить носки электродов так, чтобы их вершины были на одной горизонтальной линии
6	При подаче напряжения стенд не работает	Отсутствие напряжения в сети	Проверить наличие напряжения
7	При пуске электромашина гудит и ее ротор не вращается	а) обрыв в одной из фаз электросети	Устранить обрыв фаз
		б) междувитковое замыкание обмоток статора	Отремонтировать обмотки статора
		в) короткое замыкание между двумя фазами	Отремонтировать обмотки статора
8	Повышенное искрение между щетками и контактными кольцами электромашины	Перекос щетки Заедание щетки в обойме Недостаточное нажатие пружины на щетку	Устранить неисправность
		Плохая притирка щеток	Притереть щетки
9	Замыкание контактных колец электромашины	Загрязнение контактных колец и щеточного устройства медно-графитовой пылью	Снять щиток контактных колец прочистить и продуть сжатым воздухом контактные кольца щеточное устройство
10	При нажатии на кнопку *S*5 не запускаются электромашина и электродвигатель привода центробежного насоса реостата	Вышел из строя блок предохранитель-выключатель F1	Отремонтировать или заменить автоматический выключатель
		Вышел из строя магнитный пускатель	Отремонтировать или заменить магнитный пускатель

Окончание табл. 2.3

1	2	3	4
		Вышла из строя кнопка управления S5	Отремонтировать или заменить кнопку управления
		Вышел из строя исполнительный механизм привода электродов реостата	Отремонтировать или заменить исполнительный механизм
11	Не загорается сигнальная лампа	Перегорела сигнальная лампа	Заменить перегоревшую сигнальную лампу
12	При нажатии на кнопку S6 и S7 электроды реостата не перемещаются	Вышла из строя соответствующая кнопка управления	Отремонтировать или заменить кнопку управления
		Вышел из строя исполнительный механизм привода электродов реостата	Отремонтировать или заменить. исполнительный механизм
13	Не работает электродвигатель привода центробежного насоса реостата	Обрыв в цепях питания электродвигателя	Устранить обрыв
14	Пределы погружения и подъема электродов реостата нарушились	Нарушилась регулировка конечных выключателей на исполнительном механизме	Отрегулировать положение конечных выключателей
15	Отсутствует сигнал «Напряжение подано»	Перегорели сигнальные лампочки	Заменить сигнальную лампу
16	При включения стенд отключается	Короткое замыкание в силовых цепях или цепях управления	Устранить короткое замыкание
17	Стрелка силоизмерительного механизма не устанавливается на нуль	Ослаб винт крепления стрелки	Установить стрелку на нуль и подтянуть винт крепления стрелки

Содержание отчета

1. Опишите устройство тормозного стенда.
2. Опишите основные меры безопасности при работе тормозного стенда.
3. Систематизируйте и запишите основные неисправности, которые могут возникать при работе стенда.
4. Изучить контрольно-измерительные приборы, применяемые в ходе стендовых испытаний.
5. Объясните принцип работы трехходового крана для измерения расхода топлива.

Вопросы для самопроверки

1. Какие общие требования предъявляются к испытательному оборудованию?
2. Для чего предназначены тормозные установки испытательных стендов?
3. Дайте классификацию тормозных установок.
4. Как подразделяются приборы для измерения давления по способу измерения?
5. Какими приборами определяется тепловое состояние двигателя?
6. Какими приборами измеряют расход топлива?
7. Какими приборами измеряют расход воздуха?
8. Назовите основные способы измерения расхода топлива.
9. Какими приборами измеряют частоту вращения коленчатого вала ДВС?
10. На каком принципе основано действие прибора для определения угла опережения зажигания?
11. С помощью каких приборов измеряется индикаторное давление газов внутри цилиндра двигателя
12. С помощью каких приборов определяется состав отработавших газов.
13. Назовите основные устройства испытательного обкаточно-тормозного стенда.
14. Как определяется коэффициент избытка воздуха?
15. Принцип работы динамометра тормозного стенда.
16. Перечислите основные требования по технике безопасности стенда.
17. Нужно ли пересчитывать показатели двигателя к стандартным атмосферным условиям?
18. Назначение реостата в тормозном стенде.
19. С какой погрешностью допускается измерение нагрузки на тормозе?
20. Как осуществляется тарировка весового механизма стенда?
21. Перечислите основные неисправности, возникающие при эксплуатации тормозных стендов.
22. Как обкатывают новый и отремонтированный двигатель внутреннего сгорания?

Лабораторная работа №2.2
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕНЗИНОВОГО ДВС В УСЛОВИЯХ СКОРОСТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Цель работы: Исследовать экспериментальным и теоретическим путем характер изменения показателей карбюраторного ДВС в зависимости от скоростного режима работы.

Задачи работы

1. Изучить теоретические основы снятия скоростных характеристик ДВС.
2. Освоить методику проведения эксперимента и обработки данных.
3. Проанализировать характер изменений показателей ДВС в условиях скоростных характеристик, полученных экспериментальным и расчетным путем.

Теоретические положения

Определение. Скоростной характеристикой ДВС называется графическая зависимость показателей двигателя от изменения скоростного режима (частоты вращения коленчатого вала ДВС).

Условия снятия характеристики. Скоростная характеристика снимается на обкаточно-тормозном стенде. В условиях стендовых испытаний изменение скоростного режима осуществляется путем изменения нагрузки на тормозном стенде. Температурный режим поддерживается нормальный, рекомендованный заводом-изготовителем (температура охлаждающей жидкости равна температуре масла ($t_в = t_м$)). Угол опережения зажигания оптимальный, соответствующий требованиям завода-изготовителя. Регулировки карбюратора оптимальные. Дроссельная заслонка открыта полностью и закреплена.

Последовательность выполнения лабораторной работы. Снятие внешней скоростной характеристики происходит следующим образом. Прогрев двигатель, увеличивают подачу горючей смеси и одновременно нагружают его с помощью тормозного устройства так, чтобы на режиме полной подачи (полное открытие дроссельной заслонки) двигатель развивал минимальное устойчивое число оборотов (n_{min}). После необходимого корректирования теплового состояния двигателя и выдержки его на стабильном режиме работы не менее минуты производят замеры нужных параметров. Далее нагрузку постепенно снимают, добиваясь возрастания скорости вращения вала двигателя на 250 или 500 мин$^{-1}$; после выхода на установившийся режим работы делают

новые замеры и т.д., пока частота вращения вала не достигнет указанного ранее максимума. Для выявления более достоверного протекания внешней скоростной характеристики замеры повторяют, последовательно нагружая двигатель и уменьшая частоту вращения до минимальной.

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

После завершения эксперимента полученные данные заносятся в протокол испытаний и подвергаются обработке с использованием формул, приведенных в табл. 2.1. Затем на основании полученных данных строят скоростную характеристику, которая потом подвергается анализу и сравнению с результатами моделирующих расчетов.

Основные расчётные формулы, применяемые для математического моделирования скоростной характеристики бензинового ДВС:

1. Эффективная мощность, кВт, определяется по формуле Лейдермана:

$$N_{e(i)} = N_{e(\text{н})} \cdot \left[\frac{n_{e(i)}}{n_{e(\text{н})}} \right] \cdot \left(1 + \left(\frac{n_{e(i)}}{n_{e(\text{н})}} \right) - \left(\frac{n_{e(i)}}{n_{e(\text{н})}} \right)^2 \right),$$

где $n_{e(i)}$ – текущие значения скоростного режима работы двигателя, мин$^{-1}$;

$n_{e(\text{н})}$ – величина номинального (максимального) скоростного режима работы двигателя, принимаемая по справочным данным или технической характеристике двигателя, мин$^{-1}$;

$N_{e(\text{н})}$ – величина номинальной (максимальной) эффективной мощности двигателя, принимаемая по справочным данным или технической характеристике двигателя, кВт.

2. Эффективный момент, Н м, определяем по формуле:

$$M_{e(i)} = 9550 \cdot \frac{N_{e(i)}}{n_{e(i)}}.$$

3. Удельный эффективный расход топлива, г/(кВт·ч), определяем по формуле Лейдермана:

$$g_{e(i)} = g_{e(\text{н})} \left[1{,}2 - \left(\frac{n_{e(i)}}{n_{e(\text{н})}} \right) + 0{,}8 \cdot \left(\frac{n_{e(i)}}{n_{e(\text{н})}} \right)^2 \right],$$

где $g_{e(\text{н})}$ – удельный номинальный (максимальный) эффективный расход топлива, принимаемый по справочным данным или из технической характеристики двигателя, г/(кВт ч).

4. Часовой расход топлива, кг/ч, находим по формуле

$$G_{\text{Т}(i)} = g_{e(i)} \cdot N_{e(i)} \cdot 10^3.$$

5. Давление механических потерь, МПа, определяем по формуле

$$P_{\text{м}(i)} = 0{,}034 + 0{,}0113 \cdot \left(\frac{S \cdot n_{e(i)}}{30} \right),$$

где S – ход поршня, м.

6. Давление среднее эффективное, МПа:

$$P_{e(i)} = \frac{N_{e(i)} \cdot 120}{V_h \cdot Z \cdot n_{e(i)}},$$

где V_h – рабочий объем одного цилиндра двигателя, л;

Z – число цилиндров двигателя.

7. Мощность механических потерь, кВт, определяем по формуле

$$N_{\text{м}(i)} = \frac{P_{\text{м}(i)} \cdot V_h \cdot Z \cdot n_{e(i)}}{120}.$$

8. Мощность индикаторная, кВт, будет равна:

$$N_{i(i)} = N_{e(i)} + N_{\text{м}(i)}.$$

9. Давление среднее индикаторное, МПа:

$$P_{i(i)} = \frac{N_{i(i)} \cdot 120}{V_h \cdot n_{e(i)} \cdot Z}.$$

10. Удельный индикаторный расход топлива, г/(кВт ч), находим по формуле

$$g_{i(i)} = \frac{G_{\text{Т}(i)} \cdot 10^3}{N_{i(i)}}.$$

11. Эффективный КПД будет определяться по формуле

$$\eta_{e(i)} = \frac{3600}{H_u \cdot g_{e(i)}},$$

где H_u – низшая теплота сгорания бензина (справочное значение), H_u = 43,5 МДж/кг.

12. Индикаторный КПД определяем как:

$$\eta_{i(i)} = \frac{3600}{H_u \cdot g_{i(i)}}.$$

13. Механический КПД находим по формуле

$$\eta_{м(i)} = \frac{N_{e(i)}}{N_{i(i)}} = \frac{P_{e(i)}}{P_{i(i)}}.$$

14. Часовой расход топлива, кг/ч, на холостом ходу:

$$G_{T(i)}^{x.x} = G_{T\max} \cdot \left(1 - \eta_{м(i)}\right),.$$

15. Коэффициент избытка воздуха. Данный коэффициент для моделирующих расчетов можно определить по формуле, полученной профессором Салминым В.В. для бензиновых ДВС и имеющей вид:

– для карбюраторных ДВС

$$\alpha_{(i)} = 0,98 - \frac{180}{n_{e(i)}}.$$

– для бензиновых впрысковых ДВС

$$\alpha_{(i)} = 1,25 - \frac{217}{n_{e(i)}}.$$

16. Количество воздуха, действительно поступившего в цилиндры двигателя, кг/ч:

$$G_{в.д(i)} = G_{T(i)} \cdot 14,5 \cdot \alpha_{(i)}.$$

17. Коэффициент наполнения;

$$\eta_{V(i)} = \frac{483,3 \cdot G_{T(i)} \cdot \alpha_{(i)} \cdot \rho_в}{V_h \cdot n_{e(i)} \cdot Z},$$

где $\rho_в = \rho_0 \cdot \frac{P_0 \cdot 273}{0,101325 \cdot T_0}$ – плотность воздуха, кг/м^3, на впуске в ДВС.

18. Коэффициент остаточных газов, определяем по формуле предложенной профессором Салминым В.В.:

$$\gamma_{(i)} = 1 - \frac{\ell_0 \cdot \alpha_{(i)}}{\ell_0 \cdot \alpha_{(i)} + 1},$$

где ℓ_0 – теоретическое количество воздуха, необходимое для полного сгорания топлива, кг/кг, для бензина эта величина принимается, при моделирующих расчетах в бензиновых ДВС, равной 14,5 кг/кг.

Протокол лабораторных испытаний двигателя

Дата испытаний_____ Двигатель (марка)_____

Барометрическое давление_____ Степень открытия дроссельной заслонки_____

Испытание проводили студенты группы _____

№ п/п	n_e, об/мин	$P_т$, кГм	$\Delta G_Т$, г	$\Delta\tau$, с	$t_о$, °С	$t_ж$, °С	$t_м$, °С	$P_{мас}$, мПа	H, мм вд.ст	N_e, кВт	$G_Т$, кг/ч	g_e, г/кВтч	M_e, Н·м	$G_{в.д}$, кг/ч	$G_о$, кг/ч	$G_{в.т}$, кг/ч	α	η_V	η_e
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

Примечание. *При выполнении испытаний колонки 1 и 2 протокола заполняются перед началом эксперимента. Колонки 3–10 заполняются студентами в ходе проведения эксперимента. Колонки 11–20 – по результатам расчета. В ходе обработки опытных данных используются формулы, приведенные в табл. 2.1 подразд. 2.3 лабораторного практикума. На основании полученных данных строятся экспериментальные кривые скоростной характеристики, приведенные ниже.*

Протокол моделирующего (теоретического) эксперимента

Двигатель (марка)_____

Барометрическое давление_____, МПа;

Температура окружающей среды _____, К;

Плотность воздуха _____, кг/м^3;

Число цилиндров в двигателе _____;

Максимальные обороты двигателя _____, мин$^{-1}$;

Минимальные обороты двигателя _____, мин$^{-1}$;

Ход поршня _____, м;

Диаметр цилиндра _____, м;

Рабочий объем 1 цилиндра _____, л;

Степень сжатия в ДВС_____

Максимальная эффективная мощность _____, кВт;

Удельный расход топлива при *Nен* _____, г/(кВт ч);

Низшая теплота сгорания топлива _____, кДж/кг.

n_e, мин$^{-1}$	M_e, Н м	N_e, кВт	P_e, МПа	$G_т$, кг/ч	g_e, г/(кВт ч)	$P_м$, МПа	$N_м$, кВт	N_i, кВт	g_i, г/(кВтч)	P_i, МПа	η_e	η_i	$\eta_м$	α	η_v	γ	$G_т^{х.х}$, кг/ч	$G_{в.д}$, кг/ч
1000																		
1500																		
2000																		
2500																		
3000																		
3500																		
4000																		

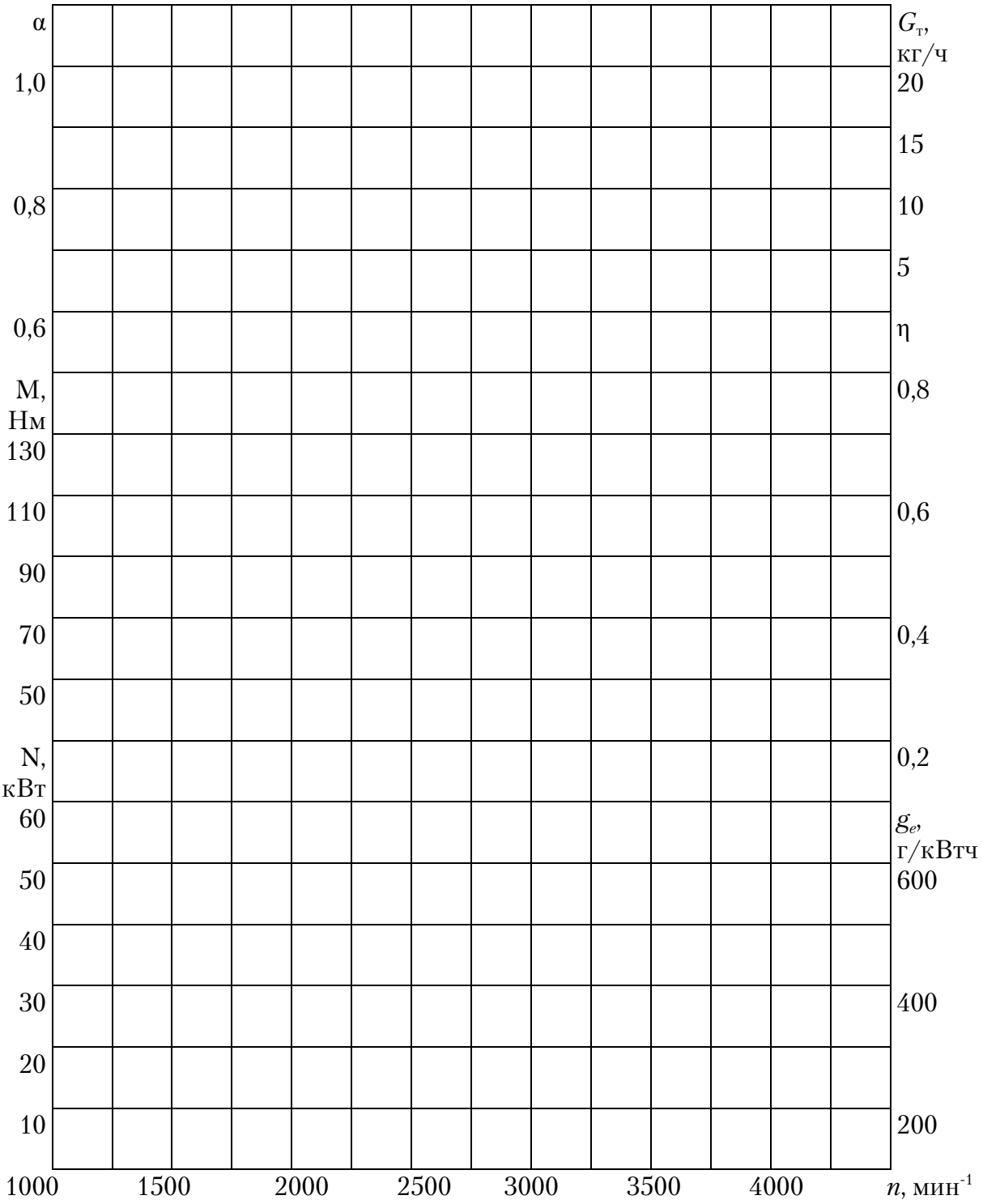
Скоростная характеристика карбюраторного двигателя

Место проведения испытания ДВС_____

Дата_____

Двигатель (марка) _____

Барометрическое давление_____



Содержание отчета

1. Сделайте конспект основных теоретических положений, приведенных в лабораторной работе.
2. Заполните протокол экспериментальных испытаний двигателя.
3. Выполните моделирующие расчеты и заполните таблицу.
4. Постройте скоростную характеристику двигателя, полученную экспериментальным и расчетным путем.
5. Объясните характер протекания кривых η_e, α, η_v, g_e, G_T, $M_к$, N_e.
6. Сделайте сравнительный анализ полученных данных и запишите выводы по лабораторной работе.

Вопросы для самопроверки

1. Почему характер изменения крутящего момента двигателя в условиях скоростной характеристики имеет восходящую и нисходящую ветвь?
2. Почему линия изменения часового расхода топлива является практически прямой?
3. Как и почему так изменяется коэффициент избытка воздуха в условиях скоростной характеристики?
4. Почему механический КПД двигателя в условиях скоростной характеристики с увеличением скоростного режима уменьшается?
5. Как изменяется условное давление механических потерь в условиях скоростной характеристика?
6. Почему мощность механических потерь двигателя в условиях скоростной характеристики изменяется по степенной зависимости?
7. Почему в условиях скоростной характеристики механические потери увеличиваются с ростом скоростного режима?
8. Почему удельный расход топлива в условиях скоростной характеристики изменяется параболически?
9. Как и почему изменяется эффективный КПД двигателя?
10. Как изменяется характер протекания кривой индикаторного КПД в условиях скоростной характеристики?
11. Почему при максимальном скоростном режиме эффективная мощность двигателя не увеличивается прямопропорционально увеличению скоростного режима?
12. Как изменяется характер протекания индикаторной мощности в условиях скоростной характеристики? Что непосредственно влияет на характер ее протекания?
13. Как экспериментально определяется эффективная мощность двигателя?
14. Какая скоростная характеристика называется внешней?
15. Как экспериментально определяется часовой расход топлива в двигателе?

Лабораторная работа № 2.3
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕНЗИНОВОГО ДВС В УСЛОВИЯХ НАГРУЗОЧНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Цель работы: Исследовать экспериментальным и теоретическим путем характер изменения показателей карбюраторного ДВС от нагрузочного режима работы.

Задачи работы

1. Изучить теоретические основы снятия нагрузочных характеристик ДВС.
2. Освоить методику проведения эксперимента и обработки данных.
3. Проанализировать характер изменений показателей ДВС в условиях нагрузочной характеристики, полученных экспериментальным и расчетным путем.

Теоретические положения

Определение. Нагрузочной характеристикой ДВС называется графическая зависимость часового расхода ($G_т$) и удельного часового расхода (g_e), а также других показателей двигателя от изменения нагрузочного режима работы (P_e или N_e). Она позволяет оценить экономичность двигателя на различных нагрузках при заданной частоте вращения коленчатого вала.

Условия снятия характеристик. Нагрузочная характеристика снимается на тормозном стенде при постоянном режиме, температурный режим в системе смазки и охлаждения нормальный ($t_в = t_м$), угол опережения зажигания оптимальный, соответствующий требованиям завода-изготовителя, регулировки карбюратора оптимальные, изменяется положение дроссельной заслонки и нагрузки на тормозе.

Последовательность выполнения лабораторной работы. Нагрузочную характеристику снимают при постоянной частоте вращения коленчатого вала, изменяя положение дросселя от минимального открытия, соответствующего холостому ходу, до полного открытия. Поскольку автомобильный двигатель работает в широком диапазоне частот вращения, то для выявления его топливной экономичности необходимо снять несколько нагрузочных характеристик при различных значениях частоты вращения вала. Нагрузку при испытаниях варьируют с помощью обкаточно-тормозной установки изменением степени открытия дроссельной заслонки, поддерживая постоянной частоту вращения вала.

Регулировки состава горючей смеси и угла опережения зажигания при снятии нагрузочной характеристики обеспечиваются автоматической работой соответствующих систем двигателя. Тормозной стенд должен быть оснащен устройством, позволяющим фиксировать дроссельную заслонку в произвольном положении, начиная от положения на упоре при работе на холостом ходу и до ее полного открытия.

Первый опыт проводят при наименьшем открытии дроссельной заслонки, обеспечивающем устойчивую работу двигателя в режиме холостого хода на заданной частоте вращения коленчатого вала.

Во втором и последующих опытах увеличивают нагрузку двигателя, приоткрывая дроссельную заслонку на 10...12°. Последний опыт проводят при полностью открытой дроссельной заслонке. Для более точного определения деления показателей в зоне минимальных удельных расходов топлива, (при нагрузке более 70 % от максимальной) желательно проводить опыты чаще.

После завершения эксперимента, полученные данные заносятся в протокол испытаний и подвергаются обработке с использованием формул приведенных в табл. 2.1. Затем на основании полученных данных строят нагрузочную характеристику, которая потом подвергается анализу и сравнению с результатами моделирующих расчетов.

Основные расчётные формулы, применяемые для математического моделирования нагрузочной характеристики, кВт, бензинового ДВС:

1. Определение эффективной мощности, как параметра, от которого производится построение характеристики, выполняют по формуле

$$N_{e(i+1)} = \frac{N_{e\max} - N_{e(0)}}{m} + N_{e(i)},$$

где m – количество расчетных точек (ГОСТ рекомендует для испытания ДВС от 6 до 8 экспериментальных точек);

$N_{e\max}$ – максимальная эффективная мощность испытуемого двигателя, взятая из справочника или технической характеристики двигателя, кВт;

$N_{e0} = 0$ – эффективная мощность испытуемого двигателя на холостом ходу, кВт;

$N_{e(i)}$ – расчетная точка эффективной мощности двигателя, кВт (изменяется от 0 до максимальной мощности).

2. Определяется среднее эффективное давление, P_e, МПа, в каждой точке характеристики по формуле

$$P_{e(i)} = \frac{N_{e(i)} \cdot 120}{V_h \cdot Z \cdot n_e},$$

где n_e = const – обороты коленчатого вала двигателя, при которых производится снятие нагрузочной характеристики, мин$^{-1}$;

Z – число цилиндров двигателя, принимается по справочным данным;

V_h – рабочий объём одного цилиндра в литрах, определяемый по формуле

$$V_h = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot S \cdot 10^3;$$

здесь S – ход поршня, принимаемый по справочным данным, м;

D – диаметр поршня, принимаемый по справочным данным, м.

3. Определяется часовой расход топлива, кг/ч, при $N_{e\,\max}$

$$g_{e\max} = \frac{G_{\mathrm{T}\max}}{N_{e\max}} \cdot 10^3 \Rightarrow G_{\mathrm{T}\max} = \frac{g_{e\max} \cdot N_{e\max}}{10^3},$$

где $g_{e\max}$ – удельный эффективный расход топлива при $N_{e\,\max}$, г/(кВт ч), $g_{e\,\max}$ принимается по справочнику.

4. Далее определяем часовой расход топлива на холостом ходу, кг/ч:

$$G_{\mathrm{T}}^{\mathrm{x.x}} = G_{\mathrm{T}\max} \cdot \left(1 - \eta_{\mathrm{м}(m)}\right),$$

где $\eta_{\mathrm{м}(m)}$ – механический КПД двигателя при максимальной загрузке двигателя, который определяется исходя из следующих условий, т.к. скоростной режим работы двигателя в условиях нагрузочной характеристики не изменяется, т.е. n_e = const, то условное давление механических потерь, МПа, может быть определено по формуле

$$P_{\mathrm{м}} = 0{,}034 + 0{,}0113 \cdot \left(\frac{S \cdot n_e}{30}\right).$$

В то же время из теории ДВС известно, что в условиях нагрузочной характеристики условное давление механических потерь не зависит от нагрузки, и оно принимается постоянным. Тогда механический КПД будет определяться по формуле:

$$\eta_{\mathrm{м}(i)} = \frac{P_{e(i)}}{P_{\mathrm{м}} + P_{e(i)}} \Rightarrow \eta_{\mathrm{м}(m)} = \frac{P_{e(Ne\max)}}{P_{\mathrm{м}} + P_{e(Ne\max)}}.$$

5. Определяем часовой расход топлива в i-х точках, за исключением $G_{\mathrm{T}}^{\mathrm{x.x}}$ и $G_{\mathrm{T}\max}$ по формуле:

$$G_{\mathrm{T}(i)} = \frac{G_{\mathrm{T}\max}}{1-\eta_{\mathrm{м}(i)}}.$$

6. Определяем удельный эффективный расход топлива, г/(кВт ч), в остальных точках нагрузочной характеристики начиная с первой до m-1:

$$g_{e(i)} = \frac{G_{\mathrm{T}(i)}}{N_{e(i)}} \cdot 10^3.$$

7. Определяем эффективный КПД двигателя в условиях нагрузочной характеристики:

$$\eta_{e(i)} = \frac{3600}{H_u \cdot g_{e(i)}},$$

где H_u – низшая теплота сгорания бензина (справочное значение), H_u = 41,5 МДж/кг. Тогда

$$\eta_{e(i)} = \frac{82{,}76}{g_{e(i)}}.$$

8. Определяем среднее индикаторное давление, МПа:

$$P_{i(i)} = P_M + P_{e(i)}.$$

9. Для условий нагрузочной характеристики с целью определения коэффициента избытка воздуха профессором Салминым В.В. предложена формула, имеющая вид:

$$\alpha_{(i)} = \alpha_{(\max)} \cdot \left[0{,}75 + 1{,}25 \cdot \left(\frac{N_{e(i)}}{N_{e(m)}} \right) - \left(\frac{N_{e(i)}}{N_{e(m)}} \right)^2 \right],$$

где $\alpha_{(\max)}$=(0,85–0,9) – коэффициент избытка воздуха, принимаемый при работе ДВС на $N_{e(\max)}$.

10. Коэффициент наполнения определяем по формуле

$$\eta_{V(i)} = \frac{483{,}3 \cdot G_{\mathrm{T}(i)} \cdot \alpha_{(i)} \cdot \rho_{\mathrm{в}}}{V_h \cdot n_e \cdot Z},$$

где $\rho_{\mathrm{в}} = \rho_0 \cdot \dfrac{P_0 \cdot 273}{0{,}101325 \cdot T_0}$ – плотность воздуха, кг/м^3, на впуске в ДВС.

11. Коэффициент остаточных газов определяем по формуле, предложенной профессором Салминым В.В.:

$$\gamma_{(i)} = 1 - \frac{\ell_0 \cdot \alpha_{(i)}}{\ell_0 \cdot \alpha_{(i)} + 1},$$

12. Полученные в ходе расчетов данные сводят в табл. 2.4. и строят нагрузочные характеристики: $G_{\mathrm{т}} = f(N_e)$; $g_e = f(N_e)$; $\alpha = f(N_e)$; $\gamma = f(N_e)$; $\eta_V = f(N_e)$; $P_{\text{Я}} = f(N_e)$; $P_{\mathrm{м}} = f(N_e)$; $\eta_{\mathrm{м}} = f(N_e)$; $\eta_e = f(N_e)$ как для результатов экспериментальных, так и теоретических исследований.

Протокол лабораторных испытаний двигателя

Дата испытаний_____

Двигатель (марка)_____

Барометрическое давление_____, мм.рт.ст.

Частота вращения коленчатого вала_____, мин$^{-1}$.

Испытание проводили студенты группы _____

№ п/п	$P_т$, кГм	$\Delta G_т$, г	$\Delta\tau$, с	$t_о$, °С	$t_ж$, °С	$t_м$, °С	$P_{масл}$, мПа	H, мм вд.ст.	N_e, кВт	$G_т$, кг/ч	g_e, г/(кВт ч)	$G_{в.д}$, кг/ч	$G_о$, кг/ч	$G_{в.т.}$ кг/ч	α	η_V	η_e
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

Примечание: *При выполнении испытаний колонки 1 и 2 протокола заполняются перед началом эксперимента. Колонки 3–9 заполняются студентами в ходе проведения эксперимента. Колонки 10–18 – по результатам расчета. В ходе обработки опытных данных используются формулы, приведенные в табл. 2.1 подразд. 2.3 лабораторного практикума. На основании полученных данных строятся экспериментальные кривые нагрузочной характеристики.*

Протокол моделирующего (теоретического) эксперимента

Двигатель (марка)_____

Барометрическое давление_____, МПа;

Температура окружающей среды _____, К;

Плотность воздуха _____, кг/м^3;

Число цилиндров в двигателе _____;

Максимальные обороты двигателя _____, мин$^{-1}$;

Обороты двигателя при которых производится снятие характеристики _____, мин$^{-1}$;

Ход поршня _____, м;

Диаметр цилиндра _____, м;

Рабочий объем 1 цилиндра _____, л;

Степень сжатия в ДВС_____

Максимальная эффективная мощность _____, кВт;

Удельный расход топлива при *Nен* _____, г/(кВт ч);

Низшая теплота сгорания топлива _____, кДж/кг.

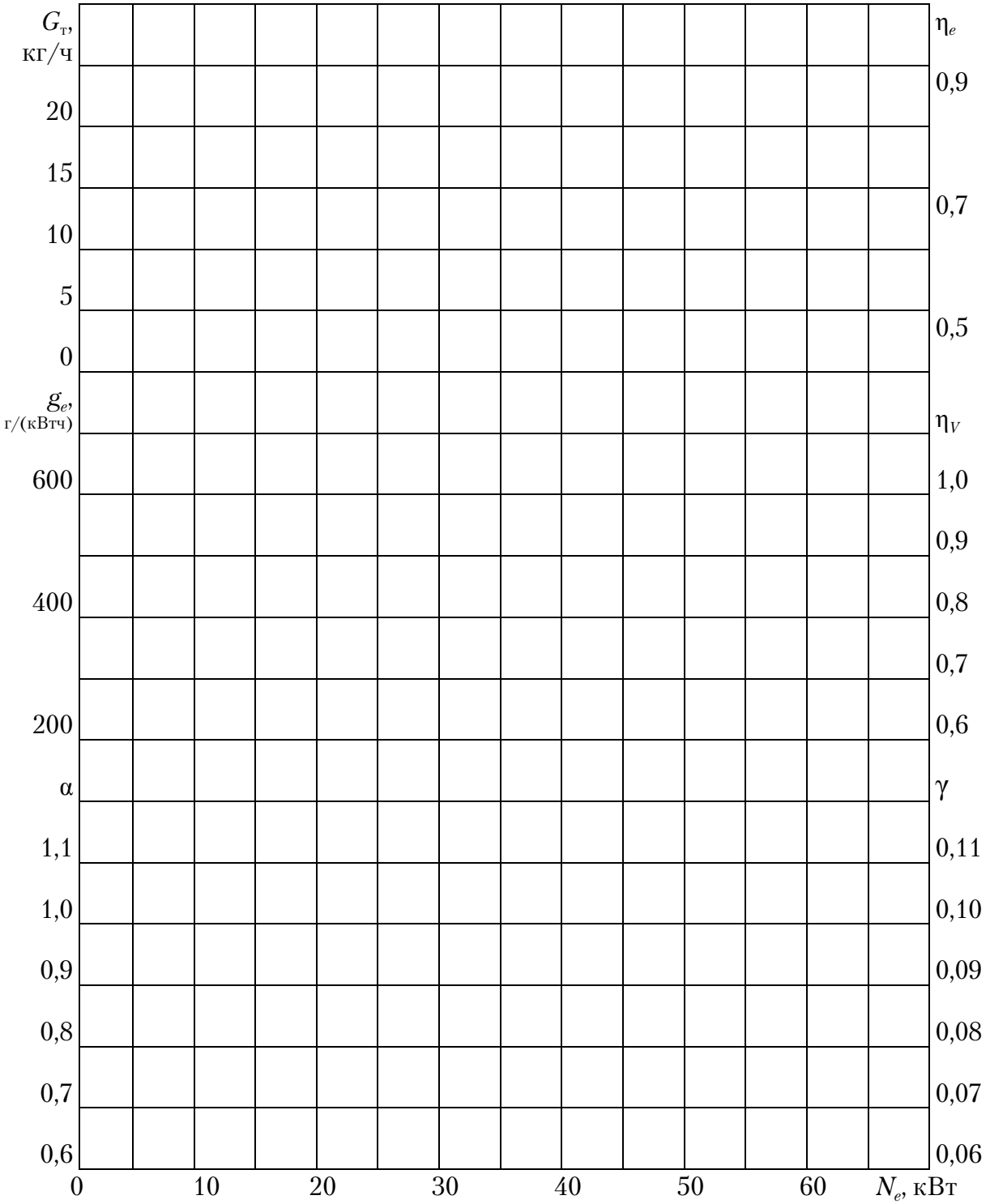
P_e, МПа	N_e, кВт	$P_м$, МПа	P_i, МПа	$\eta_м$	$G_т$, кг/ч	g_e, г/(кВт ч)	η_e	α	η_V	γ	$G_{в.д}$, кг/ч
0	0										

Нагрузочная характеристика карбюраторного двигателя

Место проведения испытания
ДВС_____
Дата_____

Двигатель (марка) _____

Барометрическое
давление_____



Содержание отчета

1. Подготовьте конспект основных теоретических положений, приведенных в лабораторной работе.

2. Заполните протокол экспериментальных испытаний двигателя.

3. Выполните моделирующие расчеты и заполните таблицу

4. Постройте нагрузочную характеристику двигателя, полученную экспериментальным и расчетным путем.

5. Объясните характер протекания кривых η_e, α, η_V, g_e, G_T.

6. Сделайте сравнительный анализ полученных данных и запишите выводы по лабораторной работе.

Вопросы для самопроверки

1. Дайте определение и назовите условия снятия нагрузочной характеристики.
2. Почему линия изменения часового расхода топлива является практически прямой?
3. Как и почему так изменяется коэффициент избытка воздуха в условиях нагрузочной характеристики?
4. Почему механический КПД двигателя в условиях нагрузочной характеристики с увеличением нагрузки увеличивается?
5. Как изменяется условное давление механических потерь в условиях нагрузочной характеристики?
6. Почему удельный расход топлива в условиях нагрузочной характеристики изменяется параболически?
7. Как и почему изменяется эффективный КПД двигателя?
8. Как изменяется характер протекания кривой индикаторного КПД в условиях нагрузочной характеристики?
9. Как изменяется характер протекания индикаторной мощности в условиях нагрузочной характеристики? Что непосредственно влияет на характер ее протекания?
10. Как и почему так изменяется коэффициент наполнения в условиях нагрузочной характеристики?
11. Как и почему так изменяется коэффициент остаточных газов в условиях нагрузочной характеристики?
12. Каковы условия снятия нагрузочной характеристики?
13. Почему при открытии дросселя больше чем на 85–95 %, расходы топлива могут резко возрасти?
14. Чему равен удельный эффективный расход топлива на холостом ходу?
15. Как зависит давление во впускном трубопроводе от нагрузки на двигатель?
16. Что такое мощностной и экономичный составы горючей смеси?

Лабораторная работа № 2.4
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ДВС МЕТОДАМИ ВИЛЛАНСА И РАСХОДА ТОПЛИВА

Цель работы: Научиться определять механические потери ДВС различными методами (методом расхода топлива и графическим методом Вилланса).

Задачи работы

1. Изучить теоретические основы различных методов определения механических потерь ДВС (метод прокручивания коленчатого вала, метод выбега, метод расхода топлива, метод отключения цилиндров, метод индицирования, метод Вилланса).
2. Освоить методику определения механических потерь ДВС по методу расхода топлива и методом Вилланса.
3. Проанализировать путем сравнения экспериментальный и графический методы определения механических потерь. Оценить точность методов.

Теоретические положения

Определение. Характеристикой механических потерь называется графическая зависимость мощности механических потерь ($N_м$), среднего условного давления механических потерь ($P_м$) и механического КПД ($\eta_м$) в условиях скоростного или нагрузочного режимов работы ДВС.

Условия снятия. Условия снятия характеристики механических потерь определяется методом снятия этих характеристик. В частности, методы расхода топлива и Вилланса основаны на снятии нагрузочной характеристики двигателя; методы прокручивания – на снятии скоростной характеристики двигателя, а методы индицирования, выбега и отключения цилиндров снимаются (как правило) в условиях работы двигателя на холостом ходу.

Последовательность выполнения лабораторной работы. Определение механических потерь методом расхода топлива и методом Вилланса основано на снятии нагрузочной характеристики ДВС.

Нагрузочную характеристику снимают при постоянной частоте вращения коленчатого вала, изменяя положение дросселя от минимального открытия, соответствующего холостому ходу, до полного открытия. Поскольку автомобильный двигатель работает в широком диапазоне частот вращения, то для выявления его топливной экономичности необходимо снять несколько нагрузочных характеристик при различных значениях частоты вращения вала. Нагрузку при испытаниях варьируют с помощью обкаточно-тормозной установки изменением степени открытия дроссельной заслонки, поддерживая постоянной частоту вращения вала.

Регулировки состава горючей смеси и угла опережения зажигания при снятии нагрузочной характеристики обеспечиваются автоматической работой соответствующих систем двигателя. Тормозной стенд должен быть оснащен устройством, позволяющим фиксировать дроссельную заслонку в произвольном положении, начиная от положения на упоре при работе на холостом ходу и до ее полного открытия.

Первый опыт проводят при наименьшем открытии дроссельной заслонки, обеспечивающем устойчивую работу двигателя в режиме холостого хода на заданной частоте вращения коленчатого вала.

Во втором и последующих опытах увеличивают нагрузку двигателя, приоткрывая дроссельную заслонку на 10...12°. Последний опыт проводят при полностью открытой дроссельной заслонке. Для более точного определения деления показателей в зоне минимальных удельных расходов топлива, (при нагрузке более 70 % от максимальной) желательно проводить опыты чаще.

После завершения эксперимента, полученные данные заносятся в протокол испытаний и подвергаются обработке с использованием формул, приведенных в табл. 2.1. Затем на основании полученных данных строят нагрузочную характеристику, которая потом подвергается анализу и сравнению с результатами моделирующих расчетов по методу графического определения механических потерь (методом Вилланса).

Основные расчетные формулы для изучения механических потерь методом расхода топлива и методом Вилланса

1. Для построения и расчетов характеристики механических потерь воспользуйтесь результатами нагрузочной характеристики карбюраторного двигателя, представленные в лабораторной работе 2.3, и перенесите их в протокол испытаний лабораторной работы 2.4. Используйте в своих дальнейших исследованиях для расчета механических потерь такие параметры, как N_e (эффективная мощность), P_e (среднее эффективное давление) и $G_т$ (часовой расход топлива).

2. Определите механический КПД по формуле

$$\eta_{м(i)} = 1 - \frac{G_{T(i)}}{G_{T(max)}},$$

где $G_{T(i)}$ – часовой расход топлива в i-й точке нагрузочной характеристики, кг/ч.

$G_{T(max)}$ – расход топлива в последней точке нагрузочной характеристики, соответствующий максимальной мощности двигателя, кг/ч.

Примечание. При $N_e = 0$ кВт, $\eta_м = 0$.

3. Вычислив значения механического КПД в каждой точке нагрузочной характеристики, определяют индикаторную мощность ДВС по формуле

$$N_{i(i)} = \frac{N_{e(i)}}{\eta_{м(i)}}.$$

4. Зная индикаторную мощность, определяем мощность механических потерь по формуле

$$N_{м(i)} = N_{i(i)} - N_{e(i)}.$$

Примечание: мощность $N_м$ в условиях нагрузочной характеристики является постоянной, не зависящей от нагрузки.

5. Определяем условное давление механических потерь, используя формулу

$$P_{м(i)} = \frac{120 \cdot N_{м(i)}}{V_h \cdot Z \cdot n_e},$$

где V_h – рабочий объём одного цилиндра двигателя, л;
Z – число цилиндров;
n_e – обороты коленчатого вала, мин$^{-1}$.

6. На основании полученных $N_м$, $P_м$ и $\eta_м$ строим графики этих параметров в условиях нагрузочной характеристики.

Примечание: на этом заканчивается расчет методом расхода топлива.

7. После построения линии изменения часового расхода топлива строят графическую зависимость $G_т = f(N_e)$ по методу Вилланса.

По методу Вилланса величина мощности механических потерь определяется по величине, отрезка на отрицательной стороне шкалы мощности (эта отрицательная шкала должна иметь тот же масштаб, что и положительная, на которую отложена мощность N_e).

По методу Вилланса используя линейку, проводят линию, как продолжение линии $G_т = f(N_e)$ за $N_e = 0$ в область отрицательной мощности, а затем, зная масштаб шкалы N и измерив отрезок [ОА], определяют величину $N_м$, умножив длину отрезка в области отрицательной мощности на масштабный коэффициент шкалы мощности по формуле

$$N_м = OA \cdot \mu_{Ne},$$

где μ_{Ne} – масштабный коэффициент шкалы N, кВт/мм.

8. Далее проводим сравнение погрешности метода Вилланса относительно метода расхода топлива по формуле

$$\delta = \left(1 - \frac{N_м^{(\text{Вилланса})}}{N_м^{(\text{расход.топлива})}}\right) \cdot 100\%.$$

9. В заключение работы сделайте выводы о точности графического метода.

Протокол лабораторных испытаний двигателя

Дата испытаний_____

Двигатель (марка)_____

Барометрическое
давление_____, мм рт.ст.

Частота вращения
коленчатого вала_____, мин$^{-1}$.

Испытание проводили студенты группы _____

№ п/п	$P_т$, кГм	$\Delta G_{Т,}$ г	$\Delta\tau$, с	$t_о$, ^oC	$t_ж$, ^oC	$t_м$, ^oC	$P_{масл}$, мПа	H, мм.вд.ст.	N_e, кВт	$G_Т$, кг/ч	$\eta_м$	N_i, кВт	$N_м$, кВт	$P_м$, МПа
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15

Примечание. *При выполнении испытаний колонки 1 и 2 протокола заполняются перед началом эксперимента. Колонки 3–9 заполняются студентами в ходе проведения эксперимента. Колонки 10–15 – по результатам расчета. В ходе обработки опытных данных используются формулы, приведенные в табл. 2.1 подразд. 2.3 лабораторного практикума. На основании полученных данных строятся экспериментальные кривые нагрузочной характеристики.*

Протокол моделирующего (теоретического) эксперимента

Двигатель (марка)_____

Барометрическое давление_____, МПа;

Температура окружающей среды _____, К;

Плотность воздуха _____, кг/м^3;

Число цилиндров в двигателе _____;

Максимальные обороты двигателя _____, мин$^{-1}$;

Обороты двигателя при которых производится снятие характеристики _____, мин$^{-1}$;

Ход поршня _____, м;

Диаметр цилиндра _____, м;

Рабочий объем 1 цилиндра _____, л;

Степень сжатия в ДВС_____

Максимальная эффективная мощность _____, кВт;

Удельный расход топлива при $N_{ен}$ _____, г/(кВт ч);

Низшая теплота сгорания топлива _____, кДж/кг.

Метод расхода топлива							Метод Вилланса		Отклонения, %
							$G_т$, кг/ч	N_e, кВт	
P_e, Мпа	N_e, кВт	$G_т$, кг/ч	$\eta_м$	N_i, кВт	$N_м$, кВт	$P_м$, МПа			δ, %

Нагрузочная характеристика карбюраторного двигателя

Место проведения испытания
ДВС_____
Дата_____

Двигатель (марка) _____

Барометрическое
давление_____

					P, МПа											
					0,75											
					0,60											
					0,45											
					0,30											
					0,15											
					η											
					0,9											
					0,6											
					0,3											
					$G_т$, кг/ч											
					20											
					15											
					10											
					5											
					0											

- N, кВт −20 −10 0 +10 +20 +30 +40 +N, кВт

Содержание отчета

1. Подготовьте конспект основных теоретических положений, приведенных в лабораторной работе.
2. Заполните протокол экспериментальных испытаний двигателя.
3. Выполните моделирующие расчеты и заполните таблицы.
4. Постройте нагрузочную характеристику двигателя, полученную экспериментальным путем.
5. Используя графический метод Вилланса, определите величину мощности механических потерь и определите величину условного давления механических потерь.
6. Сделайте сравнительный анализ полученных данных и запишите выводы по лабораторной работе.

Вопросы для самопроверки

1. Перечислите основные методы определения механических потерь в ДВС.
2. Как и почему так изменяется механический КПД в условиях скоростного режима работы двигателя?
3. Почему механический КПД двигателя в условиях нагрузочного режима работы двигателя увеличивается?
4. Как изменяется условное давление механических потерь в условиях нагрузочной характеристики?
5. Как измеряются механические потери по методу расхода топлива.
6. Как и почему изменяется по степенной зависимости мощность механических потерь в условиях скоростного режима работы двигателя?
7. Как определяется мощность механических потерь по методу прокручивания коленчатого вала?
8. Как определяется условное давление механических потерь двигателя по методу индицирования двигателя?
9. Перечислите составляющие механических потерь в ДВС.
10. Чем парциальный метод определения механических потерь схож с методом отключения цилиндров и в чем их различие?
11. Каковы условия снятия механических потерь методом прокручивания?
12. В чем преимущество и в чем недостаток метода расхода топлива по сравнению с методом прокручивания?
13. Недостатки и преимущества метода Вилланса по отношению к методу прокручивания коленчатого вала?
14. Почему условное давление механических потерь двигателя в условиях скоростного режима работы имеет линейный характер?
15. Какая из составляющих механических потерь имеет большее значение и почему?

Лабораторная работа № 2.5
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИВЕДЕННОГО МОМЕНТА ИНЕРЦИИ ВРАЩАЮЩИХСЯ МАСС ДВИГАТЕЛЯ МЕТОДОМ ВЫБЕГА

Цель работы: Научиться оценивать параметры двигателя, в том числе и определять момент инерции его вращающихся масс с использованием метода выбега.

Задачи работы

1. Используя уравнение Лагранжа 2-го рода, определить момент инерции карбюраторного двигателя.
2. Используя уравнение Лагранжа 2-го рода, определить момент инерции вращающихся частей дизеля.
3. Построить график изменения углового ускорения коленчатого вала двигателя и времени выбега в зависимости от оборотов коленчатого вала. Проанализировать полученные результаты.
4. Сравните полученные моменты инерции со справочными данными.

Теоретические положения

Метод выбега является одним из наиболее простых и весьма точных методов определения механических потерь ДВС, который может применяться для проверки его технического состояния без снятия с автомобиля. В основе метода лежит известное из теоретической механики уравнение Лагранжа.

В соответствии с этим уравнением

$$M_{\text{с}} = I_{\text{вр}} \frac{\Delta\omega}{\Delta\tau},$$

где $M_{\text{с}}$ – момент сопротивления движению (вращению), Н м.
$I_{\text{вр}}$ – момент инерции вращающихся масс двигателя, кг м^2;
$\Delta\omega$ – изменение угловой частоты вращения коленчатого вала в режиме выбега, с$^{-1}$.
$\Delta\tau$ – изменение времени выбега двигателя при отключении зажигания от максимального момента до его полной остановки, с.

Момент сопротивления ($M_{\text{с}}$), в данном выражении является аналогом момента механических потерь ($M_{\text{м}}$) двигателя. Считая, что $M_{\text{м}} = M_{\text{с}}$, можно определить величину мощности механических потерь, кВт, по формуле

$$N_{\text{м}} = \frac{M_{\text{м}} \cdot n_e}{9550},$$

где n_e – обороты коленчатого вала двигателя, мин$^{-1}$.

Следовательно, зная момент инерции вращающихся масс двигателя, имея простейший тахометр и секундомер, можно диагностировать двигатель, определять качество его ремонта и приработанность всех его деталей в агрегатах и узлах после обкатки.

Поэтому вопрос определения $M_м$ является важным практическим вопросом для специалиста, диагностирующего двигатель.

Условия снятия характеристики: тепловой режим двигателя нормальный; угол опережения зажигания (для бензинового ДВС) оптимальный, соответствующий требованиям завода изготовителя; угол опережения впрыска топлива (для дизеля) оптимальный. Двигатель испытывается на холостом ходу в режиме «разгона-выбега». Изменяется положение рейки топливного насоса (дизеля) или степень открытия дросселя (для бензинового) ДВС.

Последовательность выполнения лабораторной работы. Определение механических потерь методом выбега основано на определении момента механических потерь двигателя путем замера углового ускорения при работе двигателя на холостом ходу в режиме выбега в период сброса расхода топлива с максимальной подачи до минимальной при условии, что известен приведенный момент инерции вращающихся масс двигателя, который можно считать постоянной величиной.

Если же момент инерции неизвестен, то его можно определить на основании экспериментального исследования. Для определения момента инерции двигатель подвергают испытанию путем снятия характеристики условных механических потерь методом прокручивания коленчатого вала. Для этого двигатель, установленный на обкаточно-тормозной стенд, раскручивают балансирной машиной, измеряя по тахометру обороты двигателя, а по динамометру – силу сопротивления прокручиванию. Полученные значения обрабатываются, и по величине полученной мощности механических потерь определяется зависимость изменения момента механических потерь ДВС от скоростного режима работы, которая имеет линейный характер.

Зная уравнение для изменения момента механических потерь от скоростного режима работы двигателя, приступают к определению момента инерции вращающихся частей с использованием метода выбега.

Испытания двигателя по методу выбега проводят следующим образом. При работе двигателя на минимально устойчивых оборотах

холостого хода коленчатого вала двигателя путем воздействия на орган топливоподачи резко увеличивают подачу топлива и переводят тем самым двигатель в режим разгона. По тахометру контролируют частоту вращения коленчатого вала двигателя. Как только двигатель достигает максимальной частоты вращения коленчатого вала, резко сбрасывают до минимума подачу топлива и переводят его в режим выбега и производят с помощью секундомера замер времени выбега до минимально устойчивых оборотов работы двигателя или до полной его остановки. Повторяя многократно такой опыт, получают несколько значений показателя времени, который потом усредняют и используют для определения углового ускорения выбега коленчатого вала двигателя. Зная закон изменения момента механических потерь ДВС и его угловой скорости, определяют момент инерции вращающихся масс двигателя.

После завершения эксперимента полученные данные заносятся в протокол испытаний и подвергаются обработке с использованием формул, приведенных в табл. 2.1. Затем на основании полученных данных строят зависимости изменения момента механических потерь, углового ускорения и времени выбега, которые потом подвергается анализу и сравнению с результатами моделирующих расчетов.

Основные расчетные формулы для определения момента инерции, моделируя метод выбега

1. Для выполнения моделирующего эксперимента воспользуемся известными из теории ДВС зависимостями для определения условного давления механических потерь, МПа:

– для бензинового ДВС, имеющее вид:

$$P_{\text{м}} = 0{,}034 + 0{,}0113 \cdot \left(\frac{S \cdot n_e}{30} \right),$$

– для дизеля, имеющее вид:

$$P_{\text{м}} = 0{,}089 + 0{,}0118 \cdot \left(\frac{S \cdot n_e}{30} \right),$$

2. Используя справочные данные о минимально устойчивых оборотах вращения коленчатого вала двигателей (дизеля и бензинового ДВС), а также о максимальных (номинальных) частотах его вращения и считая зависимости $P_{\text{м}} = f(n_e)$ как для дизеля, так и для бензинового ДВС линейными, подставьте эти два значения оборотов в формулы для

определения условного давления механических потерь и постройте две прямые линии изменения $P_м$ в зависимости от скоростного режима.

3. Используя масштаб построенных графиков, снимите показания $P_{м(i)}$, и используя формулу вида

$$N_{м(i)} = \frac{P_{м(i)} \cdot V_h \cdot Z \cdot n_e}{120},$$

где V_h – рабочий объём одного цилиндра двигателя, л;

Z – число цилиндров;

n_e – обороты коленчатого вала, мин$^{-1}$,

определите значения мощности механических потерь ($N_{м(i)}$) не менее чем для 5 точек в промежутке от минимально устойчивых оборотов (n_{ei}) вращения коленчатого вала двигателей (дизеля и бензинового ДВС), до максимальных (номинальных) частот вращения.

4. Полученные значения занесите в таблицу моделирующего эксперимента и рассчитайте значения величин моментов механических потерь для всех 7 точек, используя формулу вида

$$M_{м(i)} = 9554 \cdot \frac{N_{м(i)}}{n_{e(i)}}.$$

5. Так как в режиме выбега происходит изменение оборотов двигателя от некоторого значения до 0, то определим величину угловой скорости (ω) и ее изменения (Δω) по следующим формулам:

$$\omega_i = \frac{\pi \cdot n_{ei}}{30},$$

$$\Delta\omega_i = \left|0 - \omega_i\right|.$$

6. Зная значения экспериментально определенного изменения времени Δτ от начала выбега до остановки двигателя (или для моделирующего эксперимента закон изменения $\Delta\tau = f(n_e)$), определим величину углового ускорения, с$^{-2}$ по формуле

$$\varepsilon_i = \frac{\Delta\omega_i}{\Delta\tau_{(i)}}.$$

Примечание. Для моделирующего эксперимента примите следующие законы изменения $\Delta\tau = f(n_e)$, полученные профессором Салминым В.В.:

– для бензинового ДВС

$$\Delta\tau_{(i)} = 4{,}327 \cdot \left[\frac{n_{e(i)}}{n_{e(н)}}\right] \cdot \left(0{,}9 + 1{,}1 \cdot \left(\frac{n_{e(i)}}{n_{e(н)}}\right) - \left(\frac{n_{e(i)}}{n_{e(н)}}\right)^2\right),$$

где $n_{e(i)}$ – текущие значения скоростного режима работы двигателя, мин$^{-1}$;

$n_{e(н)}$ – величина номинального (максимального) скоростного режима работы двигателя, принимаемая по справочным данным или их технической характеристике двигателя, мин$^{-1}$;

– для дизеля

$$\Delta\tau_{(i)} = 2{,}223 \cdot \left[\frac{n_{e(i)}}{n_{e(\text{н})}}\right] \cdot \left(0{,}9 + 1{,}1 \cdot \left(\frac{n_{e(i)}}{n_{e(\text{н})}}\right) - \left(\frac{n_{e(i)}}{n_{e(\text{н})}}\right)^2\right),$$

7. Определив значения $M_{\text{м}i}$ и ε_i, переходят к расчету моментов инерции вращающихся частей двигателя. При этом используют следующие зависимости:

$$I_{\text{вр}} = I_{\text{дв}};$$

$$I_{\text{вр}i} = \frac{M_{\text{мш}}}{\varepsilon_i}.$$

8. Так как при многочисленных замерах результаты будут иметь различные значения их необходимо усреднить. Для этого воспользуйтесь формулой

$$I_{\text{вр}} = \frac{\sum I_{\text{вр}_i}}{m},$$

где m – количество замеренных величин (рекомендуется $m = 7$).

9. На основании полученных данных строят графики: $\varepsilon = f(n_e)$; $\Delta\tau = f(n_e)$; $M_{\text{м}} = f(n_e)$;

10. Зная, что $M_{\text{м}} = f(n_e)$ изменится линейно, графически определяем значения $M_{\text{м}}^{\text{х.х}}$ при $n_e = 0$. Полученное значение $M_{\text{м}}^{\text{х.х}}$ является пусковым моментом двигателя.

11. На основании полученных результатов в заключение работы необходимо сделать сравнительный анализ величины ε, $\Delta\tau$ и $M_{\text{м}i}$, а также $M_{\text{м}}^{\text{х.х}}$ для дизельного и бензинового ДВС.

Протокол лабораторных испытаний бензинового двигателя

Дата испытаний_____

Двигатель (марка)_____

Барометрическое
давление_____, мм рт.ст.

Испытание проводили студенты группы _____

№ п/п	n_e, об/мин	$P_т$, кГм	$t_о$, °С	$t_ж$, °С	$t_м$, °С	$P_{масл}$, мПа	H, мм вд.ст.	$N_м$, кВт	$M_м$, Н м
1	2	3	5	6	7	8	9	10	11

Протокол лабораторных испытаний дизеля

Дата испытаний_____

Двигатель (марка)_____

Барометрическое
давление_____, мм рт.ст.

Испытание проводили студенты группы _____

№ п/п	n_e, об/мин	$P_т$, кГм	$t_о$, °С	$t_ж$, °С	$t_м$, °С	$P_{масл}$, мПа	H, мм вд.ст.	$N_м$, кВт	$M_м$, Н м
1	2	3	5	6	7	8	9	10	11

Примечание. *При выполнении испытаний колонки 1 и 2 протокола заполняются перед началом эксперимента. Колонки 3–9 заполняются студентами в ходе проведения эксперимента. Колонки 10 и 11 – по результатам расчета. В ходе обработки опытных данных используются формулы, приведенные в табл. 2.1 подразд. 2.3 лабораторного практикума. На основании полученных данных строятся экспериментальные кривые характеристики механических потерь.*

Протокол моделирующего (теоретического) эксперимента для бензинового ДВС

Число цилиндров в двигателе _____; Ход поршня _____, м;

Максимальные обороты двигателя_____, мин$^{-1}$; Диаметр цилиндра _____, м;

Минимальные обороты двигателя _____, мин$^{-1}$; Рабочий объем 1 цилиндра _____, л;

Результаты определения момента инерции бензинового ДВС _____							
n_e, мин$^{-1}$	$N_м$, кВт	$M_м$, Нм	ω, с$^{-1}$	Δτ, с	Δω	ε	$I_{вр}$, кг м^2
					Ср. значение:		

Протокол моделирующего (теоретического) эксперимента для дизеля

Число цилиндров в двигателе _____; Ход поршня _____, м;

Максимальные обороты двигателя_____, мин$^{-1}$; Диаметр цилиндра _____, м;

Минимальные обороты двигателя _____, мин$^{-1}$; Рабочий объем 1 цилиндра _____, л;

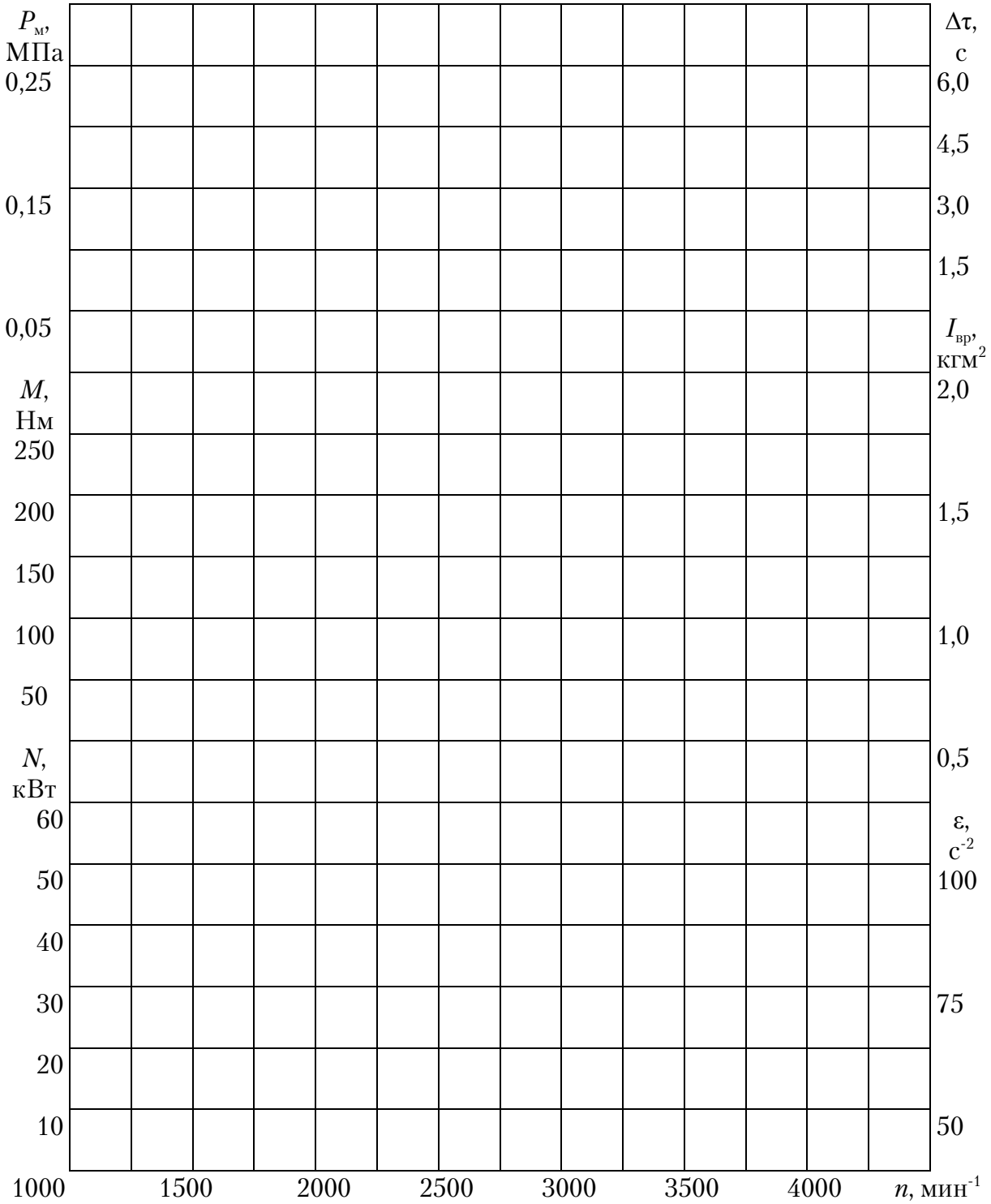
Результаты определения момента инерции дизеля _____							
n_e, мин$^{-1}$	$N_м$, кВт	$M_м$, Нм	ω, с$^{-1}$	Δτ, с	Δω	ε	$I_{вр}$, кг м^2
					Ср. значение:		

Графики зависимостей для определения момента инерции двигателей

Место проведения испытания ДВС_____
Дата_____

Двигатель (марка) _____

Барометрическое давление_____



Содержание отчета

1. Подготовьте конспект основных теоретических положений, приведенных в лабораторной работе.
2. Заполните протокол экспериментальных испытаний двигателя.
3. Выполните моделирующие расчеты и заполните таблицы.
4. Постройте графические зависимости механических потерь двигателя, полученные экспериментальным и расчетным путем. Дайте их анализ.
5. Постройте графические зависимости $\varepsilon = f(n_e)$; $\Delta\tau = f(n_e)$; $I_{вр} = f(n_e)$, полученные экспериментальным и расчетным путем. Дайте их анализ.
6. Сделайте сравнительный анализ полученных данных и запишите выводы по лабораторной работе.

Вопросы для самопроверки

1. Как и почему так изменяется мощность механических потерь в условиях скоростного режима работы двигателя?
2. Почему момент механических потерь двигателя изменяется линейно в условиях скоростного режима работы?
3. Как изменяется условное давление механических потерь в условиях скоростной характеристики?
4. Как измеряются механические потери по методу прокручивания коленчатого вала.
5. Как определяется момент инерции двигателя с помощью метода выбега?
6. Как определяется мощность механических потерь по методу прокручивания коленчатого вала?
7. Как определяется условное давление механических потерь двигателя по методу выбега?
8. Как определяется пусковой момент двигателя?
9. Каковы условия снятия механических потерь методом выбега?
10. В чем преимущество и недостаток метода выбега по сравнению с методом прокручивания?
11. Как изменяется угловое ускорение вращающихся частей двигателя в зависимости от скоростного режима работы? Чем объясняется такой характер этой зависимости?
12. Почему условное давление механических потерь двигателя в условиях скоростного режима работы имеет линейный характер?
13. Как изменяется момент инерции вращающих деталей двигателя в зависимости от скоростного режима работы? Чем объясняется такой характер этой зависимости?
14. Объясните физический смысл момента инерции, и какова его размерность?

Лабораторная работа № 2.6
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДИЗЕЛЯ В УСЛОВИЯХ РЕГУЛЯТОРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Цель работы: Исследовать экспериментальным и теоретическим путем характер изменения показателей дизеля в условиях регуляторной характеристики от скоростного режима работы.

Задачи работы

1. Изучить теоретические основы снятия скоростной регуляторной характеристики дизеля.
2. Освоить методику проведения эксперимента и обработки данных.
3. Проанализировать характер изменений показателей дизеля в условиях скоростной регуляторной характеристики, полученных экспериментальным и расчетным путем.

Теоретические положения

Определение. Регуляторной характеристикой дизеля называется графическая зависимость основных показателей двигателя от изменения скоростного режима (частоты вращения коленчатого вала ДВС) при работе двигателя на всережимном регуляторе.

Условия снятия характеристики. Регуляторная скоростная характеристика дизеля снимается на обкаточно-тормозном стенде. В условиях стендовых испытаний изменение скоростного режима осуществляется путем изменения нагрузки на тормозном стенде. Температурный режим поддерживается нормальный, рекомендованный заводом-изготовителем (температура охлаждающей жидкости равна температуре масла ($t_в = t_м$)). Угол опережения впрыска топлива оптимальный, соответствующий требованиям завода-изготовителя. Регулировки ТНВД оптимальные.

Последовательность выполнения лабораторной работы. Снятие регуляторной скоростной характеристики происходит следующим образом. Прогрев двигатель, увеличивают подачу топлива и одновременно нагружают его с помощью тормозного устройства так, чтобы на режиме полной подачи топлива двигатель развивал минимальное устойчивое число оборотов (n_{min}). После необходимого корректирования теплового состояния двигателя и выдержки его на стабильном режиме работы не менее минуты производят замеры нужных параметров. Далее нагрузку постепенно снимают, добиваясь возрастания скорости вращения вала двигателя на 250 или 500 мин$^{-1}$; после выхода на установившийся режим работы делают новые замеры и т.д., пока

частота вращения вала не достигнет вначале номинального значения, а затем максимальных оборотов при работе на регуляторе. Для выявления более достоверного протекания регуляторной скоростной характеристики замеры повторяют, последовательно нагружая двигатель и уменьшая частоту вращения до минимальной.

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

После завершения эксперимента полученные данные заносятся в протокол испытаний и подвергаются обработке с использованием формул приведенных в табл. 2.1. Затем на основании полученных данных строят регуляторную скоростную характеристику, которая потом подвергается анализу и сравнению с результатами моделирующих расчетов.

Основные расчётные формулы, применяемые для математического моделирования регуляторной характеристики дизеля

1. Эффективная мощность,кВт, определяется по формуле Лейдермана:

$$N_{e(i)} = N_{e(\text{н})} \cdot \left[\frac{n_{e(i)}}{n_{e(\text{н})}}\right] \cdot \left(0{,}5 + 1{,}5 \cdot \left[\frac{n_{e(i)}}{n_{e(\text{н})}}\right] - \left[\frac{n_{e(i)}}{n_{e(\text{н})}}\right]^2\right),$$

где $n_{e(i)}$ – текущие значения скоростного режима работы двигателя, мин$^{-1}$;

$n_{e(\text{н})}$ – величина номинального (максимального) скоростного режима работы двигателя, принимаемая по справочным данным или по технической характеристике двигателя, мин$^{-1}$;

$N_{e(\text{н})}$ – величина номинальной (максимальной) эффективной мощности двигателя, принимаемая по справочным данным или по технической характеристике двигателя, кВт.

2. Эффективный момент, Н м, определяем по формуле

$$M_{e(i)} = 9550 \cdot \frac{N_{e(i)}}{n_{e(i)}}.$$

3. Удельный эффективный расход топлива, г/(кВт·ч), определяем по формуле

$$g_{e(i)} = g_{e(\text{н})}\left[1{,}55 - 1{,}55 \cdot \left(\frac{n_{e(i)}}{n_{e(\text{н})}}\right) + \left(\frac{n_{e(i)}}{n_{e(\text{н})}}\right)^2\right],$$

где $g_{e(н)}$ – удельный номинальный (максимальный) эффективный расход топлива, принимаемый по справочным данным или на основании технической характеристики двигателя, г/(кВт ч).

4. Часовой расход топлива, кг/ч, находим по формуле

$$G_{T(i)} = g_{e(i)} \cdot N_{e(i)} \cdot 10^3.$$

5. Давление механических потерь, МПа, дизеля определяем по формуле

$$P_{м(i)} = 0{,}089 + 0{,}0118 \cdot \left(\frac{S \cdot n_{e(i)}}{30} \right),$$

где S – ход поршня, м.

6. Давление среднее эффективное:

$$P_{e(i)} = \frac{N_{e(i)} \cdot 120}{V_h \cdot Z \cdot n_{e(i)}},$$

где V_h – рабочий объем одного цилиндра двигателя, л;

Z – число цилиндров двигателя.

7. Мощность механических потерь определяем по формуле

$$N_{м(i)} = \frac{P_{м(i)} \cdot V_h \cdot Z \cdot n_{e(i)}}{120}.$$

8. Мощность индикаторная будет равна:

$$N_{i(i)} = N_{e(i)} + N_{м(i)}.$$

9. Давление среднее индикаторное:

$$P_{i(i)} = \frac{N_{i(i)} \cdot 120}{V_h \cdot n_{e(i)} \cdot Z}.$$

10. Удельный индикаторный расход топлива находим по формуле

$$g_{i(i)} = \frac{G_{T(i)} \cdot 10^3}{N_{i(i)}}.$$

11. Эффективный КПД будет определяться по формуле

$$\eta_{e(i)} = \frac{3600}{H_u \cdot g_{e(i)}}$$

где H_u – низшая теплота сгорания дизтоплива (справочное значение), H_u = 41,5 МДж/кг.

12. Индикаторный КПД определяем как:

$$\eta_{i(i)} = \frac{3600}{H_u \cdot g_{i(i)}}.$$

13. Механический КПД находим по формуле

$$\eta_{м(i)} = \frac{N_{e(i)}}{N_{i(i)}} = \frac{P_{e(i)}}{P_{i(i)}}.$$

19. Часовой расход топлива на холостом ходу:

$$G_{T(i)}^{x.x} = G_{T\max} \cdot \left(1 - \eta_{м(i)}\right).$$

20. Коэффициент избытка воздуха. Данный коэффициент для моделирующих расчетов можно определить по формуле, полученной профессором Салминым В.В. для дизельных ДВС и имеющей вид:

– для дизелей без наддува

$$\alpha_{(i)} = 1{,}8 - \frac{625}{n_{e(i)}};$$

– для дизелей с наддувом

$$\alpha_{(i)} = 2{,}6 - \frac{667}{n_{e(i)}}.$$

21. Количество воздуха действительно поступившего в цилиндры двигателя:

$$G_{в.д(i)} = G_{T(i)} \cdot 14{,}8 \cdot \alpha_{(i)}.$$

22. Коэффициент наполнения:

$$\eta_{V(i)} = \frac{483{,}3 \cdot G_{T(i)} \cdot \alpha_{(i)} \cdot \rho_в}{V_h \cdot n_{e(i)} \cdot Z},$$

где $\rho_в = \rho_0 \cdot \dfrac{P_0 \cdot 273}{0{,}101325 \cdot T_0}$ – плотность воздуха, кг/м^3, на впуске в ДВС..

23. Коэффициент остаточных газов определяем по формуле, предложенной профессором Салминым В.В.:

$$\gamma_{(i)} = 1 - \frac{\ell_0 \cdot \alpha_{(i)}}{\ell_0 \cdot \alpha_{(i)} + 1},$$

где ℓ_0 – теоретическое количество воздуха, необходимое для полного сгорания топлива, кг/кг; для дизтоплива эта величина принимается при моделирующих расчетах в дизелях, равной 14,8 кг/кг.

Примечание: формулы, приведенные в пунктах 1–23, применяются для расчета параметров регуляторной ветви характеристики. Для расчета безрегуляторной ветви характеристики применяют формулы, отличные от приведенных выше.

24. При моделировании параметров регуляторной ветви характеристики максимальные обороты $n_{e(\max)}$ принимают по технической характеристике или вычисляют по формуле

$$n_{e(\max)} = \frac{1+\delta_{\text{нр}}}{1-\delta_{\text{нр}}} \cdot n_{e(\text{н})},$$

где $\delta_{\text{нр}}$ – коэффициент неравномерности регулятор частоты вращения, $\delta_{\text{нр}} = 0{,}07 \div 0{,}08$;

$n_{e(\text{н})}$ – номинальные обороты двигателя, мин$^{-1}$.

В области регуляторной ветви характеристики для расчета берут всего 3 точки:

– первая соответствует параметрам при $n_{ен}$;

– вторая $n_{e(i)} = \dfrac{n_{e(\text{н})} + n_{e(\max)}}{2}$;

– третья $n_{e(\max)}$.

25. Момент M_e в области регуляторной ветви характеристики изменяется линейно от $M_{e(\text{н})}$ при $n_{e(\text{н})}$ до 0 при $n_{e(\max)}$.

26. Мощность N_e в области регуляторной ветви изменяется линейно от $N_{e(\text{н})}$ при $n_{e(\text{н})}$ до 0 при $n_{e(\max)}$.

27. Часовой расход топлива, в регуляторной верви характеристики также изменяется линейно от $G_{\text{Т(н)}}$ при $n_{e(\text{н})}$ до $G_{\text{Т}}^{\text{х.х}}$ при $n_{e(\max)}$, который определяется по формуле:

$$G_{\text{Т}}^{\text{х.х}} = G_{\text{Т(н)}} \cdot \left(1 - \eta_{\text{м(н)}}\right),$$

где $G_{\text{Т(н)}}$ – часовой расход топлива при $n_{e(\text{н})}$.

$\eta_{\text{м(н)}}$ – механический КПД, принимается равным отношению

$$\eta_{\text{м(н)}} = \frac{P_{e(\text{н})}}{P_{e(\text{н})} + P_{\text{м(н)}}}.$$

28. Удельный расход топлива в условиях регуляторной ветви характеристики возрастает от $g_{e(\text{н})}$ в при $n_{e(\max)}$. В промежуточной точке при $n_{e(i)}$, g_e определяется по формуле

$$g_{e(i)} = \frac{G_{\text{Т}(i)}}{N_{e(i)}} \cdot 10^3.$$

29. Для определения $P_{\text{м}}$, $N_{\text{м}}$, N_i, g_i, P_i, η_e, η_i, $\eta_{\text{м}}$, $G_{\text{Т}}^{\text{х.х}}$, n_1, α, η_{v} и γ используют те же формулы, что и в пунктах 5–23.

Протокол лабораторных испытаний дизеля

Дата испытаний_____ Двигатель (марка)_____

Барометрическое
давление_____

Испытание проводили студенты группы _____

№ п/п	n_e, об/мин	$P_т$, кГм	$\Delta G_Т$, г	$\Delta\tau$, с	$t_о$, °С	$t_ж$, °С	$t_м$, °С	$P_{мас}$, мПа	H, мм вд.ст	N_e, кВт	$G_Т$, кг/ч	g_e, г/кВтч	M_e, Н·м	$G_{в.д}$, кг/ч	$G_о$, кг/ч	$G_{в.т}$, кг/ч	α	η_V	η_e
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

Примечание: *При выполнении испытаний колонки 1 и 2 протокола заполняются перед началом эксперимента. Колонки 3–10 заполняются студентами в ходе проведения эксперимента. Колонки 11–20 – по результатам расчета. В ходе обработки опытных данных используются формулы, приведенные в табл. 2.1 подразд. 2.3 лабораторного практикума. На основании полученных данных строятся экспериментальные кривые скоростной характеристики, приведенные ниже.*

Протокол моделирующего (теоретического) эксперимента

Двигатель (марка)_____

Барометрическое давление_____, МПа;

Температура окружающей среды _____, К;

Плотность воздуха _____, кг/м^3;

Число цилиндров в двигателе _____;

Номинальные обороты двигателя _____, мин$^{-1}$;

Минимальные обороты двигателя _____, мин$^{-1}$;

Ход поршня _____, м;

Диаметр цилиндра _____, м;

Рабочий объем 1 цилиндра _____, л;

Степень сжатия в ДВС_____

Номинальная эффективная мощность _____, кВт;

Удельный расход топлива при $N_{ен}$ _____, г/(кВт ч);

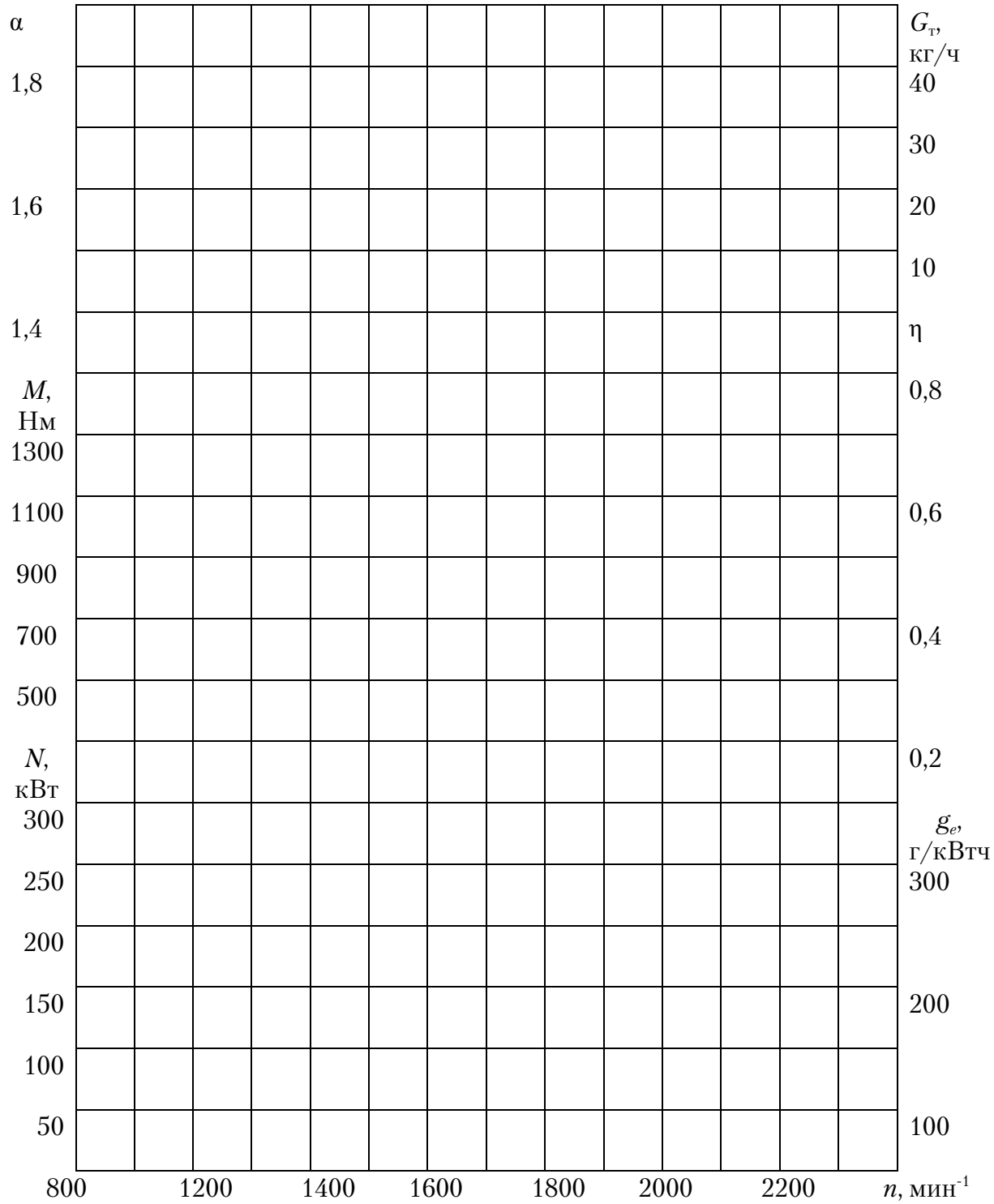
Низшая теплота сгорания топлива _____, кДж/кг.

n_e, мин$^{-1}$	M_e, Н м	N_e, кВт	P_e, МПа	$G_т$, кг/ч	g_e, г/(кВт ч)	$P_м$, МПа	$N_м$, кВт	N_i, кВт	g_i, г/(кВтч)	P_i, МПа	η_e	η_i	$\eta_м$	α	η_V	γ	$G_Т^{х.х}$, кг/ч	$G_{в.д}$, кг/ч
800																		
1000																		
1200																		
1400																		
1600																		
1800																		
2000																		

Регуляторная характеристика дизеля

Место проведения испытания
ДВС_____
Дата_____

Двигатель (марка) _____
Барометрическое давление_____



Содержание отчета

1. Подготовьте конспект основных теоретических положений, приведенных в лабораторной работе.
2. Заполните протокол экспериментальных испытаний двигателя.
3. Выполните моделирующие расчеты и заполните таблицу.
4. Постройте регуляторную характеристику дизеля, полученную экспериментальным и расчетным путем.
5. Объясните характер протекания кривых η_e, α, η_V, g_e, G_T, $M_к$, N_e.
6. Сделайте сравнительный анализ полученных данных и запишите выводы по лабораторной работе.

Вопросы для самопроверки

1. Почему характер изменения показателей дизеля, в условиях регуляторной характеристики, имеет две различные ветви с различным характером протекания?
2. Почему линия изменения часового расхода топлива в регуляторной ветви характеристики является прямой?
3. Как и почему так изменяется коэффициент избытка воздуха в условиях регуляторной характеристики?
4. Почему механический КПД двигателя в условиях регуляторной характеристики с увеличением скоростного режима уменьшается?
5. Как изменяется условное давление механических потерь в условиях регуляторной характеристики?
6. Для чего определяют степень неравномерности работы всережимного регулятора дизеля?
7. Почему в условиях скоростной характеристики механические потери увеличиваются с ростом скоростного режима?
8. Почему удельный расход топлива в условиях скоростной характеристики изменяется параболически?
9. Как и почему изменяется эффективный КПД двигателя в условиях регуляторной характеристики?
10. Как изменяется характер протекания кривой индикаторного КПД в условиях регуляторной характеристики?
11. Почему при максимальном скоростном режиме эффективная мощность двигателя не увеличивается прямопропорционально увеличению скоростного режима, а снижается до нуля?
12. Как изменяется характер протекания крутящего момента дизеля в условиях регуляторной характеристики? Что непосредственно влияет на характер ее протекания?
13. Как экспериментально определяется эффективная мощность двигателя?
14. Какая характеристика называется регуляторной?

Лабораторная работа № 2.7
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДИЗЕЛЯ В УСЛОВИЯХ НАГРУЗОЧНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Цель работы: Исследовать экспериментальным и теоретическим путем характер изменения показателей дизеля от нагрузочного режима работы.

Задачи работы

1. Изучить теоретические основы снятия нагрузочных характеристик.
2. Освоить методику проведения эксперимента и обработки данных.
3. Проанализировать характер изменений показателей дизеля в условиях нагрузочной характеристики, полученных экспериментальным и расчетным путем.

Теоретические положения

Определение. Нагрузочной характеристикой дизеля называется графическая зависимость часового расхода ($G_т$) и удельного часового расхода (g_e), а также других показателей двигателя от изменения нагрузочного режима работы (P_e или N_e). Она позволяет оценить экономичность двигателя на различных нагрузках при заданной частоте вращения коленчатого вала.

Условия снятия характеристик. Нагрузочная характеристика снимается на тормозном стенде при постоянном режиме, температурный режим в системе смазки и охлаждения нормальный ($t_в = t_м$), угол опережения впрыска топлива оптимальный, соответствующий требованиям завода-изготовителя, регулировки ТНВД оптимальные, изменяется нагрузка на тормозе.

Последовательность выполнения лабораторной работы. Нагрузочную характеристику снимают при постоянной частоте вращения коленчатого вала. Поскольку автомобильный дизель работает в широком диапазоне частот вращения, то для выявления его топливной экономичности необходимо снять несколько нагрузочных характеристик при различных значениях частоты вращения вала. Нагрузку при испытаниях варьируют с помощью обкаточно-тормозной установки, поддерживая постоянной частоту вращения вала.

Регулировки состава горючей смеси и угла опережения впрыска топлива при снятии нагрузочной характеристики обеспечиваются автоматической работой соответствующих систем двигателя. Тормозной стенд должен быть оснащен устройством, позволяющим фиксировать положение органа управления подачей топлива в произвольном положении, начиная от положения на упоре при работе на холостом ходу и до полной подачи топлива.

Первый опыт проводят при наименьшей подаче топлива, обеспечивающей устойчивую работу двигателя без нагрузки на заданной частоте вращения коленчатого вала.

Во втором и последующих опытах увеличивают нагрузку двигателя, перемещая рейку топливного насоса так, чтобы нагрузка на динамометре стенда изменялась равномерно от точки к точке. Последний опыт проводят при полной подаче топлива.

После завершения эксперимента полученные данные заносятся в протокол испытаний и подвергаются обработке с использованием формул, приведенных в табл. 2.1. Затем на основании полученных данных строят нагрузочную характеристику, которая потом подвергается анализу и сравнению с результатами моделирующих расчетов.

Основные расчётные формулы, применяемые для математического моделирования параметров дизеля в условиях нагрузочной характеристики

1. Определение эффективной мощности, кВт, как параметра, от которого производится построение характеристики, выполняют по формуле

$$N_{e(i+1)} = \frac{N_{e(\text{н})} - N_{e(0)}}{m} + N_{e(i)},$$

где m – количество расчетных точек (ГОСТ рекомендует для испытания ДВС от 6 до 8 экспериментальных точек).

$N_{e(\text{н})}$ – номинальная эффективная мощность испытуемого двигателя, взятая из справочника или технической характеристики двигателя, кВт;

$N_{e(0)} = 0$ – эффективная мощность испытуемого двигателя на холостом ходу, кВт;

$N_{e(i)}$ – расчетная точка эффективной мощности двигателя, кВт (изменяется от 0 до номинальной мощности).

2. Определяется среднее эффективное давление P_e, МПа, в каждой точке характеристики по формуле

$$P_{e(i)} = \frac{N_{e(i)} \cdot 120}{V_h \cdot Z \cdot n_e},$$

где n_e = const – обороты коленчатого вала двигателя, при которых производится снятие нагрузочной характеристики, мин$^{-1}$;

Z – число цилиндров двигателя, принимается по справочным данным;

V_h – рабочий объём одного цилиндра в литрах, определяемый по формуле

$$V_h = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot S \cdot 10^3;$$

здесь S – ход поршня, принимаемый по справочным данным, м;

D – диаметр поршня, принимаемый по справочным данным, м.

3. Определяется часовой расход топлива, кг/ч, при $N_{e(\text{н})}$

$$g_{e(\text{н})} = \frac{G_{T(\text{н})}}{N_{e(\text{н})}} \cdot 10^3 \Rightarrow G_{T(\text{н})} = \frac{g_{e(\text{н})} \cdot N_{e(\text{н})}}{10^3},$$

где $g_{e(\text{н})}$ – удельный эффективный расход топлива при $N_{e(\text{н})}$, г/(кВт ч), при моделирующих расчетах $g_{e(\text{н})}$ принимается по справочнику.

4. Далее определяем часовой расход топлива на холостом ходу, кг/ч, по формуле

$$G_{\text{Т}}^{\text{хюх}} = G_{\text{Т(н)}} \cdot \left(1 - \eta_{\text{м(н)}}\right),$$

где $\eta_{\text{м(н)}}$ – механический КПД двигателя при номинальной загрузке двигателя, который определяется исходя из следующих условий, т.к. скоростной режим работы двигателя в условиях нагрузочной характеристики не изменяется, т.е. n_e = const, то условное давление механических потерь может быть определено по формуле

$$P_{\text{м}} = 0{,}089 + 0{,}0118 \cdot \left(\frac{S \cdot n_e}{30}\right).$$

В то же время из теории ДВС известно, что в условиях нагрузочной характеристики условное давление механических потерь не зависит от

нагрузки, и оно принимается постоянным. Тогда механический КПД будет определяться по формуле

$$\eta_{м(i)} = \frac{P_{e(i)}}{P_м + P_{e(i)}} \Rightarrow \eta_{м(н)} = \frac{P_{e(Neн)}}{P_м + P_{e(Neн)}}.$$

5. Определяем часовой расход топлива в i-х точках, за исключением $G_T^{x.x}$ и $G_{T(н)}$ по формуле

$$G_{T(i)} = \frac{G_{T(н)}}{1 - \eta_{м(i)}}.$$

6. Определяем удельный эффективный расход топлива, г/(кВт·ч) в остальных точках нагрузочной характеристики, начиная с первой до m-1:

$$g_{e(i)} = \frac{G_{T(i)}}{N_{e(i)}} \cdot 10^3.$$

7. Определяем эффективный КПД двигателя в условиях нагрузочной характеристики:

$$\eta_{e(i)} = \frac{3600}{H_u \cdot g_{e(i)}},$$

где H_u – низшая теплота сгорания дизтоплива (справочное значение), H_u = 41,5 МДж/кг. Тогда

$$\eta_{e(i)} = \frac{86,75}{g_{e(i)}}.$$

8. Определяем среднее индикаторное давление:

$$P_{i(i)} = P_м + P_{e(i)}.$$

9. Для условий нагрузочной характеристики для определения коэффициента избытка воздуха профессором Салминым В.В. предложена формула, имеющая вид

$$\alpha_{(i)} = \frac{G_{в.д(н)} - \Delta G_{в(i)}}{14,8 \cdot G_{T(i)}},$$

где $G_{вд(н)}$=$\alpha_{(Н)}$ $G_{T(н)}$ 14,8 – действительный расход воздуха дизелем на номинальном скоростном режиме, кг/ч;

$\alpha_{(н)}$ – коэффициент избытка воздуха дизеля на номинальном скоростном режиме работы (может быть принят из скоростной характеристики);

$\Delta G_{в(i)}$ – величина ухудшения наполнения цилиндров дизеля из-за подогрева воздуха на впуске, определяемая по формуле профессора Салмина В.В.:

$$\Delta G_{в(i)} = \frac{3{,}6 \cdot (N_{e(i)} - N_{e(н)})}{C_в \cdot (T_н - T_0)},$$

где $N_{e(н)}$= const, кВт.

$C_в$ – массовая теплоемкость воздуха, $C_в$ = 1,01 кДж/(кг К).

$T_н$ – температура нагрева двигателя принимается $T_н = T_{охл}$=353 К ($t_{охл}$= 80˚С);

T_0 – температура окружающей среды, принимаем T_0 = 295 К.

Примечание: при расчете величины потерь воздуха получается со знаком «–». При расчете α_i, $\Delta G_{вi}$ подставляется в формулу со знаком «–».

10. Коэффициент наполнения определяем по формуле

$$\eta_{V(i)} = \frac{483{,}3 \cdot G_{T(i)} \cdot \alpha_{(i)} \cdot \rho_в}{V_h \cdot n_e \cdot Z},$$

где $\rho_в = \rho_0 \cdot \dfrac{P_0 \cdot 273}{0{,}101325 \cdot T_0}$ – плотность воздуха, кг/м^3, на впуске в ДВС.

13. Коэффициент остаточных газов определяем по формуле, предложенной профессором Салминым В.В.:

$$\gamma_{(i)} = 1 - \frac{\ell_0 \cdot \alpha_{(i)}}{\ell_0 \cdot \alpha_{(i)} + 1},$$

где ℓ_0 – теоретическое количество воздуха необходимое для полного сгорания топлива, кг/кг, для дизтоплива эта величина принимается, при моделирующих расчетах в дизелях, равной 14,8 кг/кг.

14. Полученные в ходе расчетов данные сводят в таблицу и строят нагрузочные характеристики: $G_т = f(N_e)$; $g_e = f(N_e)$; $\alpha = f(N_e)$; $\gamma = f(N_e)$; $\eta_V = f(N_e)$; $P_{\overline{Я}} f(N_e)$; $P_м = f(N_e)$; $\eta_м = f(N_e)$; $\eta_e = f(N_e)$, как для результатов экспериментальных, так и теоретических исследований.

Протокол лабораторных испытаний двигателя

Дата испытаний_____

Двигатель (марка)_____

Барометрическое давление_____, мм.рт.ст.

Частота вращения коленчатого вала_____, мин$^{-1}$.

Испытание проводили студенты группы _____

№ п/п	$P_т$, кГм	$\Delta G_Т$, г	$\Delta\tau$, с	$t_о$, °С	$t_ж$, °С	$t_м$, °С	$P_{масл}$, мПа	H, мм вд.ст.	N_e, кВт	$G_Т$, кг/ч	g_e, г/(кВт ч)	$G_{в.д}$, кг/ч	$G_о$, кг/ч	$G_{в..т}$. кг/ч	α	η_V	η_e
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

Примечание: *При выполнении испытаний колонки 1 и 2 протокола заполняются перед началом эксперимента. Колонки 3–9 заполняются студентами в ходе проведения эксперимента. Колонки 10–18 – по результатам расчета. В ходе обработки опытных данных используются формулы, приведенные в табл. 2.1 подразд. 2.3 лабораторного практикума. На основании полученных данных строятся экспериментальные кривые нагрузочной характеристики.*

Протокол моделирующего (теоретического) эксперимента

Двигатель (марка)_____

Барометрическое давление_____, МПа;

Температура окружающей среды _____, К;

Плотность воздуха _____, кг/м^3;

Число цилиндров в двигателе _____;

Номинальные обороты двигателя _____, мин$^{-1}$;

Обороты двигателя при которых производится снятие характеристики _____, мин$^{-1}$;

Ход поршня _____, м;

Диаметр цилиндра _____, м;

Рабочий объем 1 цилиндра _____, л;

Степень сжатия в ДВС_____

Номинальная эффективная мощность _____, кВт;

Удельный расход топлива при $N_{ен}$_____, г/(кВт ч);

Низшая теплота сгорания топлива _____, кДж/кг.

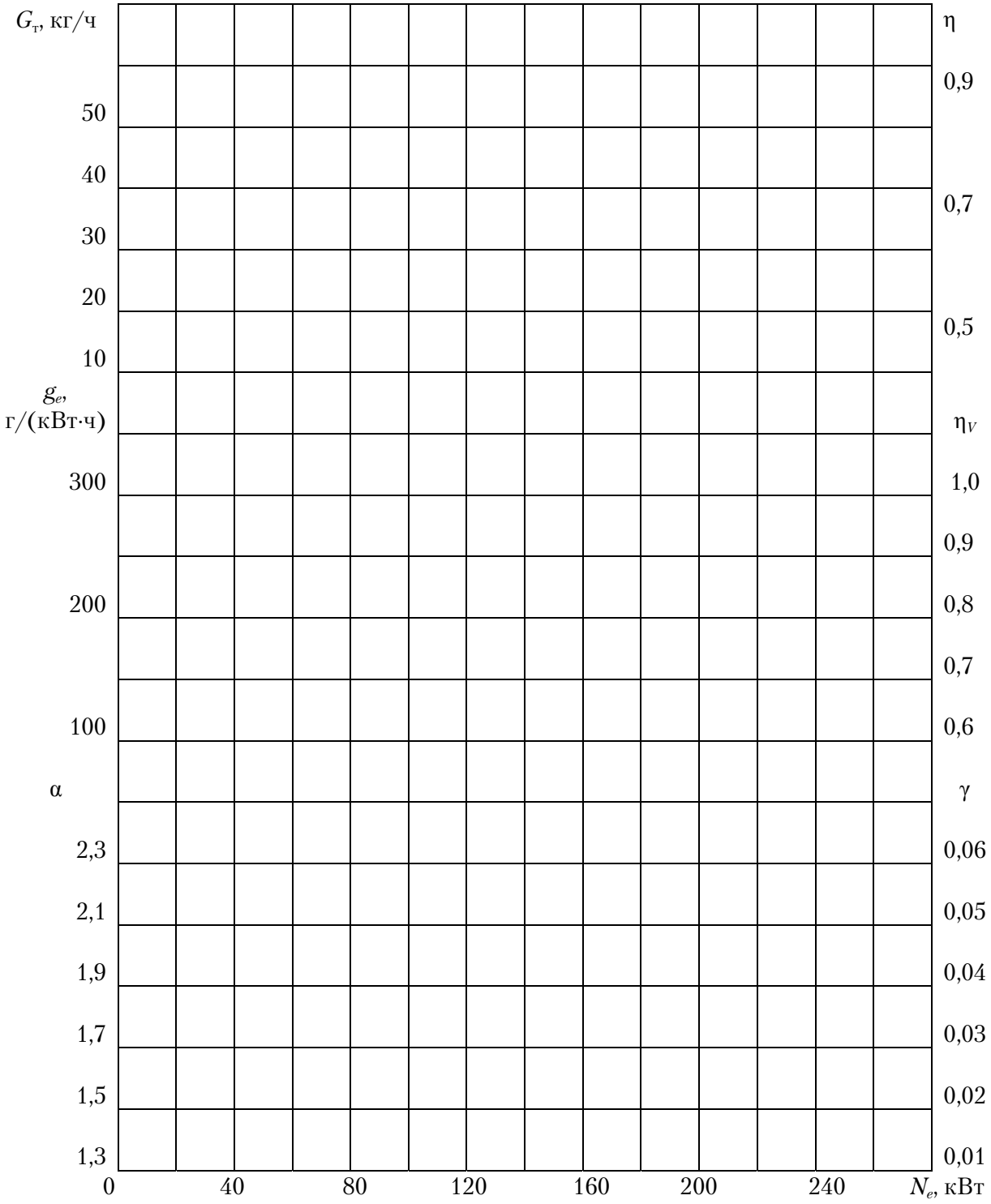
P_e, МПа	N_e, кВт	$P_м$, МПа	P_i, МПа	$\eta_м$	$G_т$, кг/ч	g_e, г/(кВт ч)	η_e	α	η_V	γ	$G_{в.д}$, кг/ч
0	0										

Нагрузочная характеристика дизеля

Место проведения испытания
ДВС_____
Дата_____

Двигатель (марка) _____

Барометрическое
давление_____



Содержание отчета

1. Подготовьте конспект основных теоретических положений, приведенных в лабораторной работе.
2. Заполните протокол экспериментальных испытаний двигателя.
3. Выполните моделирующие расчеты и заполните таблицу.
4. Постройте нагрузочную характеристику двигателя, полученную экспериментальным и расчетным путем.
5. Объясните характер протекания кривых η_e, α, η_V, g_e, G_T.
6. Сделайте сравнительный анализ полученных данных и запишите выводы по лабораторной работе.

Вопросы для самопроверки

1. Дайте определение и назовите условия снятия нагрузочной характеристики дизеля.
2. Почему линия изменения часового расхода топлива у дизеля является практически прямой?
3. Как и почему так изменяется коэффициент избытка воздуха в условиях нагрузочной характеристики?
4. Почему механический КПД дизеля в условиях нагрузочной характеристики с увеличением нагрузки увеличивается?
5. Как изменяется условное давление механических потерь дизеля в условиях нагрузочной характеристики?
6. Почему удельный расход топлива в условиях нагрузочной характеристики изменяется параболически?
7. Как и почему изменяется эффективный КПД дизеля?
8. Как изменяется характер протекания кривой индикаторного КПД в условиях нагрузочной характеристики дизеля?
9. Как изменяется характер протекания индикаторной мощности в условиях нагрузочной характеристики? Что непосредственно влияет на характер ее протекания?
10. Как и почему так изменяется коэффициент наполнения в условиях нагрузочной характеристики дизеля?
11. Как и почему так изменяется коэффициент остаточных газов в условиях нагрузочной характеристики дизеля?
12. Каковы условия снятия нагрузочной характеристики дизеля?
13. Чему равен удельный эффективный расход топлива на холостом ходу?
14. Как зависит давление во впускном трубопроводе от нагрузки на двигатель?
15. Чем объясняется обеднение смеси у дизеля?

Лабораторная работа № 2.8
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА ДВИГАТЕЛЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СКОРОСТНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ

Цель работы: Исследовать экспериментальным и теоретическим путем характер изменения составляющих теплового баланса бензинового ДВС от скоростного режима работы.

Задачи работы

1. Изучить теоретические основы измерения тепловых потерь в двигателе.
2. Освоить методику проведения эксперимента и обработки данных.
3. Определить распределение теплоты от сгорания топлива по составляющим. Составить тепловой баланс ДВС.
4. Проанализировать характер изменений тепловых показателей двигателя в условиях скоростной характеристики, полученной экспериментальным и расчетным путем.

Теоретические положения

Определение. Тепловой баланс двигателя представляет собой определенное опытным и расчетным путем распределение теплоты, вводимой в двигатель с топливом, на полезно используемую теплоту и отдельные виды потерь.

Распределение тепла, выделяемого при сгорании топлива в двигателе $Q_{\text{Т}}$, происходит на следующие составляющие:

$$Q_{\text{Т}} = Q_e + Q_{\text{Г}} + Q_{\text{охл}} + Q_{\text{н.с}} + Q_{\text{ост}} + Q_{\text{м}},$$

где $Q_{\text{Т}}$ – теплота, поступающая в цилиндры двигателя в результате сгорания топлива, кДж/с;

$Q_e = N_e$ – теплота, превращенная в эффективную мощность, кДж/с (N_e – максимальная эффективная мощность, кВт);

$Q_{\text{Г}}$ – теплота, теряемая двигателем с отработавшими газами, кДж/с;

$Q_{\text{охл}}$ – теплота, отведенная в систему охлаждения двигателя, кДж/с;

$Q_{\text{н.с}}$ – теплота, потерянная двигателем в результате неполноты сгорания топлива (определяется только для бензиновых двигателей, работающих при $\alpha < 1$);

$Q_{\text{ост}}$ – теплота неучтенных тепловых потерь, кДж/с;

$Q_{\text{м}}$ – тепло, отводимое моторным маслом от трущихся деталей, кДж/с.

Теплота, поступающая в цилиндры двигателя в результате сгорания топлива $Q_{\text{Т}}$, кДж/с, находится по формуле:

$$Q_{\text{Т}} = \frac{G_{\text{Т}} \cdot H_u}{3600};$$

здесь H_u – низшая теплота сгорания топлива (справочное значение), для дизельного топлива можно принимать H_u = 41,5 МДж/кг, а для бензина – H_u = 43,5 МДж/кг;

$G_{\text{т}}$ – часовой расход топлива, кг/ч, определяемый по формуле

$$G_{\text{Т}(i)} = g_{e(i)} \cdot N_{e(i)} \cdot 10^3;$$

Теплота, теряемая двигателем с отработавшими газами, кДж/с, вычисляется

$$Q_{\text{Г}} = \frac{G_{\text{Т}}}{3600}(\mu_2 \cdot C_{p_{\text{Г}}} \cdot T'_{\text{Г}} - \mu_1 \cdot C_{p_0} \cdot T_0),$$

в которой $C_{p_{\text{Г}}}$ – средняя молекулярная теплоемкость продуктов сгорания и C_{p_0} – свежего заряда при постоянном давлении, определяемые в зависимости от величины коэффициента избытка воздуха (α) следующим образом:

– при $\alpha < 1$ (карбюраторные двигатели)

$$C_{p_{\text{Г}}} = 8{,}32 + C_{v_Z} = 8{,}32 + (18{,}43 + 2{,}60 \cdot \alpha) + (15{,}5 + 13{,}8 \cdot \alpha) \cdot 10^{-4} T'_{\text{Г}};$$

– при $\alpha \geq 1$ (дизель или бензиновый с впрыском топлива)

$$C_{p_{\text{Г}}} = 8{,}32 + C_{v_Z} = 8.32 + \left(20{,}11 + \frac{0{,}92}{\alpha}\right) + \left(\frac{13{,}83}{\alpha} + 15{,}5\right) \cdot 10^{-4} T'_{\text{Г}},$$

где $T'_{\text{Г}}$ – температура газов в выхлопной трубе, К, приблизительно равная $T'_{\text{Г}} = (0{,}9...0{,}92) \cdot T_{\text{Г}}$ или вычисленная по эмпирической формуле, предложенной профессором Салминым В.В. и имеющая вид:

$$T'_{\text{Г}} = 2{,}42 \cdot (T_0 + \Delta T) + 4{,}65 \cdot \left(\frac{N_e}{\alpha}\right);$$

здесь T_0 – температура окружающей среды, К;

α – коэффициент избытка воздуха. Коэффициент избытка воздуха для проектировочных расчетов можно определить по формулам, полученным профессором Салминым В.В.:

– для карбюраторных ДВС

$$\alpha = 0{,}98 - \frac{180}{n_e},$$

– для бензиновых впрысковых (инжекторных) ДВС

$$\alpha = 1{,}25 - \frac{217}{n_e},$$

– для дизелей без наддува

$$\alpha = 1{,}8 - \frac{625}{n_e},$$

– для дизелей с наддувом

$$\alpha = 2{,}6 - \frac{667}{n_e}.$$

ΔT – изменение температуры свежего заряда при движении во впускном тракте. Изменение температуры заряда определяется по формуле профессора Салмина В.В.:

$$\Delta T \approx 10{,}526 \cdot \frac{N_e^{0,95}}{\omega_{\text{В}}^{0,33} \cdot \varepsilon^{0,86}};$$

здесь $\omega_{\text{В}}$ – линейная скорость движения воздуха во впускном тракте двигателя, м/с. Скорость может быть рассчитана по формуле

$$\omega_{\text{В}} \approx 44{,}8 \cdot \sqrt{T_0 \cdot \left(1 - \beta^{0,286}\right)},$$

где β – коэффициент, учитывающий перепад давления, возникающий во впускном тракте двигателя, в ходе такта впуска. При выполнении моделирующих расчетов β можно определить по предложенной профессором Салминым В.В. эмпирической зависимости вида

$$\beta = 1 - 10 \cdot 10^{-9} \cdot n_e - 35 \cdot 10^{-10} \cdot n_e^2;$$

здесь n_e – частота вращения коленчатого вала двигателя, мин$^{-1}$;

ε – степень сжатия двигателя, которая принимается из технической характеристики двигателя или определяется (конечный результат вычисления округляется до 0,5) по эмпирическим формулам профессора Салмина В.В., имеющим вид:

– для бензиновых ДВС

$$\varepsilon \approx \sqrt[0,3]{\frac{g_{e(\text{н})}}{g_{e(\text{н})}-146}};$$

– для дизелей

$$\varepsilon \approx \sqrt[0,4]{\frac{g_{e(\text{н})}\cdot\left(1,18-0,001\cdot g_{e(\text{н})}\right)}{g_{e(\text{н})}-122}},$$

где $g_{e(\text{н})}$ – удельный эффективный расход топлива двигателя при номинальной (максимальной) мощности, принимаемый по справочным данным, г/(кВт ч).

Средняя молекулярная теплоемкость свежего заряда при постоянном давлении:

$$C_{p_0} = 8,32 + C_{v_0} = 8,32 + (20,6 + 1,74\cdot 10^{-3})\cdot T_0.$$

Для моделирующих расчетов теплоту, отводимую с выхлопными газами можно определить по формуле, предложенной профессором Салминым В.В.:

$$Q_{\Gamma} \approx 0,00216\cdot G_{\text{Т}}\cdot(\alpha+1)\cdot\left[T'_{\Gamma}-T_0\right].$$

Теплота, потерянная двигателем в результате неполноты сгорания топлива определяется только для бензиновых двигателей, работающих при $\alpha<1$:

$$Q_{\text{н.с}} = \frac{\Delta H_u\cdot G_{\text{Т}}}{3600} \approx \frac{G_{\text{Т}}}{3600}\left[61500\cdot(1-\alpha)\right].$$

Теплота, отведенная в систему охлаждения двигателя, может быть определена из самого уравнения теплового баланса по формуле

$$Q_{\text{охл}} = Q_{\text{Т}} - (Q_e + Q_{\text{г}} + Q_{\text{Н}} + Q_{\text{ост}}).$$

Для жидкостных систем охлаждения четырехтактных дизелей из уравнения вида:

$$Q_{охл} = \left(0,41\div 0,47\right)\cdot 10^{-3}\cdot Z\cdot D^{(1+2\cdot m)}\cdot n_e^m\cdot\left(\frac{1}{\alpha}\right),$$

а для бензиновых ДВС по формуле

$$Q_{\text{охл}} = \left(0,45\div 0,53\right)\cdot 10^{-3}\cdot Z\cdot D^{(1+2\cdot m)}\cdot n_e^m\cdot\frac{\left(H_u-\Delta H_u\right)}{\left(\alpha\cdot H_u\right)},$$

где Z – число цилиндров;

D – диаметр цилиндра двигателя, дм;

$m = 0{,}6 \div 0{,}7$ – показатель степени, принимаемый равным 0,6÷0,65 для дизелей, а для бензиновых ДВС, равным 0,65÷0,7. Показатель степени зависит от величины скоростного режима работы двигателя. Меньшее значение показателя «*m*» выбирается для более тихоходных двигателей, а больший показатель – для быстроходных ДВС.

Для двигателей с воздушным охлаждением теплота, отводимая системой охлаждения, определяется по формуле

$$Q_{\text{охл}} = B \cdot N_e \cdot g_e \cdot H_u,$$

где B – коэффициент, определяющий долю теплоты, передаваемой площадью поверхности оребрения (для дизелей B = 0,25÷0,3; для карбюраторных ДВС B = 0,28÷0,33).

Для упрощения расчетов теплота неучтенных тепловых потерь $Q_{\text{ост}}$, кДж/с, принимается равной величине

$$Q_{\text{ост}} \approx (0{,}05...0{,}07) \cdot Q_{\text{Т}} \approx \left(1{,}5 \div 6\right) \cdot \sqrt[3]{N_e}\,.$$

Для моделирующих расчетов можно использовать предложенную профессором Салминым В.В. зависимость вида:

$$Q_{\text{ост}} = \alpha_{\text{дв}} \cdot F_{\text{дв}} \cdot \left(T_{\text{ст}} - T_0\right) \approx (0{,}13 \cdot n_e + 7{,}3 \cdot N_e^{-0{,}33}) \cdot 10^{-3} \cdot F_{\text{дв}} \cdot \left[\left(360 + 0{,}003 \cdot n_e\right) + T_0\right],$$

где $\alpha_{\text{дв}}$ – коэффициент теплоотдачи от двигателя к окружающей среде, Вт/(м^2 К);

$F_{\text{дв}}$ – площадь поверхности двигателя, м^2;

$T_{\text{ст}}$ – температура стенки блока цилиндров ДВС, К.

Тепло, отводимое моторным маслом от трущихся деталей, кДж/с, определяется приближенно по формуле как:

$$Q_{\text{м}} \approx (0{,}015...0{,}03) \cdot Q_{\text{Т}} \approx \left(0{,}062 \div 0{,}067\right) \cdot N_e\,.$$

Далее, для удобства анализа, все составляющие теплового баланса могут быть выражены в процентах, при этом все входящие в состав уравнения теплового баланса составляющие в сумме должны давать 100 %, а величина этих составляющих в % рассчитывается по формулам вида:

$$g_{\text{Т}} = 100\%, \;\; g_e = \frac{Q_e}{Q_T} \cdot 100\%, \;\; g_{\text{Г}} = \frac{Q_{\text{Г}}}{Q_{\text{Т}}} \cdot 100\%,$$

$$g_{\text{охл}} = \frac{Q_{\text{охл}}}{Q_{\text{Т}}} \cdot 100\%, \;\; g_i = \frac{Q_i}{Q_{\text{Т}}} \cdot 100\%\,.$$

Примечание. При выполнении лабораторного и моделирующего расчетов по определению теплового баланса последним определяется остаточная теплота $Q_{ост}$, как разность между теплотой, введенной в двигатель с топливом, и всеми прочими составляющими расхода тепла в двигателе.

Условия снятия характеристики. Характеристику теплового баланса по скоростному режима работы ДВС снимают, как скоростную характеристику двигателя. В ходе испытания замеряются: температура охлаждающей жидкости на входе и на выходе; температура масла в картере ДВС; температура газа на выходе из двигателя; температура воздуха на входе в двигатель. Производят замеры: расхода охлаждающей жидкости с помощью ротаметра; расхода воздуха с помощью дифференциального манометра установленного в диффузоре. Расход топлива определяется весовым способом.

Последовательность выполнения лабораторной работы. Снятие скоростной характеристики происходит следующим образом. Прогрев двигатель, увеличивают подачу топлива и одновременно нагружают его с помощью тормозного устройства так, чтобы на режиме полной подачи топлива двигатель развивал минимальное устойчивое число оборотов (n_{min}). После необходимого корректирования теплового состояния двигателя и выдержки его на стабильном режиме работы не менее минуты производят замеры нужных параметров. Далее нагрузку постепенно снимают, добиваясь возрастания скорости вращения вала двигателя на 250 или 500 мин$^{-1}$. После выхода на установившийся режим работы делают новые замеры и т.д., пока частота вращения вала не достигнет вначале номинального значения, а затем максимальных оборотов при работе на регуляторе. Для выявления более достоверного протекания регуляторной скоростной характеристики замеры повторяют, последовательно нагружая двигатель и уменьшая частоту вращения до минимальной.

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

После завершения эксперимента полученные данные заносятся в протокол испытаний и подвергаются обработке с использованием формул, приведенных в табл. 2.1. Затем на основании полученных данных строят регуляторную скоростную характеристику, которая потом подвергается анализу и сравнению с результатами моделирующих расчетов.

Протокол лабораторных испытаний двигателя

Дата испытаний_____ Двигатель (марка)_____

Барометрическое
давление_____

Испытание проводили студенты группы _____

№ п/п	n_e, мин$^{-1}$	$P_т$, кГм	$\Delta G_Т$, г	$\Delta\tau$, с	$t_о$, °С	$t_{ж(н)}$, °С	$t_{ж(к)}$, °С	$t_м$, °С	H, мм вд.ст	N_e, кВт	$G_Т$, кг/ч	$G_{в.д}$, кг/ч	$G_{в.т}$, кг/ч	$G_о$, кг/ч	α	$Q_т$, кВт	$Q_{охл}$, кВт	$Q_г$, кВт	$Q_м$, кВт	$Q_{н.с}$, кВт	$Q_{ост}$, кВт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22

Примечание. *При выполнении испытаний колонки 1 и 2 протокола заполняются перед началом эксперимента. Колонки 3–10 заполняются студентами в ходе проведения эксперимента. Колонки 11–22 – по результатам расчета. В ходе обработки опытных данных используются формулы, приведенные в табл. 2.1 подразд. 2.3 лабораторного практикума. На основании полученных данных строятся экспериментальные кривые теплового баланса в зависимости от скоростного режима работы ДВС.*

Протокол моделирующего (теоретического) эксперимента

Двигатель (марка)_____

Барометрическое давление_____, МПа;

Температура окружающей среды _____, К;

Плотность воздуха _____, кг/м^3;

Число цилиндров в двигателе _____;

Максимальные обороты двигателя _____, мин$^{-1}$;

Обороты двигателя при которых производится снятие характеристики _____, мин$^{-1}$;

Ход поршня _____, м;

Диаметр цилиндра _____, м;

Рабочий объем 1 цилиндра _____, л;

Степень сжатия в ДВС_____

Максимальная эффективная мощность _____, кВт;

Удельный расход топлива при $N_{ен}$ _____, г/(кВт ч);

Низшая теплота сгорания топлива _____, кДж/кг.

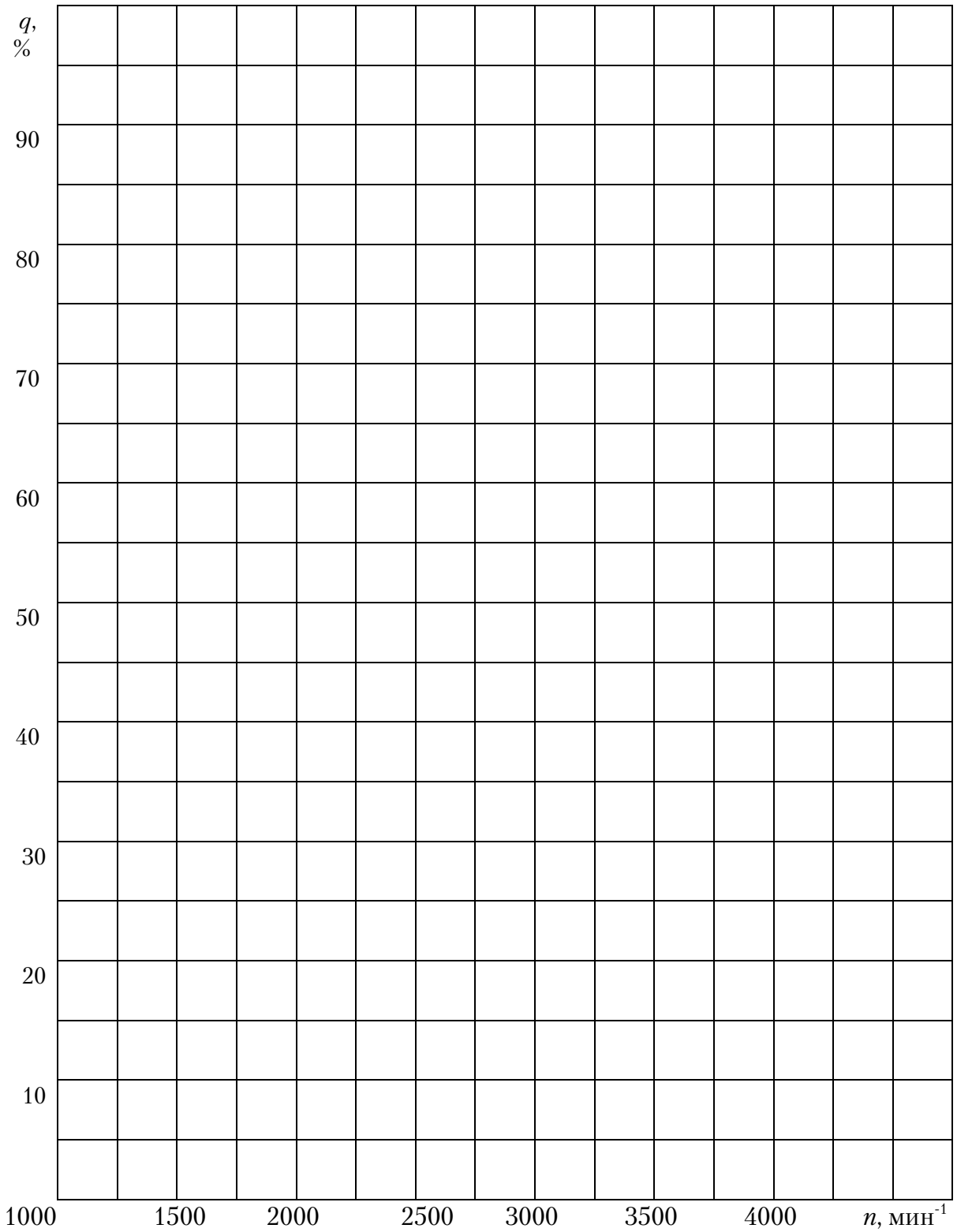
№ п/п	n_e, мин$^{-1}$	N_e, кВт	g_e, г/кВтч	$G_т$, кг/ч	α	$Q_т$, кВт	$Q_{охл}$, кВт	$Q_г$, кВт	$Q_м$, кВт	$Q_{н.с}$, кВт	$Q_{ост}$, кВт	$q_т$, %	q_e, %	$q_{охл}$, %	$q_г$, %	$q_м$, %	$q_{н.с.}$, %	$q_{ост}$, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19

Графики теплового баланса двигателя

Место проведения испытания ДВС_____
Дата_____

Двигатель (марка) _____

Барометрическое давление_____



Содержание отчета

1. Подготовьте конспект основных теоретических положений, приведенных в лабораторной работе.
2. Заполните протокол экспериментальных испытаний двигателя.
3. Выполните моделирующие расчеты и заполните таблицу.
4. Постройте график изменения теплового баланса двигателя, полученного экспериментальным и расчетным путем.
5. Объясните характер изменения составляющих тепловых потерь двигателя.
6. Сделайте сравнительный анализ полученных данных и запишите выводы по лабораторной работе.

Вопросы для самопроверки

1. Что понимается под тепловым балансом двигателя.
2. Перечислите составляющие теплового баланса ДВС.
3. Как и почему так изменяется потери тепла от неполноты сгорания топлива в условиях скоростной характеристики?
4. Какая составляющая теплового баланса имеет наибольшее значение?
5. Почему при выполнении расчетов теплота, отведенная системой смазки (маслом) иногда не учитывается в уравнении теплового баланса?
6. На основании составляющих теплового баланса двигателя перечислите основные направления совершенствования конструкции ДВС.
7. От чего зависит теплота отводимая системой охлаждения ДВС?
8. От чего зависит величина тепловых потерь с отработавшими газами?
9. От чего зависит теплота на получение эффективной мощности ДВС?
10. На какие составляющие теплового баланса оказывает влияние коэффициент избытка воздуха?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Технико-экономические и экологические характеристики двигателей внутреннего сгорания определяются, в основном, не только уровнем доводки конструкции и рабочих процессов, но и отличаются сложностью массообмена, теплообмена, химических реакций окисления топлива. Строгое аналитическое описание этих явлений, взаимосвязей параметров конструкции и рабочих процессов с конечными технико-экономическими показателями двигателя – сложная и актуальная научная задача, которая будет решена в ближайшем будущем.

Поэтому данный лабораторный практикум по автомобильным двигателям выполняет не только роль помощника в изучении конструкции ДВС и в освоении методов их испытания, но и позволит обучить новым методам исследования рабочих процессов ДВС, проверить и создать математические модели, достоверно описывающие эти процессы. Все это будет формировать у будущих специалистов компетенции, способствующие установлению на базе практического опыта создания двигателей и их эксплуатации взаимосвязей между важнейшими эксплуатационными показателями, определяющими потребительские качества двигателя (мощность, расход топлива, масса, габариты) с параметрами конструкции и рабочих процессов, как на стадии проектирования и доводки двигателя, так и при модернизации выпускаемых двигателей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Часть 1

Основная литература:

1. Вахламов, В.К. Автомобили. Эксплуатационные свойства [Текст] / В.К. Вахламов. – Ростов н/Д.: Феникс, 2010, – 240 с.

2. Вахламов, В.К. Автомобили. Основы конструирования [Текст] / В.К. Вахламов. – М.: ИЦ «Академия», 2009. – 529 с.

3. Вахламов, В.К. Конструкция, расчет и эксплуатационные свойства автомобилей [Текст] / В.К. Вахламов. – М.: ИЦ «Академия», 2007. – 480 с.

4. Автомобили. Рабочие процессы и расчет механизмов и систем [Текст] / А.Н. Нарбут. – М.: ИЦ «Академия», 2007. – 256 с.

5. Двигатели внутреннего сгорания: в 3 кн. Кн.1. Теория рабочих процессов [Текст]: учебник / В.Н. Луканин [и др.]. – М.: Высш. шк., 2005. – 479 с.

6. Двигатели внутреннего сгорания: в 3 кн. Кн.2. Динамика и конструирование[Текст]: учебник / В.Н. Луканин [и др.]. – М.: Высш. шк., 2005. – 400 с.

Дополнительная литература:

7. Райков, И.Я. Конструкция автомобильных и тракторных двигателей [Текст] / И.Я. Райков, Г.Н. Рытвинский. – М.: Высш. шк., 1986. – 352 с.

8. Райков, И.Я. Автомобильные двигатели внутреннего, сгорания [Текст] / И.Я. Райков, Г.Н. Рытвинский. – М.: Высш. шк., 1970. – 432 с.

9. Двигатели внутреннего сгорания: Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей [Текст] / под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – 4 изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. – 288 с.

10. Двигатели внутреннего сгорания: Устройство и работа поршневых двигателей [Текст] / под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – 3 изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. – 288 с.

11. Поспелов, Д.Р. Конструкция двигателей внутреннего сгорания с воздушным охлаждением [Текст] / Д.Р. Поспелов. – М.: Машиностроение, 1973. – 352 с.

12. Орлов, В.А. Автомобильные карбюраторы [Текст] / В.А. Орлов, В.Е. Лосев. – Л.: Машиностроение, 1978. – 104 с.

13. Венцель, С.В. Применение смазочных масел в двигателях внутреннего сгорания [Текст] / С.В. Венцель. – М.: Химия, 1979. – 40 с.

14. Эфрос, В.В. Дизели с воздушным охлаждением Владимирского тракторного завода [Текст] / В.В. Эфрос [и др.]. – М.: Машиностроение, 1976. – 277 с.

15. Фанлейб, Б.Н. Топливная аппаратура автотракторных дизелей [Текст]: справочник / Б.Н. Фанлейб. – Л.: Машиностроение. 1990. – 263 с.

16. Аппаратура впрыска легкого топлива автомобильных двигателей [Текст] / под ред. Ю.И. Бутыко. – Л.: Машиностроение, 1982.

17. Покровский Г.П. Электроника в системах подачи топлива автомобильных двигателей [Текст] / Г.П. Покровский. – М.: Машиностроение, 1990.

18. Росс Твег. Системы впрыска бензина. Устройство, обслуживание, ремонт [Текст]: практ. пособие / Твег Росс. – М.: За рулем, 1998.

Часть 2

Основная литература:

1. Автомобильные двигатели [Текст]: учебник / И.В. Алексеев [и др.]. – М.: Академия, 2010. – 464 с.

2. Основы расчета транспортных энергетических установок: курсовое проектирование [Текст]: учеб. пособие / В.В. Салмин, И.А. Якубович, Б.Ю. Давыденко. – Магадан: Изд-во СВГУ, 2011. – 135 с.

3. Характеристики двигателей с искровым зажиганием [Текст]: методические указания / Д.В. Апелинский, К.С. Руновский, А.Р. Макаров – М.: МГТУ «МАМИ», 2011. – 56 с.

4. Лабораторный практикум по автотракторным двигателям [Текст]: учеб. пособие / В.С. Шатериников, Ю.В. Семикопенко. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2009. – 166 с.

5. Расчет автомобильных и тракторных двигателей [Текст] / А.И. Колчин, В.П. Демидов. – М.: Высш. шк., 2008. – 496 с.

6. Основы теории тепловых процессов и машин [Текст]: учеб. пособие: в 2-х ч. / Н.Е. Александров [и др.]; под ред. проф. Н.И. Прокопенко. – 3-е изд. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. Ч.1 – 560 с., Ч.2 – 571 с.

Дополнительная литература:

7. Тепловые расчеты автомобильных двигателей [Текст]: учеб. пособие / Шевченко. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2007. – 187 с.

8. Двигатели внутреннего сгорания: в 3 кн. Кн.1. Теория рабочих процессов [Текст]: учебник / В.Н. Луканин [и др.]. – М.: Высш. шк., 2005. – 479 с.

9. Двигатели внутреннего сгорания: в 3 кн. Кн.2. Динамика и конструирование [Текст]: учебник / В.Н. Луканин [и др.]. – М.: Высш. шк., 2005. – 400 с.

10. Двигатели внутреннего сгорания [Текст]: учебник: в 3 кн. / В.Н. Луканин [и др.]; под ред. В.Н. Луканина, М.Г. Шатрова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Кн.3: Компьютерный практикум. Моделирование процессов в ДВС. – М.: Высш. шк., 2005. – 414 с.

11. Расчет автомобильных и тракторных двигателей [Текст]: учеб. пособие для вузов / А.И. Колчин, В.П. Демидов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2003. – 496 с.

12. Теория поршневых двигателей. Рабочие процессы, показатели, характеристики [Текст]: конспект лекций / А.Б. Березовский, А.М. Турилов. – Казань: Из-во Казанского ГТУ, 2002. – 150с.

13. Двигатели внутреннего сгорания. Теория поршневых и комбинированных двигателей [Текст] / под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – М., 1983. – 375 с.

14. Райков, И.Я. Испытания двигателей внутреннего сгорания [Текст]: учебник для вузов / И.Я. Райков. – М.: Высшая школа, 1975. – 320 с.

О Г Л А В Л Е Н И Е

ВВЕДЕНИЕ 3

Часть 1. КОНСТРУКЦИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ 4

1.1. Задачи лабораторного курса и последовательность его изучения ... 4

1.2. Инструкция по технике безопасности при выполнении лабораторных работ по изучению конструкции двигателей 5

1.3. Общие сведения о двигателях внутреннего сгорания и об их рабочем процессе 6

1.4. Лабораторный практикум по конструкции ДВС 12

Лабораторная работа № 1.1
ОБЩЕЕ УСТРОЙСТВО ПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ 12

Лабораторная работа №1.2
КРИВОШИПНО-ШАТУННЫЙ МЕХАНИЗМ 16

Лабораторная работа № 1.3
МЕХАНИЗМ ГАЗОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ 20

Лабораторная работа №1.4
СИСТЕМА СМАЗКИ ДВИГАТЕЛЯ 23

Лабораторная работа №1.5
СИСТЕМА ОХЛАЖДЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ 26

Лабораторная работа № 1.6
СИСТЕМА ПИТАНИЯ ДИЗЕЛЯ 28

Лабораторная работа № 1.7
СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ БЕНЗИНОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ 30

Лабораторная работа №1.8
СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ РАБОТАЮЩИХ НА ГАЗЕ 33

Часть 2. СТЕНДОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ 35

2.1. Основные положения, регламентирующие порядок и условия испытаний двигателей 35

2.2. Классификация и содержание испытаний двигателей 39

2.3. Основные параметры и формулы, используемые при обработке результатов испытания двигателей 41

2.4. Приведение параметров двигателя к стандартным атмосферным условиям 43

2.5. Основные правила стендовых испытаний ДВС 44

2.6. Подготовка двигателя к стендовым испытаниям 45

2.7. Организация лабораторных испытаний двигателя 46

2.8. Инструкция по техника безопасности при проведении лабораторных работ, связанных с испытанием двигателя 48
2.9. Лабораторный практикум по испытанию ДВС 50
Лабораторная работа № 2.1
ОБЩЕЕ УСТРОЙСТВО ТОРМОЗНОГО СТЕНДА 50
Лабораторная работа №2.2
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕНЗИНОВОГО ДВС В УСЛОВИЯХ СКОРОСТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ 78
Лабораторная работа № 2.3
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕНЗИНОВОГО ДВС В УСЛОВИЯХ НАГРУЗОЧНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ..... 86
Лабораторная работа № 2.4
ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ДВС МЕТОДАМИ ВИЛЛАНСА И РАСХОДА ТОПЛИВА..... 94
Лабораторная работа № 2.5
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРИВЕДЕННОГО МОМЕНТА ИНЕРЦИИ ВРАЩАЮЩИХСЯ МАСС ДВИГАТЕЛЯ МЕТОДОМ ВЫБЕГА..... 101
Лабораторная работа № 2.6
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДИЗЕЛЯ В УСЛОВИЯХ РЕГУЛЯТОРНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ... 110
Лабораторная работа № 2.7
ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДИЗЕЛЯ В УСЛОВИЯХ НАГРУЗОЧНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ..... 119
Лабораторная работа № 2.8
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА ДВИГАТЕЛЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СКОРОСТНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ..... 128
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 138
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК 139

Учебное издание

Салмин Владимир Васильевич
Москвин Роман Николаевич
Борсук Владимир Владимирович

АВТОМОБИЛЬНЫЕ ДВИГАТЕЛИ
Практикум

Р е д а к т о р В.С. Кулакова
В е р с т к а Н.А. Сазонова

Подписано в печать 13.12.12. Формат 60×84/16.
Бумага офисная «Снегурочка». Печать на ризографе.
Усл. печ.л. 8,37. Уч.-изд.л. 9,0. Тираж 80 экз.
Заказ № 12.

Издательство ПГУАС.
440028, г.Пенза, ул. Германа Титова, 28.