



А.В. Гриценко

**Диагностирование датчиков массового расхода
воздуха современных автотракторных средств
тестовыми методами**

Учебное пособие

Челябинск

2024

УДК 621.43

ББК 34.4

Г 85

Авторы:

А.В. Гриценко – доктор технических наук, профессор кафедры «Автомобильный транспорт» ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет» (ЮУрГУ НИУ); профессор кафедры «Технический сервис машин, оборудования и безопасности жизнедеятельности», ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет» (ЮУрГАУ);

А.Н. Ткачёв – кандидат технических наук, и. о. заведующего кафедрой «Техника и технологии» ОУ ВО «Южно-Уральский технологический университет»;

А.Ю. Бурцев – кандидат технических наук, доцент кафедры «Специальных дисциплин» ФГБОУ ВО Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева, филиал в г. Белово;

Е.А. Лещенко – кандидат технических наук, доцент кафедры «Тракторы, сельскохозяйственные машины и земледелие», заместитель директора Института агроинженерии по информатизации и документообеспечению ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет» (ЮУрГАУ);

Д.Д. Бакайкин – кандидат технических наук, доцент кафедры «Эксплуатация машинно-тракторного парка, и технологии и механизации животноводства», помощник ректора ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет» (ЮУрГАУ).

Рецензенты:

Е.А. Задорожная – доктор технических наук, профессор кафедры «Автомобильный транспорт» ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет» (ЮУрГУ НИУ);

Р.М. Латыпов – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Эксплуатация машинно-тракторного парка, и технологии и механизации животноводства» ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет» (ЮУрГАУ);

А.П. Зырянов – кандидат технических наук, доцент кафедры «Эксплуатация машинно-тракторного парка, и технологии и механизации животноводства» ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет» (ЮУрГАУ).

Гриценко А.В.

Диагностирование датчиков массового расхода воздуха современных автотракторных средств тестовыми методами: учебное пособие / А.В. Гриценко, А.Н. Ткачёв, А.Ю. Бурцев, Е.А. Лещенко, Д.Д. Бакайкин. – Челябинск: ОУ ВО «Южно-Уральский технологический университет», 2024. – Режим доступа: <https://www.inuесо.ru/rio/2024/978-5-6050860-5-5.pdf>, свободный. – Загл. с экрана. – 124 с.

ISBN 978-5-6050860-5-5

В учебном пособии приведены результаты экспериментального исследования выходных характеристик датчиков массового расхода воздуха с учетом влияния других систем двигателя. Подробно рассмотрены проблемы нарушения воздухоподачи, статистика отказов систем впуска, тенденции конструктивного совершенствования элементов впуска. Проведен анализ методов и средств диагностирования систем впуска и сформулированы требования к современному контролю технического состояния элементов системы впуска. В теоретической части учебного пособия рассматривается процесс подачи воздуха и степень влияния неисправностей системы впуска на него. Приводится теоретическое обоснование контролируемых параметров и режимов диагностирования. В методической части

раскрыты особенности стендового оборудования, приборных средств и методологии контроля. Приведены экспериментальные исследования по контролю параметров системы впуска, их статистическая обработка, анализ полученных данных. Сделаны выводы и сформулированы контрольные вопросы по каждому разделу учебного пособия.

Учебное пособие предназначено для профессорско-преподавательского состава и студентов инженерных факультетов вузов, а также для научных и инженерно-технических работников по направлениям подготовки: аспирантура и докторантура 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки); аспирантура и докторантура 2.6.17. Материаловедение; бакалавриат 23.03.01 Технология транспортных процессов; бакалавриат 23.03.02 Наземные транспортно-технологические комплексы; бакалавриат 23.03.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов; магистратура 23.04.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов; специалитет и бакалавриат 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства; бакалавриат 35.03.06 Агроинженерия.

Текстовое электронное издание

Минимальные системные требования:

Компьютер: процессор AMD, Intel от 1ГГц, 100 Мб HDD, ОЗУ от 1 Гб,

Видеоадаптер от 1024 Мб, Сетевой адаптер 10/100/1000 Мб/с;

Клавиатура; Мышь; Монитор с разрешением от 800x600;

Операционная система: Windows XP SP3/Vista/7/8/10;

Программное обеспечение: Adobe Acrobat Reader, браузер Internet Explorer, Mozilla Firefox и др.

Скорость подключения от 10 Мб/с.

© ОУ ВО «Южно-Уральский
технологический университет», 2024
© А.В. Гриценко и др., 2024

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
Глава 1 ОСОБЕННОСТИ КОНТРОЛЯ СИСТЕМЫ ВПУСКА МАШИН	8
1.1 Транспортные проблемы и их решение	8
1.2 Проблемы использования автотракторных средств, связанные с качественным и количественным поступлением воздуха в системе впуска ДВС	9
1.3 Анализ числа отказов датчиков массового расхода воздуха	14
1.4 Анализ конструкций датчиков массового расхода воздуха	15
1.5 Тенденции конструктивного совершенствования датчиков массового расхода воздуха	19
1.6 Анализ способов и приборных средств контроля технического состояния датчиков массового расхода воздуха	22
1.7 Контрольные вопросы	29
Глава 2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОДАЧИ ВОЗДУХА НА УЧАСТКЕ «ВОЗДУШНЫЙ ФИЛЬТР – ЦИЛИНДР» ДВИГАТЕЛЯ	31
2.1 Цели и задачи теоретических исследований	31
2.2 Исходная информация для исследования впускного тракта ДВС и особенности контроля расхода воздуха на впуске	32
2.3 Элементы впускного тракта и их влияние на процесс наполнения ДВС..	34
2.4 Особенности процессов газообмена в четырехтактных двигателях	39
2.5 Исследование изменения расхода воздуха на различных режимах работы ДВС	42
2.6 Теоретическое обоснование методов и средств диагностирования элементов системы впуска	47
2.7 Контрольные вопросы	54
Глава 3 МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	56
3.1 Методика исследования процесса диагностирования ДМРВ	56

3.2 Установка для диагностирования ДМРВ.....	56
3.3 Устройство для диагностирования ДМРВ на автомобиле.....	62
3.4 Метод тестового контроля и приборное средство.....	67
3.5 Мотор-тестер «МТ-10» для диагностирования систем ДВС.....	71
3.6 Экспериментальный стенд и его элементы.....	72
3.7 Методика эксперимента и анализ данных.....	75
3.8 Контрольные вопросы.....	78
Глава 4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	80
4.1 Результаты предварительных экспериментальных исследований при варьировании частоты вращения коленчатого вала ДВС.....	80
4.2 Результаты предварительных экспериментальных исследований при варьировании нагрузки.....	87
4.3 Результаты многофакторного эксперимента.....	93
4.4 Контрольные вопросы.....	119
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	122

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Современное автотракторостроение развивается по принципу обеспечения высокой экологичности при минимальном расходе топливных материалов, в связи с чем в последнее время появилось большое разнообразие новых систем и компонентов, решающих проблему экологичности и эффективности эксплуатации автотракторных средств. Основой совершенствования выступают интеллектуализация электронных систем автотракторных ДВС, направленных на множественный поэлементный контроль всех наиболее важных процессов функционирования ДВС в частности, в системе впуск современных автотракторных средств появилось множество электронных компонентов, основной задачей которых является непрерывное, качественное измерение входных величин воздухоподачи, последующего расчета, управления и коррекции работы систем ДВС. Основой системы впуска является датчик массового расхода воздуха (ДМРВ), конструкция которого включает в себя ряд датчиков, цепей сравнения, расчета, коррекции и управления. Сложность конструкции ДМРВ и многозадачность его функционирования с одной стороны создают проблему при обеспечении правильности его функционирования, с другой – качественный непрерывный контроль его технического состояния. Так как ДМРВ многокомпонентное устройство, то и контроль его технического состояния неоднозначен и сложен. В связи с чем возникают существенные отклонения при функционировании ДМРВ во время эксплуатации, которые не идентифицируются существующими методами. В связи с этим требуется разработка нового тестового метода диагностирования ДМРВ с учетом высокой достоверности и точности его технического контроля.

В настоящее время известно большое количество научных работ, направленных на разработку новых методов и средств диагностирования современных автотракторных средств с учетом влияния принципов интеллектуализации систем ДВС. Главным образом акцент делается на возможности встроенного непрерывного контроля штатными бортовыми системами автотракторных средств. Применительно к ДМРВ и элементам системы впуска разработан новый тестовый метод, реализуемый в трех возможных вариантах: ручном, полуавтоматическом, автоматическом. Для всех возможных ва-

риантов применения представлены приборные средства и методики, приведено их описание и анализ технологического процесса.

Глава 1 ОСОБЕННОСТИ КОНТРОЛЯ СИСТЕМЫ ВПУСКА МАШИН

1.1 Транспортные проблемы и их решение

В Российской Федерации, как и в других развитых странах, транспорт является одной из крупнейших базовых отраслей хозяйства, важнейшей составной частью производственной и социальной инфраструктуры. Транспортные коммуникации объединяют все районы страны, что является необходимым условием ее территориальной целостности, единства ее экономического пространства. Транспорт играет важную роль в социально-экономическом развитии страны. Транспортная система обеспечивает условия экономического роста, повышения конкурентоспособности национальной экономики и качества жизни населения. Не менее важное значение транспорт имеет в развитии конкурентных преимуществ страны с точки зрения реализации ее транзитного потенциала. Доступ к безопасным и качественным транспортным услугам определяет эффективность работы и развития производства, бизнеса и социальной сферы. Структура транспорта в общем объеме перевозок грузов и пассажирообороте России представлена на рисунках 1.1 и 1.2 [1, 2].

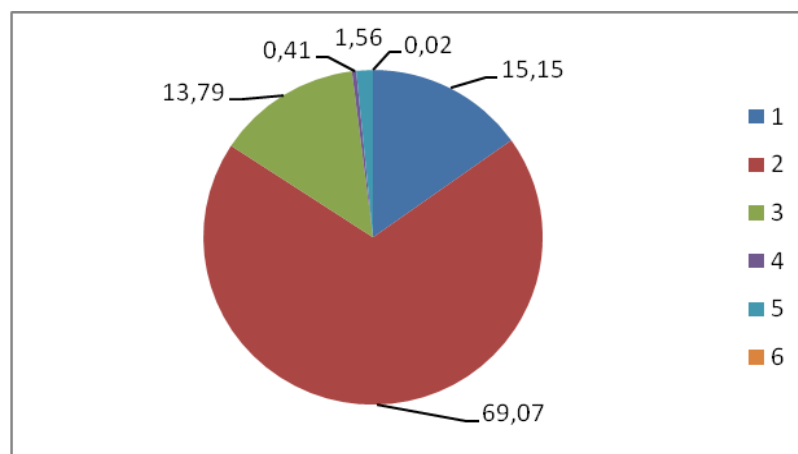


Рисунок 1.1 – Структура транспорта в общем объеме перевозки грузов, %:
1 – железнодорожный (15,15 %); 2 – автомобильный (69,07 %); 3 – трубопроводный (13,79 %); 4 – морской (0,41 %); 5 – речной (1,56 %);
6 – воздушный (0,02 %)

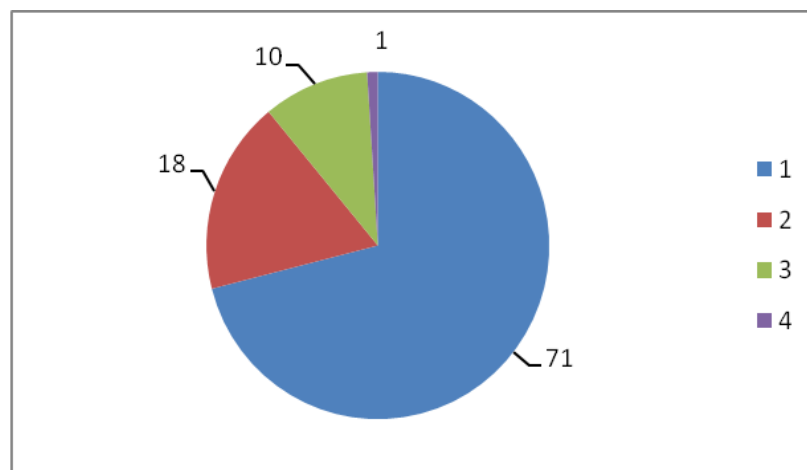


Рисунок 1.2 – Роль транспорта в пассажирообороте, %: 1 – автомобильный (71 %); 2 – воздушный (18 %); 3 – железнодорожный (10 %); 4 – морской (1 %)

Роль транспорта в социально-экономическом развитии страны определяется рядом объемных, стоимостных и качественных характеристик уровня транспортного обслуживания. Географическая и технологическая доступность транспортных услуг определяет возможности территориального развития экономики и социальной сферы. Доступность транспортных услуг и их объем определяют полноту реализации экономических связей внутри страны и за ее пределами, а также возможность перемещения всех слоев населения для удовлетворения производственных и социальных потребностей. Качественные характеристики уровня транспортного обслуживания связаны со скоростью, своевременностью, предсказуемостью, ритмичностью, безопасностью и экологичностью функционирования транспортной системы. В настоящее время экологичность при эксплуатации мобильных энергетических средств ставится на первое место.

1.2 Проблемы использования автотракторных средств, связанные с качественным и количественным поступлением воздуха в системе впуска ДВС

Важной проблемой эксплуатации современной автотракторной техники является своевременное и достаточное поступление воздуха в рабочие цилиндры [3, 4]. Однако в том случае, когда эксплуатация автотракторных средств происходит в условиях повышенной запыленности, избыточной

влажности, сложных климатических условиях возникает ситуация, связанная с ухудшением поступления процесса подачи свежего воздуха в рабочие цилиндры. Пониженное количество воздуха на впуске приводит к пропорциональному уменьшению количества впрыскиваемого топлива, что в итоге влияет на выходную мощность автотракторных средств. При снижении мощности ухудшается эффективность работы АТС, возникает значительный перерасход топлива, повышается токсичность отработавших газов.

Очень важно в процессе эксплуатации следить за изменением сопротивления воздушного фильтра, особенно в запылённых условиях использования АТС. Предельный перепад давления на воздушном фильтре приводит к его деформации, разрыву фильтрэлемента, в итоге атмосферный воздух поступает в цилиндр, не проходя соответствующую очистку от взвешенных частиц пыли, абразива, влаги.

Длительная работа цилиндров на неочищенном воздухе приводит к ускоренному абразивному изнашиванию поверхностей трения, ускоренному загрязнению моторного масла, что вызывает значительное сокращение заводского ресурса ДВС.

Сложные климатические условия также содействуют ускоренному изнашиванию. Например, запуск двигателя в зимнее время эквивалентен пробегу 150...300 км. в зависимости от конкретных условий запуска.

Для условий минимизации износа во время запуска ДВС разрабатываются различные конструктивные и технологические мероприятия, в частности: улучшаются характеристики моторного масла, используются предпусковые подогреватели, применяются системы для дополнительной подпитки маслом различных элементов трения ДВС. Используются методы предпусковой прокачки, обеспечивающие жидкостные условия трения при запуске ДВС.

Все перечисленные мероприятия существенно влияют на надежность ДВС и длительное поддержание на одном уровне эксплуатационных параметров.

В системе впуска ДВС возможны ситуации, когда при идеальном процессе воздухоподачи могут передаваться ошибочные данные на вход электронного блока управления. Причиной несоответствия могут выступать датчики, которые в процессе эксплуатации поменяли рабочие характеристики, потеряли чувствительность, точность, утратили работоспособность. К таким

датчикам можно отнести ДМРВ, датчик температуры, датчик давления воздуха, датчик детонации.

Перечисленные причины могут стать основой значительного искажения рабочих процессов ДВС и привести к полной утрате работоспособности.

В современных микропроцессорных системах АТС для временного исключения неработоспособного состояния датчиков применяются специально разработанные аварийные алгоритмы работы ДВС, основанные на использовании оставшихся работоспособных датчиков. Как правило, эти режимы характеризуются повышенной частотой вращения коленчатого вала ДВС, несколько увеличенным расходом топлива. Однако, аварийные алгоритмы, заложенные в электронный блок управления ДВС, позволяет доехать до места ремонта АТС. Поэтому в рядовой эксплуатации очень важно проверять правильность рабочих характеристик ДМРВ и других датчиков, в случае их значительного несоответствия заменять неисправные элементы, но для этого требуется разработка средств контроля рабочих характеристик датчиков, анализа соответствия сигнала эталонному уровню, обработки и использования полученной информации для оценки реального технического состояния. Это требует разработки встроенных систем контроля технического состояния, периодического или постоянного с учетом заложенных функциональных возможностей. В любом случае система самодиагностики, контроля, адаптивности и подстройки требует значительных затрат и многочисленных экспериментальных исследований [5].

Другой важной проблемой контроля правильности поступающего количества воздуха является повышение сопротивления в соединительных разъемах, ненадежный контакт и полное отсоединение отдельных контактных проводов или разъемов полностью.

Рост сопротивления в соединительном разъеме приводит к изменению рабочих характеристик датчиков, в частности ДМРВ может отображать пониженное значение напряжения на контрольном выводе.

Постепенно с ростом окисления контакта рассогласование сигналов значительно увеличилось, со временем достигая предельных значений для выбраковки датчика, хотя на самом деле датчик исправен. Соответственно замена ДМРВ на исправный ни к чему не приведет. В этих условиях помогают сравнительные методы при подключении в систему впуска эталонного датчика и последующее изменение разъемов, подключаемых к эталонному и

проверяемому датчику, позволяет обнаружить неисправность, связанную с повышенным сопротивлением. Неисправности, связанные с изменением сопротивления в соединительных контактах очень сложно обнаруживаются и приводят к значительным изменениям процессов ДВС [6, 7].

Существенный результат при распознавании высокого сопротивления контакта обнаруживает предлагаемый нами тестовый метод контроля ДМРВ. Кроме того, довольно часто в разъемах датчиков возникают обрывы проводов и временные, частые или периодические отсоединения отдельных контактов датчиков. Эти разновидности неисправностей обнаруживаются штатной системой самодиагностики, фиксируется как непостоянно проявляющиеся или временные.

Когда отсоединение происходит очень редко, то и обнаружить неисправность бывает очень сложно. Но по мере дальнейшей эксплуатации данная неисправность прогрессирует и в конечном итоге возникает полное отсоединение контакта. Полные разрывы цепей легко распознаются штатной системой самодиагностирования, чаще обнаруживая проблему места обрыва.

Длительная эксплуатация и использование полупроводниковых устройств сопровождается изменением их свойств. Переходные зоны полупроводников меняют проводимость, причем это изменение может возникать внезапно. Как правило, срок службы полупроводниковых элементов определяется по экспоненциальному закону. Средний срок службы элемента прописывается в инструкции по эксплуатации, и по достижении контрольного срока датчик заменяется на аналогичный, соответствующий нормативной документации. Данные сложные изменения проводимости обнаруживаются при помощи высокочувствительных Омметров. Но большой проблемой в эксплуатации является отсутствие предельных данных для отбраковки датчиков по максимальному превышению сопротивления. Сопротивление внутри полупроводника растет, но он выполняет заданные функции и в эксплуатации датчики не заменяют, а используют до заметного их влияния на эксплуатационные параметры ДВС. Хотя уже промежуточные значения изменяющейся проводимости полупроводников вызывают увеличения расхода топлива в отдельных режимных точках и требуют восстановления эталонных параметров. Используемые в настоящее время CAN-шины позволяют оценить электрический сигнал и его изменение во времени в любой точке иерархии соединений. Это позволяет отслеживать эталонные значения сопротивления, напряжения, тока

и их изменение во времени для контроля эксплуатационных изменений характеристик датчиков и их соединительных разъемов, что упрощает контроль их технического состояния за весь срок эксплуатации АТС.

Современное автотракторостроение направлено на реализацию узлов и элементов автотракторных систем ДВС по принципу модульности. Модуль включает в себя комплекс элементов управляющих, корректирующих или задающих режимы работы и условие функционирования отдельных систем ДВС. Элементы модуля объединены общим назначением, но разнородны по своему принципу работы и надежности отдельных составляющих [8].

В своей конструкции имеет ряд отдельных датчиков функционально связанных друг с другом, но имеющими разную надежность, так, например, в ДМРВ сгруппированы следующие датчики: датчик температуры поступающего воздуха, датчик давления воздуха, датчик расхода воздуха и другие цепи и элементы сравнения расчета и управления, отказ любого из них приводит к изменению функционирования всего модуля. В случае обнаружения отказа одного из датчиков, как правило, ДМРВ подлежит замене на эталонный датчик массового расхода воздуха. Часто ДМРВ делают закрытого типа, без возможности его вскрытия и ремонта или замены отдельных элементов. В итоге отказ малозначимого дешевого элемента приводит к полной замене дорогостоящего ДМРВ. Часто принцип модульности без разборки и вскрытия не позволяет выявить эпицентр неисправности, при этом система самодиагностики не обнаруживает, что ДМРВ не исправен. В итоге возникает неопределенность и условие неразличимости неисправности, которая приводит к длительному поиску отказа и перебору всех возможных приборных методов контроля. Поэтому в эксплуатации возникает необходимость тестового контроля дискретных компонентов модуля с идентификацией неисправных состояний каждого из них. Иерархичность контроля неисправностей вызывает сложности в разработке алгоритмов диагностирования и обеспечивающей их технологии, что и рассматривается в дальнейших разделах.

1.3 Анализ числа отказов датчиков массового расхода воздуха

Развитие автомобильных средств диагностирования идет по двум направлениям: по пути дальнейшего совершенствования уже имеющихся и по пути конструирования и построения совершенно новых устройств.

Датчик массового расхода воздуха занимает третье место, а точнее 14,2% из всех неисправностей и отказов, влияющих на работу двигателя.

Нами предлагаются совершенно новые конструкторские разработки стендов для проверки датчиков массового расхода воздуха, которые позволяют диагностировать датчики на всех режимах работы, с высокой точностью диагностирования и малой трудоемкостью [9, 10].

Гистограмма неисправностей и отказов микропроцессорной системы управления и диагностики (МСУД) указана на рисунке 1.3.

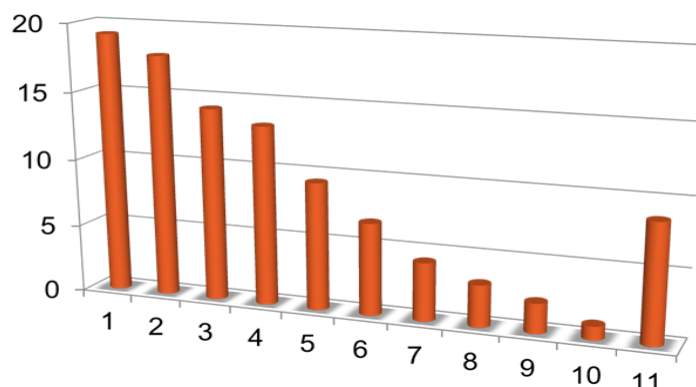


Рисунок 1.3 – Гистограмма неисправностей и отказов МСУД: 1 – свечи, 2 – датчик положения дроссельной заслонки, 3 – датчик массового расхода воздуха, 4 – регулятор холостого хода, 5 – модуль зажигания, 6 – датчик кислорода, 7 – датчик температуры, 8 – регулятор топливного давления, 9 – топливный насос, 10 – датчик детонации, 11 – прочие

Основные причины обращений клиентов на СТО представлены на рисунке 1.4 [2].

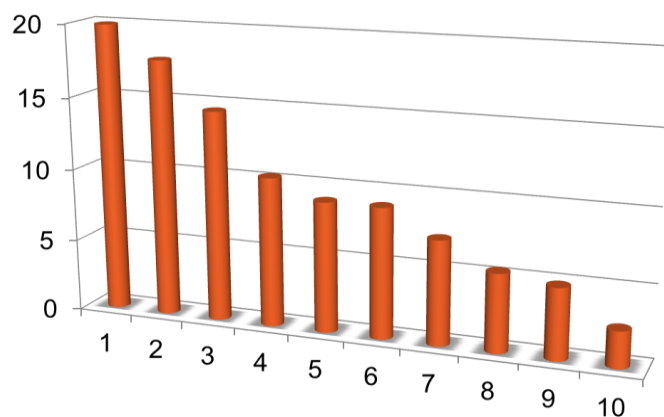


Рисунок 1.4 – Гистограмма распределения причин обращения клиентов на СТО: 1 – неустойчивая работа или остановка на холостом ходу (19,9%), 2 – затрудненный запуск (17,7%), 3 – рывки или провалы (14,5%), 4 – перебои в работе двигателя (10,3%), 5 – детонация (9%), 6 – задержки, провалы, подергивания (9%), 7 – недостаточная мощность и приемистость (7,2%), 8 – повышенный расход топлива (5,4%), 9 – повышенная токсичность (4,9%), 10 – непостоянные неисправности (2,5%)

1.4 Анализ конструкций датчиков массового расхода воздуха

В последних системах с распределенным впрыском топлива, в том числе и для автомобилей ВАЗ, ГАЗ и УАЗ, обширно распространены термометрические датчики массового расхода воздуха [13, 14]. Главные преимущества данного метода измерения: безинерционность (высокая достоверность дозирования топлива за счет довольно быстрой фиксации массового расхода топлива), постоянство регулировочных данных в процессе эксплуатации, отсутствие элементов, создающих аэродинамическое сопротивление потоку воздуха, и подвижных деталей. Анализ показал, что имеются два типа датчиков: нитевые и пленочные. У нитевого датчика нагреваются платиновые нити (рисунок 1.5) [11].

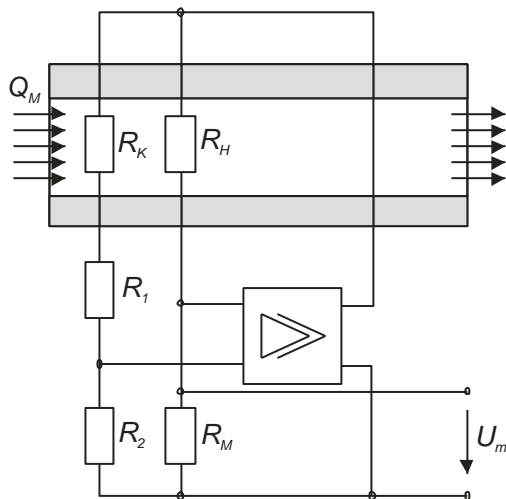


Рисунок 1.5 – Расходомер массы воздуха с использованием нагретой проволоки (нити): Q_M – массовый расход, U_m – выходное напряжение, R_H – термо-резистор, R_M – прецизионный резистор, R_1 и R_2 – уравнивающие резисторы, R_K – термокомпенсационный резистор

Блок датчика гарантирует их постоянную температуру (150°C). При повышении расхода воздуха нить охлаждается. С увеличением температуры до 150°C растет напряжение на контактах нити и ЭБУ в соответствии с этим меняет расход топлива. При выключении зажигания нить на небольшое количество секунд нагревается приблизительно до 1000°C для самоочищения. У пленочного датчика поддерживается непрерывная температура пленочного платинового резистора, нанесенного на керамическую пластину. Дефектом датчика является потребность смены его элемента при отложении на нем загрязнений, так как прожигать его нельзя. Датчик, в котором применяется нагрев пленки, имеет все измерительные и управляющие электронные элементы на одной подложке (рисунок 1.5). В нем нагревательные и измерительные резисторы исполняются в виде тонких платиновых слоев, напыленных на поверхность кристалла кремния. Температурная изоляция монтажа достигается установкой кристалла кремния на микромеханически утонченную подложку. Смежно-расположенные датчик температуры подогревателя S_H и датчик температуры воздуха S_L (на более толстом краю кремниевого кристалла) поддерживают нагревательный резистор c на неизменном уровне превышения температуры. Данный способ отличается от предыдущих тем, что для получения выходного сигнала не требуется тестировать ток подогре-

ва. Далее на рисунке 1.6 представлена схема ДМРВ проволочного типа [12, 13].

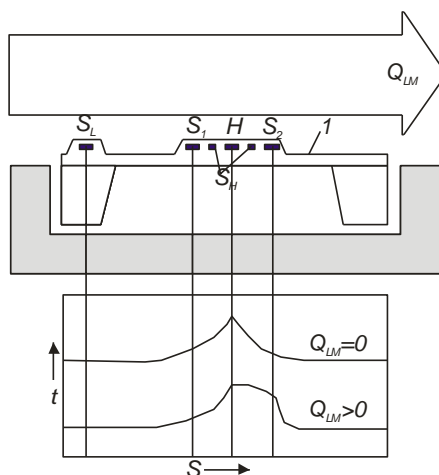


Рисунок 1.6 – Микромеханический расходомер массы воздуха с использованием нагрева пленки: 1 – диэлектрическая диафрагма, H – нагревательный резистор, S_H – датчик температуры нагревателя, S_L – датчик температуры воздуха, S_1 и S_2 – температурные датчики (предшествующий нагревателю и следующий за ним), Q_{LM} – масса воздушного потока, t – температура

Принцип действия пленочного измерителя аналогичен принципу действия теплового измерителя (рисунок 1.7).

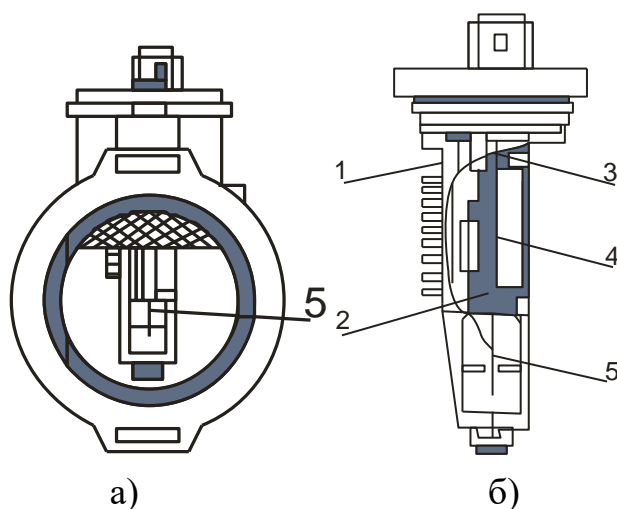


Рисунок 1.7 – Пленочный измеритель массового расхода воздуха: а) – корпус, б) – пленочный измеритель (устанавливается в центре корпуса), 1 – теплоотводящий элемент, 2 – распорный элемент, 3 – задающая ступень, 4 – гибридная схема, 5 – измерительный элемент (металлическая пленка)

Однако, в целях упрощения конструкции большая часть электромостовой схемы измерителя размещается на керамической подложке, в форме тонкопленочных резисторов [15, 16]. Кроме того, отпадает необходимость сжигания загрязнений пленки. Эта проблема решается размещением измерителя за потоком воздуха, что уменьшает отложение загрязнений на пленке измерителя. Еще одним вариантом измерения расхода всасываемого в цилиндры воздуха является измеритель объемного расхода, работающий на принципе завихрений типа Карман (рисунок 1.8).

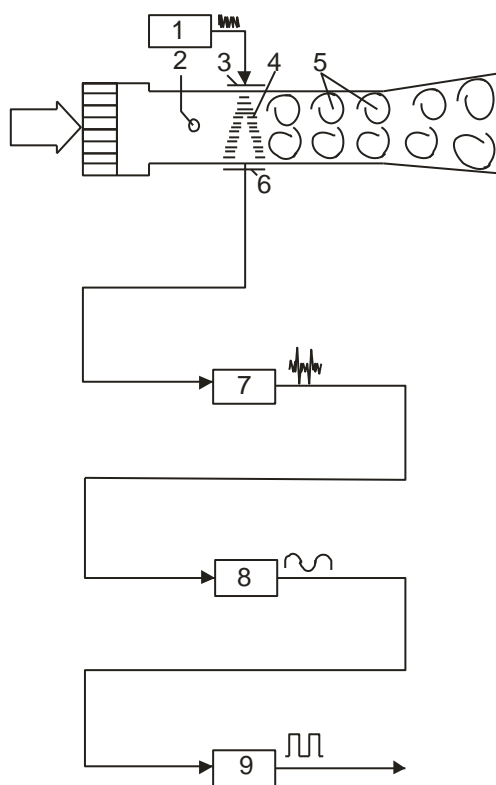


Рисунок 1.8 – Измеритель Карман объемного расхода воздуха вихревого типа: 1 – осциллятор, 2 – генератор турбулентности, 3 – передатчик, 4 – ультразвуковые волны, 5 – вихревые потоки, 6 – приемник, 7 – усилитель, 8 – фильтр, 9 – формирователь импульсов

Этот измеритель определяет завихрения потока воздуха, проходящего через генераторы турбулентности. Частота этих завихрений является мерой объемного расхода воздуха. Она измеряется испускаемыми волнами ультразвуковых колебаний, направленных перпендикулярно потоку воздуха на входе. Изменение скорости этих волн определяется ультразвуковым приемником, и полученные сигналы анализируются в ECU.

1.5 Тенденции конструктивного совершенствования датчиков массового расхода воздуха

При разработке современных электронных компонентов автотракторной техники получил широкое распространение принцип интеллектуализации. Данный принцип предполагает, помимо функции контрольной, обеспечиваемой самим датчиком, встроенные функции адаптивности, коррекции, подстройки и внутренние тарировки. Все эти функции стали возможными при распространении принципов цифрового подхода к обрабатываемой информации и формируемых управляемых требованиях к системам ДВС. На основе сенсорных датчиков стали устанавливать мини контроллеры с возможностью многоканального режима управления набором датчиков и исполнительных устройств. В первую очередь, принципу интеллектуализации подчинили системы, отвечающие за безопасность автотракторных средств. После чего данный принцип постепенно распространился на более простые системы и в конечном итоге на рядовые датчики, в частности ДМРВ, но до появления датчиков на микроконтроллере электронные компоненты проходили еще несколько стадий своего совершенствования и развития. На начальном этапе использовались исключительно аналоговые датчики, в которых обязательным элементом являлся чувствительный компонент, реагирующий на изменения каких-либо условий работы, варьировании режимов, на любые задающие входные параметры [14].

Надо сказать, что датчики с аналоговым выводом до сих пор применяются в автотракторном машиностроении. Основным преимуществом такого типа датчиков является их простота, дешевизна и легкость определения технического состояния. В тот же момент, недостатками выступают низкая помехозащищенность, наличие промежуточных соединительных компонентов, вносящих погрешность в процесс измерения, их низкая надежность с последующим увеличением численности различных датчиков, устройств управления и исполнительных элементов, возникла потребность в многоканальных устройствах обработки данных (электронных блоков управления). До тех пор, пока датчиков было менее 10 больших проблем с многоканальностью и системным управлением не возникало. Но по мере увеличения численности датчиков, обеспечение высокого быстродействия и текущего управления

процессами потребовалась разработка других принципов работы систем и их взаимодействие с рядовыми электронными компонентами и датчиками.

При первичном появлении электронных блоков управления требуется преобразование аналогового сигнала в цифровой вид, так как электронный блок управления может взаимодействовать только на основе цифровой информации. В результате на отдельные измерительные датчики стали устанавливать аналого-цифровые преобразователи, которые преобразовывали измеряемый датчиком аналоговый сигнал, в цифровой вид, понятный для ЭБУ. После чего цифровой сигнал направлялся по отдельному каналу к электронному блоку управления, принимался им на входе, сравнивался с допустимыми значениями, использовался для вычисления других управляемых параметров [15].

Аналоговые устройства на основе АЦП широко используются в настоящее время в автотракторной электронике и независимо от их числа размещаются на системах ДВС, контролируя наиболее важные процессы и обеспечивая управление ими. При значительном росте числа электронных компонентов возникла проблема многоконттактности электронных блоков управления, существенном разделении параллельных процессов, наличие большого числа каналов вызвало увеличение длины соединительных проводов и большого количества штекерных и разъемных соединений.

Как известно, самыми ненадежными элементами электронных систем являются электронные соединения, штекера, разъемы, которые при эксплуатации окисляются и расшатываются под действием непрерывных вибраций и тряски. На первом этапе задачу многоканальности соединений начали решать путем увеличения числа единичных контактов в одном штекерном соединении. Но после того, как их число достигло значений 55-75 и более был предложен принцип разделения отдельных компонентов и их соединений по отдельным электронным блокам управления. То есть появился принцип многоблочности, функциональной принадлежности к заданной системе и узлу, ограниченный уровень параллельной работы одного электронного устройства. Стали разрабатываться электронные блоки управления, отвечающие за управление ДВС, управления коробкой передач, управления климат-контролем, фарами, АБС и ПБС и другие.

Каждый электронный блок стал обеспечивать функционирование своего конкретного узла и системы, существенно разгружаясь от отсутствия других

параллельных процессов. Однако у данного принципа разделение системы управления по отдельным блокам имеются недостатки: большая иерархичность различного уровня информации, множественность электронных блоков управления, которые должны быть соединены между собой и подвержены принципам управления с учетом существенной многозадачности. Те системы, которые стоят на первом месте по уровню иерархии должны управляться в режиме текущего времени, при скорости обмена процессами более 0,5 Мбит в секунду. Процессы менее значимые в иерархии работы автотракторных средств управляются на скоростях обмена данными около 0,1 Мбит в секунду. Низкоуровневые процессы, не требующие скоростей обработки данных, управляются на скоростях гораздо менее 0,1 Мбит в секунду. В основном это сигналы на разблокировку сигнализации, малозначимые процессы, не влияющие на безопасность дорожного движения.

Появление принципа иерархичности в преобразовании и передачи информации потребовало применение высокоскоростных протоколов обмена данными. Появились CAN-шины с передачей информации по оптоволоконным кабелям с возможностью передачи большого числа данных последовательных и параллельным процессом [16].

В этой системе иерархии ДМРВ находится на первом месте, так как с него запрашивается текущее количество поступающего воздуха на впуске с учетом обратных колебаний процессов впуска у измерительного тракта датчика. Расположение ДМРВ на первом месте в иерархии преобразования передачи данных делает его сигнал системообразующим для всех последующих процессов. Поэтому любое отклонение измеряемого потока воздуха от реальной величины вызывает существенные проблемы при функционировании ДВС, обеспечении минимального расхода топлива и токсичных компонентов [15]. На ближайшую перспективу ДМРВ превратится в сложное устройство на основе микроконтроллера с комплексом взаимосвязанных датчиков и высокоскоростным устройством обмена данными. ДМРВ на основе микроконтроллера помимо функций контроля будет обладать дополнительными встроенными возможностями: встроенная тарировка, встроенное диагностирование всех компонентов ДМРВ, возможность подстройки ДМРВ под изменяющиеся условия работы автотракторных ДВС, возможность адаптивности настроек датчика и согласование его выходных параметров с входными значениями данных при изменении технического состояния систем ДВС.

Таким образом, рассматриваемая технология контроля ДМРВ может быть реализована в перспективных ДМРВ на основе встроенных алгоритмов его функционирования.

1.6 Анализ способов и приборных средств контроля технического состояния датчиков массового расхода воздуха

Универсальный мультимарочный сканер BARS 5 PRO – профессиональный диагностический прибор для работы с электронными системами управления автомобилей различных марок (рисунок 1.9).



Рисунок 1.9 – BARS 5 PRO комплект: универсальный программно-аппаратный сканер

Диагностические возможности сканера максимально приближены к дилерским и могут расширяться, благодаря возможности регулярного обновления программного обеспечения.

Техническая характеристика:

1. Потребляемая мощность, Вт 10
2. Температура окружающей среды от +10 до +50 °С
3. Габаритные размеры, мм 150x100x30
4. Масса, кг 0,3
5. Стоимость, тыс. рублей 129

На сегодняшний день программное обеспечение диагностического сканера Барс 4 поддерживает практически все марки автомобилей. Список моделей постоянно пополняется.

Диагностическая информация сканера Барс 4 может отображаться на экране любого устройства, что делает возможным его использование в комплексе с персональным компьютером, ноутбуком, а также любым карманным компьютером (PalmPC, PocketPC), оснащенным терминальной программой.

Прибор поддерживает функцию беспроводной диагностики при оснащении его дополнительным модулем Bluetooth.

Диагностируемые системы: 1. Двигатель: чтение активных кодов, чтение сохраненных кодов, стирание кодов, поток данных, активация, графики показаний сенсоров; 2. АКП; 3. Подвеска; 4. ABS, ПБС, СКС; 5. Круиз-контроль; 6. Климат-контроль; 7. Подушка безопасности; 8. Электронная комбинация приборов; 9. Бортовой компьютер; 10. Другие системы (в зависимости от модели автомобиля).

Конструкция данного сканера такова, что позволяет обновлять и дополнять программное обеспечение, ничего не меняя в программе, т. е. однажды приобретя этот прибор вам достаточно будет просто получать обновления, например, через интернет, и подключив к компьютеру загрузить новый файл [14, 15].

Достоинства: 1. Возможность сканирования всех известных в настоящее время автомобилей; 2. Сканирование всех возникающих ошибок; 3. Малые габаритные размеры; 4. Легкость подсоединения.

Недостатки: 1. Невозможность достоверного диагностирования ряда систем ДВС; 2. Малая вариация нагрузочных режимов; 3. Высокая стоимость.

BOSCH KTS 340 – новинка от компании БОШ (рисунок 1.10). Системный сканер KTS 340 представляет собой портативный и мультимедийный прибор для комплексной диагностики автомобилей. Данный прибор, несмотря на свой молодой возраст уже является обладателем престижной европейской награды LES GRANDS PRIX DE L'INNOVATION FOURNISSEURS 2008 за лучшую инновацию в области гаражного оборудования. KTS 340 объединяет в себе такие положительные качества сканеров семейства KTS, как мощность KTS 670 и компактность KTS 200.



Рисунок 1.10 – Диагностический сканер BOSCH KTS 340

Технические характеристики:

1. Напряжения питания (бортовая сеть автомобиля), В 230, 12/24
2. Цветной сенсорный экран диагональю, дюйма 8,4
3. Потребляемая мощность, не более, Вт 10
4. Рабочий диапазон температуры окружающей среды, С от +5 до +50
5. Габаритные размеры, мм 290×214×67
6. Масса, кг 2
7. Стоимость, тыс. рублей 375

BOSCH KTS 340 обладает следующими преимуществами: 1. ПО ESI[tronic] в составе модулей SD/SIS, M, TSB; 2. Широчайшее покрытие (более 230000 модификаций ТС); 3. Компактность, мобильность и функциональность; 4. Цветной сенсорный экран диагональю 8,4"; 5. Прочный и удобный корпус с обрезиненными краями; 6. Интуитивно понятное меню на русском языке; 7. Прямой переход от диагностики к рекомендациям по ремонту и наоборот; 8. Питание от аккумуляторов формата AA; 9. Быстрая процедура идентификации ТС; 10. Отличное соотношение цены и возможностей.

Достоинства: 1. Возможность сканирования всех известных в настоящее время автомобилей; 2. Сканирование всех возникающих ошибок; 3. Малые габаритные размеры; 4. Легкость подсоединения.

Недостатки: 1. Невозможность достоверного диагностирования ряда систем ДВС; 2. Малая вариация нагрузочных режимов; 3. Высокая стоимость.

Диагностический комплекс Мотор-Тестер МТ10КМ предназначен для проверки технического состояния и поиска неисправностей в автомобильных бензиновых (и в ограниченном объеме дизельных) двигателях внутреннего

сгорания при проведении ТО и ремонта автомобилей на станциях техобслуживания, автосервиса, владельцем автомобиля (рисунок 1.11).



Рисунок 1.11 – Мотор-тестер МТ10КМ

Возможности: Мотор-Тестер МТ10КМ включает полнофункциональный мотор-тестер для бензиновых (и частично дизельных) ДВС, компьютерный сканер для дизельных и бензиновых автомобилей и базу данных. Мотор-Тестер МТ10КМ работает на основе программного обеспечения МТ10 и поддерживает диагностику в режиме сканера большинства автомобилей. Режимы работы: сканер, осциллограф и мотор-тестер.

Техническая характеристика:

1. Количество просматриваемых параметров в динамике, шт 16
2. Напряжения питания, В 220
3. Потребляемая мощность не более, Вт 30
4. Измерение давления, бар 40
5. Габаритные размеры не более, мм 380×210×60
6. Вес не более, кг 3
7. Рабочий диапазон температуры окружающей среды, °С от +10 до +35
8. Диапазон температуры хранения, °С от 0 до +45
9. Влажность окружающей среды не более, % 75
10. Стоимость, тыс. рублей 180

Достоинства: 1. Возможность диагностирования всех известных в настоящее время автомобилей, включая дизельные; 2. Большое количество диагностических параметров; 3. Многоканальность средства, возможность одновременного просмотра ряда параметров; 4. Малые габаритные размеры.

Недостатки: 1. Малая вариация режимов диагностирования; 2. Невозможность достоверного диагностирования ряда систем ДВС; 3. Высокая стоимость.

Цифровой осциллограф USB Autoscope III или IV (осциллограф Постолювского) предназначен для просмотра, сохранения и анализа цифровых и аналоговых сигналов с электрических цепей автомобиля с целью поиска неисправностей в электронных системах автомобиля и диагностики механики бензиновых двигателей (рисунок 1.12). Прибор подключается к ПК через USB-порт [6, 7].



Рисунок 1.12 – Автомобильный цифровой осциллограф USB Autoscope IV (осциллограф Постолювского)

Технические характеристики:

1. Количество аналоговых входов, шт. 8
2. Напряжения питания (бортовая сеть автомобиля), В 12...16
3. Количество каналов осциллографа, 1, 2, 4, 8 (по выбору)
4. Потребляемая мощность не более, Вт 10
5. Габаритные размеры не более, мм: 150×100×30
6. Вес не более, кг 0,3
7. Рабочий диапазон температуры окружающей среды, С от +10 до +35
8. Диапазон температуры хранения, °С от 0 до +45
9. Влажность окружающей среды, не более, % 75
10. Стоимость, тыс. рублей 160

Достоинства: 1. Возможность диагностирования всех известных в настоящее время автомобилей, включая дизельные; 2. Большое количество диагностических параметров; 3. Многоканальность средства, возможность одновременного просмотра ряда параметров; 4. Малые габаритные размеры; 5. Возможность поэлементного диагностирования систем ДВС.

Недостатки: 1. Невозможность достоверного диагностирования ряда систем ДВС; 2. Малая вариация нагрузочных режимов; 3. Относительная сложность работы с прибором [11].

В начальной части анализа следует указать на то, что современные ДМРВ относятся к числу неремонтируемых и невосстанавливаемых электронных устройств. В технических рекомендациях указывается метод контроля ДМРВ при помощи регулируемого блока питания и контрольного вольтметра (возможен также контроль сопротивления выводов) (рисунок 1.13).



Рисунок 1.13 – Метод контроля ДМРВ при помощи регулируемого блока питания и контрольного вольтметра: 1 – контролируемый ДМРВ, 2 – измерительный вольтметр, 3 – регулируемый блок питания

Однако данный метод, показанный на рисунке 1.13, не позволяет выявить отклонение ДМРВ от правильности работы.

В литературе известен также метод контроля ДМРВ при сравнении его параметров с эталонными (рисунок 1.14).

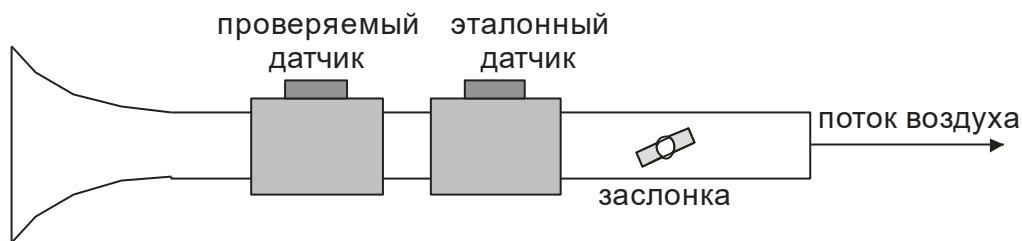


Рисунок 1.14 – Метод контроля ДМРВ при сравнении его параметров с эталонными

При использовании данного метода возникает необходимость снимать контролируемый ДМРВ с автотракторного средства. Режимы, которые задаются на устройстве не соответствуют эксплуатационным. Метод очень трудоемок и малоэффективен.

В заводских лабораториях и на рядовых предприятиях предлагается метод контроля ДМРВ с учетом влияния прямого и обратного воздушного потока (рисунок 1.15).

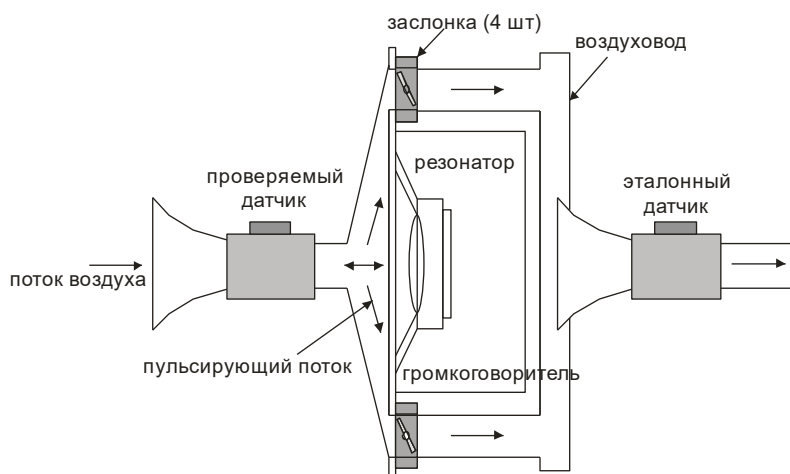


Рисунок 1.15 – Метод контроля ДМРВ с учетом влияния прямого и обратного воздушного потока

Данный метод имеет в основном те же недостатки, что и предыдущий, кроме того, к ним добавляется еще большая трудоемкость и сложность.

Для контроля технического состояния ДМРВ используется широкий перечень диагностических сканеров, тестеров, мотор-тестеров, цифровых осциллографов [5, 6]. Однако контроль носит местный характер, направленный на конкретный разъем или вывод [10, 11]. Как показывает практика диагностирования ДМРВ с высокой достоверностью различимы только следующие

отказы ДМРВ: обрыв цепей, замыкание на плюс или массу. Отклонение правильности работы ДМРВ никак не регистрируется.

Таким образом, возникает необходимость разработки метода диагностирования без снятия ДМРВ с автотракторного средства с учетом реальных условий его работы. Таким методом является предлагаемый метод тестового контроля ДМРВ при формировании нагрузочных воздействий и фиксации отклика выходных параметров ДМРВ на проведенные тесты [2].

1.7 Контрольные вопросы

1. Роль транспорта в экономике страны.
2. Важность перевозочного процесса и проблемы логистики.
3. Причины нарушения воздухоподачи.
4. Факторы, влияющие на изменение воздухоподачи на впуске двигателя.
5. Степень влияния загрязнения воздушного фильтра на качество процесса воздухоподачи в цилиндры двигателя.
6. Перечислите основные элементы системы впуска.
7. Функции, выполняемые ДМРВ на автотранспорте.
8. Особенности функционирования ДМРВ и его назначение.
9. Комбинированные и модульные элементы системы впуска. Многофункциональные ДМРВ высокой чувствительности.
10. Статистика и анализ отказов современных ДМРВ, а также других элементов системы впуска.
11. Иерархия основных причин обращения пользователей автотранспорта на станцию технического обслуживания.
12. Современный ДМРВ нитевого типа, особенности функционирования.
13. Современные ДМРВ на основе пленочных технологий. Перечислить преимущества и недостатки.
14. Особенности конструкции ДМРВ вихревого типа. Применяются ли данные типы датчиков сегодня?
15. Разнообразие типов ДМРВ и их универсальность.
16. ДМРВ на автотракторных средствах с CAN-шиной, особенности функционирования.

17. Скорости обмена данных при использовании мультиплексной системы.
18. Автомобильные сканеры и их функциональные возможности при контроле технического состояния системы впуска.
19. Автомобильные мотор-тестеры и их функциональные возможности при контроле технического состояния системы впуска.
20. Автомобильные цифровые USB-осциллографы и их функциональные возможности при контроле технического состояния системы впуска.
21. Особенности контроля технического состояния датчиков массового расхода воздуха при использовании сравнительных методов.
22. Контроль датчиков массового расхода воздуха с учетом влияния прямого и обратного воздушного потока.
23. Особенности контроля датчиков массового расхода воздуха при тестовом диагностировании.
24. Контролируемые параметры датчиков массового расхода воздуха.
25. Возможности подстройки и адаптивности рабочих параметров датчиков массового расхода воздуха.

Глава 2 ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОДАЧИ ВОЗДУХА НА УЧАСТКЕ «ВОЗДУШНЫЙ ФИЛЬТР – ЦИЛИНДР» ДВИГАТЕЛЯ

2.1 Цели и задачи теоретических исследований

В процессе диагностирования системы впуска, значительную сложность представляет оценка технического состояния ее элементов из-за существования множественных связей между структурными и диагностическими параметрами. Связи между этими параметрами формируются в процессе подачи воздуха во впускной тракт, его движения по патрубкам и каналам, утечек воздуха через зазоры сопряжений, и включают в себя целый ряд физических закономерностей, обуславливающих эти связи.

Теоретические исследования направлены на поиск однозначных связей между структурными и диагностическими параметрами.

Целью настоящего теоретического исследования является выбор диагностических параметров и режимов, которые позволили бы однозначно оценивать техническое состояние элементов системы впуска.

В связи с последовательным включением в работу элементов системы впуска в процессе подачи воздуха во впускном тракте можно выделить несколько этапов этого процесса. Каждый из этих этапов можно охарактеризовать продолжительностью во времени и действием определенных физических закономерностей, которые обусловлены функционированием строго определенных элементов системы впуска. По этой причине каждый характерный этап и участок движения воздуха содержит информацию о техническом состоянии определенных элементов системы впуска. Очевидно, что поэтапное исследование процесса подачи воздуха позволит упростить анализ действующих закономерностей при формировании давления и подачи воздуха во впускном тракте, а также установить однозначные связи технического состояния отдельных элементов с изменениями подачи воздуха на отдельных участках осциллограммы. Эти связи и предполагается использовать при выборе режимов диагностирования и диагностических параметров. В ходе поэтапного исследования процесса подачи планируется разработать и использовать математические зависимости процесса формирования подачи воздуха.

В ходе проведения теоретического исследования процесса подачи воздуха предполагается решение ряда задач, обеспечивающих достижение поставленной цели исследований:

1. Раскрытие взаимосвязи величины подачи воздуха во впускном тракте от технического состояния элементов системы впуска, смещения фаз ГРМ, сопротивления выпускной системы.

2. Обоснование диагностических параметров и режимов диагностирования для оценки технического состояния элементов системы впуска.

2.2 Исходная информация для исследования впускного тракта ДВС и особенности контроля расхода воздуха на впуске

Для раскрытия взаимосвязи величины подачи воздуха во впускном тракте от технического состояния элементов системы впуска, смещения фаз ГРМ, сопротивления выпускной системы необходимо согласно теории пневматического расчета, задаться следующими исходными данными:

- сечением пневматического тракта, для которого составляется теоретическая зависимость процесса подачи воздуха;
- временным этапом в процессе формирования подачи;
- краевыми условиями для участков и этапов, которые описываются уравнениями граничных (краевых) условий.

Уравнения граничных условий описывают физические закономерности, происходящие в рамках рассматриваемого процесса подачи воздуха. К таким уравнениям относятся: уравнения баланса объемов воздуха, уравнения движения элементов системы впуска, уравнения сохранения сплошности и энергии [11, 12].

В основу математических зависимостей процесса подачи воздуха были положены уравнения, описывающие движение воздуха через элементы системы впуска.

Расчет воздушной системы и ГРМ затрудняется сложностью пневматической схемы [13], необходимостью оценки расходов воздуха через ответвления, оптимизации компоновки воздушной системы, зависимостью пневматических сопротивлений участков и расхода воздуха через них. В общем виде выражение, описывающее расход воздуха через различные элементы системы впуска, можно представить следующим образом:

$$G_K = G_K(\Delta p_K \mu_K), \quad (2.1)$$

где G_K – расход воздуха, л/с; Δp_K – перепад давления на исследуемом элементе, МПа; μ_K – динамическая вязкость воздуха, Па·с.

Расход воздуха G_K через исследуемый элемент есть нелинейная функция перепада на нем давления Δp_K и динамической вязкости воздуха μ_K .

Уравнение баланса расходов для каждого узла системы, состоящей из n узлов, имеет вид:

$$\sum_{k=1}^{k=K_i} G_K(\Delta p_K \mu_K) = \sum_{m=1}^{m=M_i} G_m(\Delta p_m \mu_m), \quad (2.2)$$

где $G_K(\Delta p_K \mu_K)$ – расход воздуха в k -й ветви, подводящей воздух в i -й узел (K_i – число таких ветвей), л/с; $G_m(\Delta p_m \mu_m)$ – расход воздуха в m -й ветви, отводящей воздух из i -го узла (M_i – число таких ветвей), л/с.

Перепад давлений в каждой ветви есть разница между давлением в предыдущем и последующем узлах, поэтому система (2.2) состоит из n нелинейных уравнений относительно n неизвестных давлений p_i в узлах. В общем, виде (при условии неразрывности потока в каждой из ветвей) система этих уравнений имеет вид:

$$A_i(\bar{\delta}) - \hat{A}_i(\bar{\delta}) = 0; \quad \hat{A}_n(\bar{\delta}) - \hat{A}_n(\bar{\delta}) = 0, \quad (2.3)$$

где A_i, B_i – сумма расходов в ветвях, подающих воздух в i -й узел и отводящих из него воздух, л/с; $\bar{\delta} = (\bar{\delta}_1, \bar{\delta}_2, \dots, \bar{\delta}_n)$ – вектор неизвестных давлений в узлах, МПа.

Особую актуальность приобретает контроль правильности функционирования элементов системы топливоподачи в процессе эксплуатации и коррекция рабочих параметров элементов, при изменении их технического состояния [14].

2.3 Элементы впускного тракта и их влияние на процесс наполнения ДВС

Для дальнейшего поэлементного анализа представим общую схему элементов системы топливоподачи и впуска участвующих в формировании топливно-воздушной смеси (рисунок 2.1).

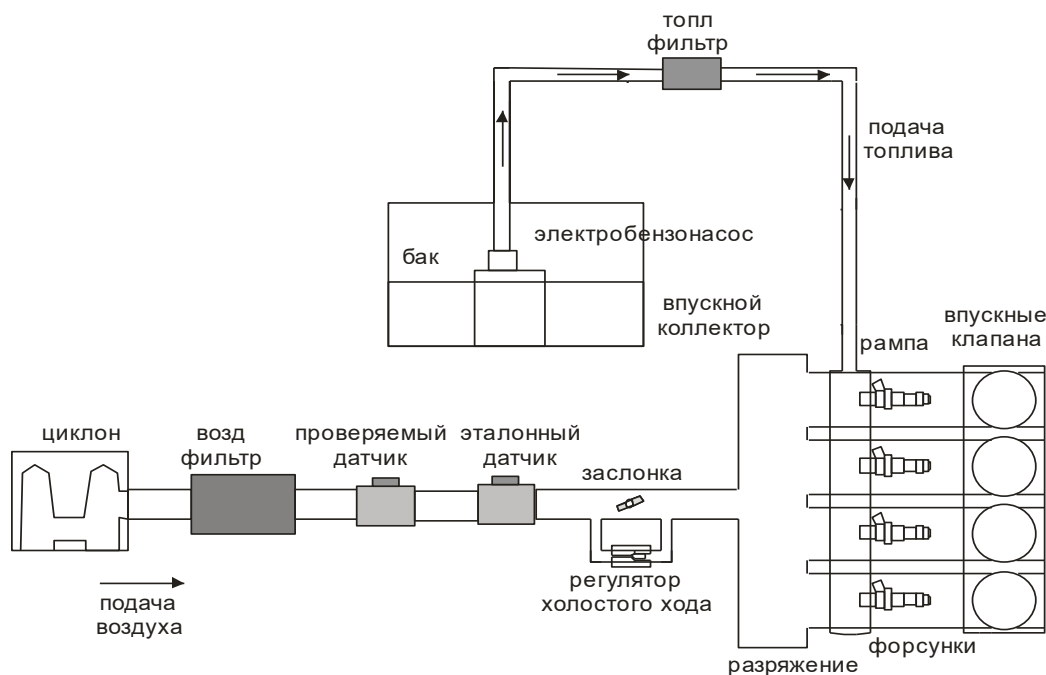


Рисунок 2.1 – Схема элементов системы топливоподачи и впуска участвующих в формировании топливно-воздушной смеси

Как видно из рисунка 2.1, элементы системы топливоподачи и впуска представлены в последовательности прохождения топлива и воздуха через них. Топливо проходит последовательно через: электробензонасос, топливный фильтр, рампу, форсунки. Воздух проходит через следующие элементы: циклон, воздушный фильтр, проверяемый датчик массового расхода воздуха (ДМРВ), эталонный ДМРВ, дроссельную заслонку или (и) регулятор холостого хода, впускной коллектор, впускные клапана. Процесс топливоподачи и воздухоподачи будет рассматриваться последовательно прохождению топлива и воздуха через отдельные элементы систем (рисунок 2.1).

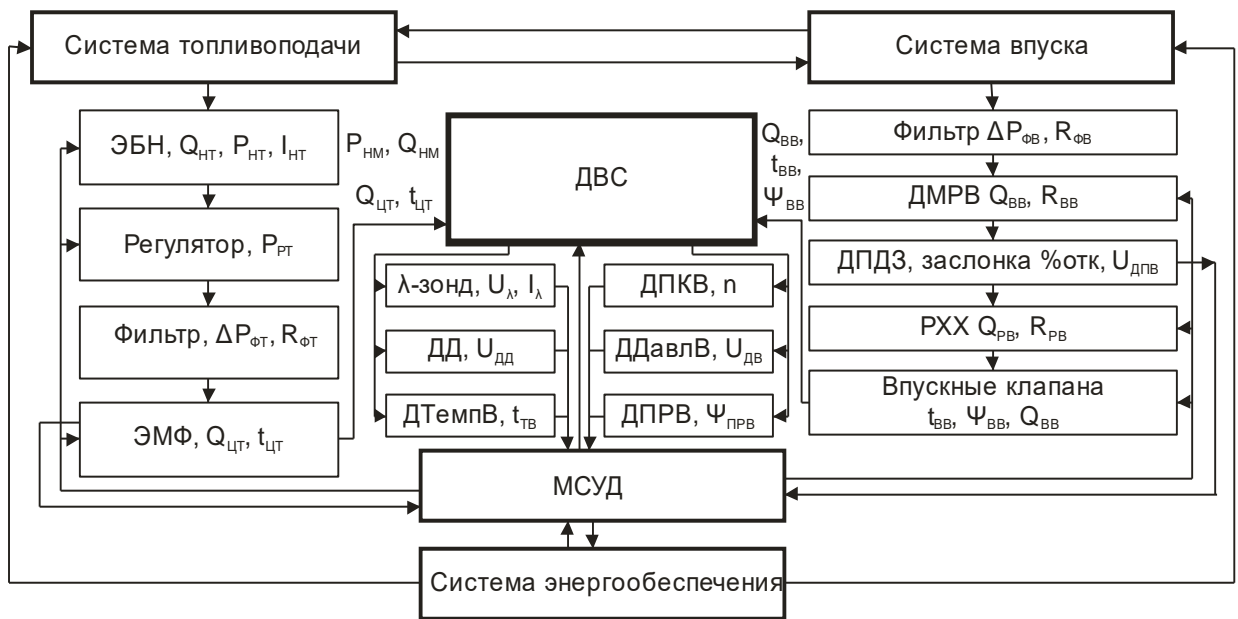


Рисунок 2.2 – Структурно-функциональная схема элементов системы топливоподачи и системы впуска

На рисунке 2.2 представлена укрупненная структурная схема взаимосвязи систем ДВС автотракторных средств: ДДМ – датчик давления масла; ДРМ – датчик расхода масла; ДДинДМ – датчик динамического давления масла; ЭБН – электробензонасос; ЭМФ – электромагнитная форсунка; ДМРВ – датчик массового расхода воздуха; ДПДЗ – датчик положения дроссельной заслонки; РХХ – регулятор холостого хода; ДТемпВ – датчик температуры впускаемого воздуха; ДПРВ – датчик положения распределительного вала; ϵ_M – сопротивление маслоприемника; $\Delta P_{ФМ}$, $\Delta R_{ФМ}$ – падение давления на фильтре, мПа и сопротивление фильтра; $P_{КМ}$, $Q_{КМ}$ – давление, мПа и расход масла через коренные подшипники, m^3/c ; $P_{ШМ}$, $Q_{ШМ}$ – давление, мПа и расход масла через шатунные подшипники, m^3/c ; $P_{НТ}$, $Q_{НТ}$, $I_{НТ}$ – давление, мПа, подача, m^3/c и ток питания электробензонасоса, А; $P_{РТ}$ – давление поддерживаемое регулятором топлива, мПа; $\Delta P_{ФТ}$, $\Delta R_{ФТ}$ – падение давления на фильтре, мПа и сопротивление фильтра системы топливоподачи; $\Delta P_{ФВ}$, $\Delta R_{ФВ}$ – падение давления на фильтре, мПа и сопротивление фильтра системы впуска; $R_{ВВ}$ – сопротивление ДМРВ; %отк – процент открытия дроссельной заслонки; $U_{ДПВ}$ – выходное напряжение датчика положения дроссельной заслонки, В; $Q_{РВ}$, $R_{РВ}$ – подача воздуха через регулятор холостого хода, m^3/c и его сопротивление; $t_{ТВ}$ – температура впускаемого воздуха, $^{\circ}C$; $\Psi_{ПРВ}$ – угол поворота распредвала, град.

Для возможности разработки методов диагностирования системы топливоподачи были выдвинуты частные гипотезы: определение технического состояния ЭМФ возможно по изменению частоты вращения коленчатого вала двигателя при изменении коэффициента коррекции топливовоздушной смеси (обеднении или обогащении ТВС) [15].

Определение технического состояния ЭБН возможно: по изменению максимально возможной частоты вращения коленчатого вала двигателя при отключении топливоподачи и искрообразования попеременно; по изменению максимально возможной частоты вращения коленчатого вала двигателя при отключении топливоподачи и искрообразования и изменении напряжения питания ЭБН.

Впускная система (другое наименование – система впуска) предназначена для впуска в двигатель необходимого количества воздуха и образования топливно-воздушной смеси. Термин «впускная система» появился с развитием конструкции двигателей внутреннего сгорания, особенно с появлением системы непосредственного впрыска топлива. Оборудование для питания двигателя воздухом перестало быть просто воздухопроводом, а превратилось в отдельную систему.

В своей работе система впуска взаимодействует со многими системами двигателя, в том числе: 1. Системой впрыска; 2. Системой рециркуляции отработавших газов; 3. Системой улавливания паров бензина; 4. Вакуумным усилителем тормозов [16].

Взаимодействие перечисленных систем и еще ряда других систем обеспечивает система управления двигателем. Для улучшения наполнения цилиндров воздухом, повышения мощности в конструкции системы впуска современных бензиновых и дизельных двигателей используется турбонаддув.

Впускная система имеет следующее общее устройство:

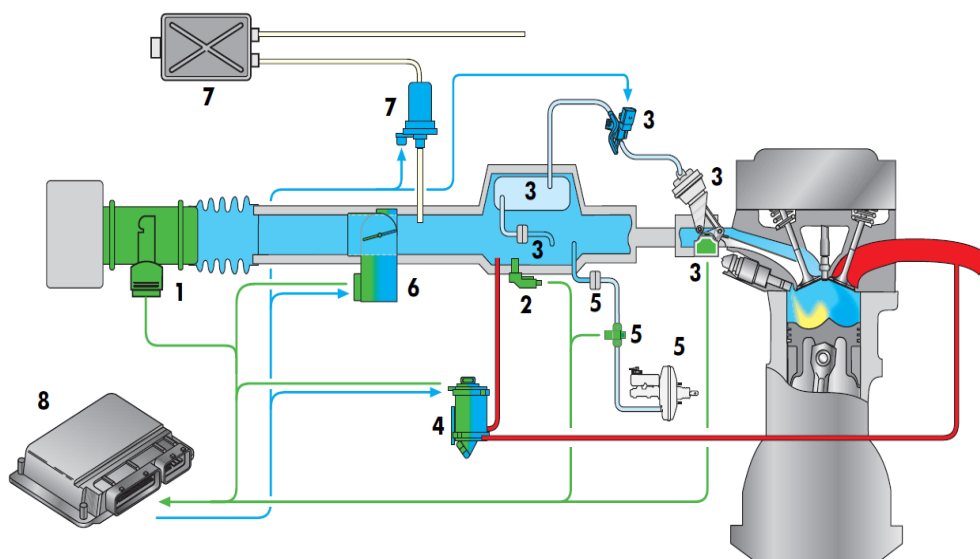


Рисунок 2.3 – Схема впускной системы

На рисунке 2.3 представлены следующие элементы: 1. Пленочный измеритель массового расхода воздуха (G70) с датчиком температуры воздуха на впуске (G42) для более точного определения нагрузки двигателя; 2. Датчик давления во впускном трубопроводе (G71) для расчета количества перепускаемых отработавших газов; 3. Система заслонок во впускных каналах (N316, G336) для целенаправленного управления потоками воздуха на входе в цилиндры двигателя; 4. Электромагнитный клапан системы рециркуляции отработавших газов (G212, N18) с увеличенными проходными сечениями для перепуска большего количества газов; 5 Датчик давления (G294) для регулирования разрежения в магистрали к вакуумному усилителю тормозного привода; 6. Блок управления дроссельной заслонкой (J338); 7. Клапан продувки адсорбера (N80); 8. Блок управления системой Motronic (J220).

Воздухозаборник обеспечивает забор воздуха из атмосферы и представляет собой патрубок определенной формы.

Воздушный фильтр служит для очистки воздуха от механических частиц. Фильтрующий элемент изготавливается из специальной бумаги и размещается в отдельном корпусе. Фильтрующий элемент воздушного фильтра является расходным материалом, т.е. имеет ограниченный срок службы. В зависимости от условий эксплуатации автомобиля срок службы фильтрующего элемента может изменяться [8, 9].

Дроссельная заслонка регулирует величину поступающего воздуха в соответствии с величиной впрыскиваемого топлива. На современных двигателе-

лях дроссельная заслонка приводится в действие с помощью электродвигателя и не имеет механической связи с педалью газа.

Впускной коллектор распределяет поток воздуха по цилиндрам двигателя и придает ему необходимое движение. Разрежение, формирующееся во впускном коллекторе, используется в работе вакуумного усилителя тормозов, а также для привода впускных заслонок.

Работу впускной системы обеспечивает система управления двигателем. Конструктивные элементы системы управления двигателем, которые используются в работе системы впуска, можно разделить на три группы: 1. Входные датчики; 2. Блок управления; 3. Исполнительные устройства.

К примеру, впускная система двигателя с непосредственным впрыском топлива имеет следующие датчики: 1. Расходомер воздуха; 2. Датчик давления во впускном коллекторе; 3. Датчик давления в магистрали вакуумного усилителя тормозов; 4. Датчик температуры воздуха на впуске; 5. Датчик положения дроссельной заслонки; 6. Датчик положения клапана рециркуляции; 7. Датчик положения дроссельной заслонки.

Расходомер воздуха и датчик температуры воздуха на впуске служат для определения нагрузки на двигатель. На последних моделях двигателей расходомер воздуха не устанавливается. Величина нагрузки двигателя определяется с помощью датчика температуры воздуха на впуске и дополнительного датчика атмосферного давления.

Датчик давления во впускном коллекторе используется в работе системы рециркуляции отработавших газов для расчета количества перепускаемых газов. Остальные датчики обеспечивают работу соответствующих систем.

Работой впускной системы управляют следующие исполнительные устройства: 1. Электродвигатель привода впускных заслонок или клапан управления вакуумным приводом заслонок (на двигателе с непосредственным впрыском топлива); 2. Блок управления дроссельной заслонкой; 3. Электромагнитный клапан системы рециркуляции отработавших газов; 4. Запорный клапан системы улавливания паров бензина [10].

Исполнительные устройства активируют блок управления двигателем.

Работа впускной системы основана на разности давлений в цилиндре двигателя и атмосфере, возникающей на такте впуска. Объем поступающего воздуха при этом пропорционален объему цилиндра. Величина поступающе-

го воздуха регулируется положением дроссельной заслонки в зависимости от режима работы двигателя [11].

На двигателях с непосредственным впрыском топлива в дополнение к дроссельной заслонке работают впускные заслонки. Совместная работа дроссельной и впускных заслонок обеспечивает несколько видов смесеобразования:

- послойное смесеобразование;
- бедное гомогенное смесеобразование;
- стехиометрическое гомогенное смесеобразование.

2.4 Особенности процессов газообмена в четырехтактных двигателях

В четырехтактных двигателях процессы газообмена осуществляются в основном на протяжении тактов впуска и выпуска. В течение такта выпуска продукты сгорания удаляются из рабочей полости, а в течение такта впуска рабочая полость заполняется свежим зарядом – воздухом или топливовоздушной смесью. Продолжительность процессов выпуска и впуска отличается от продолжительности тактов выпуска и впуска и определяется фазами газораспределения. Фазы газораспределения – значения углов поворота коленчатого вала (в поршневом двигателе) или эксцентрикового вала (в роторно-поршневом двигателе) в градусах относительно ВМТ или НМТ, соответствующих моментам начала открытия или закрытия органов газораспределения – клапанов, окон (рисунок 2.4).

Значение фаз газораспределения зависят от конструктивных особенностей двигателя и его газозвушных систем. Фаза опережения открытия выпускного клапана $\varphi_{в.о.}$ относительно НМТ составляет $30...75^\circ$, фаза опережения открытия впускного клапана $\varphi_{вы.о.}$ относительно ВМТ – $10...60^\circ$, фаза запаздывания закрытия выпускного клапана $\varphi_{в.з.}$ относительно ВМТ – $10...60^\circ$, фаза запаздывания закрытия впускного клапана $\varphi_{вы.з.}$ относительно НМТ – $30...75^\circ$.

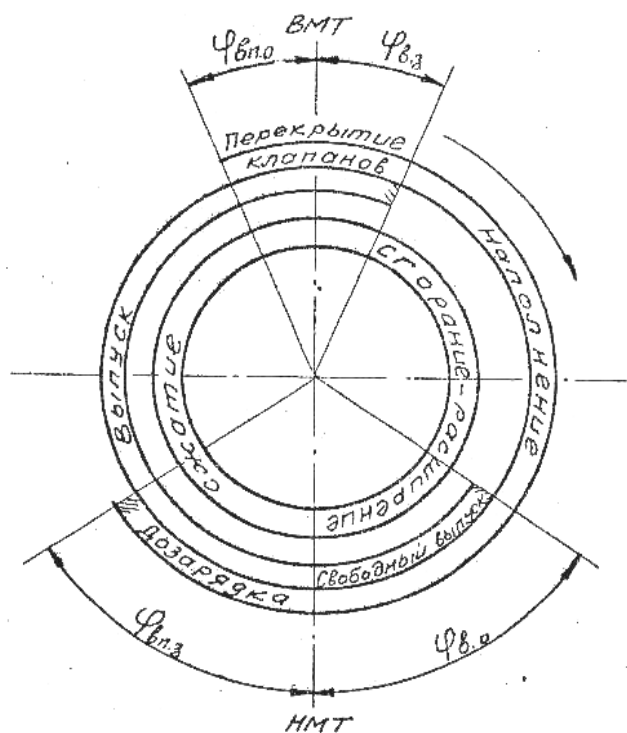


Рисунок 2.4 – Фазы газораспределения четырехтактного двигателя: $\varphi_{в.о.}$, $\varphi_{вп.о.}$ – фазы опережения открытия соответственно выпускного и впускного клапанов; $\varphi_{в.з.}$, $\varphi_{вп.з.}$ – фазы запаздывания закрытия соответственно выпускного и впускного клапанов

Процессы газообмена сопровождаются изменением параметров состояния, состава и количества рабочего тела в рабочей полости, параметрами состояния и скорости потоков в газоздушных трактах. Протекания процессов газообмена зависит от особенностей конструкции двигателя, впускной и выпускной систем, режима работы двигателя, атмосферных условий.

В карбюраторных двигателях впускная система содержит впускной канал, карбюратор с дроссельной и воздушной заслонками, воздушный фильтр. В многоцилиндровых двигателях впускные каналы подсоединены к общему для всех цилиндров впускному коллектору (ресиверу).

В четырехтактных двигателях без наддува на впуске установлен только воздушный фильтр. В двигателях с газотурбинным наддувом конструкция газоздушных систем значительно сложнее.

Изменение давления рабочего тела во впускной и выпускной системах взаимосвязано с изменением давления рабочего тела в рабочей полости (рисунок 2.6). С увеличением длины и уменьшением диаметра впускных и выпускных каналов до определенных значений давление перед впускными и за

выпускными клапанами возрастает. Колебание давления рабочего тела во впускных и выпускных системах обусловлено газодинамическими явлениями. С увеличением диаметра впускных и выпускных каналов, уменьшением их длины, увеличением объема впускного и выпускного ресиверов, к которым подсоединены впускные и выпускные каналы, снижается влияние газодинамических явлений в системах, уменьшается амплитуда колебаний давления рабочего тела перед впускными и за выпускными клапанами [12, 13].

Процессы газообмена в зависимости от соотношения значений параметров рабочего тела в рабочей полости и смежных системах можно условно подразделить на несколько периодов: свободный выпуск, выпуск, продувка, наполнение (впуск), дозарядка (рисунок 2.4), как в двигателях без наддува, так и в двигателях с наддувом обусловлен увеличением объема рабочей полости.

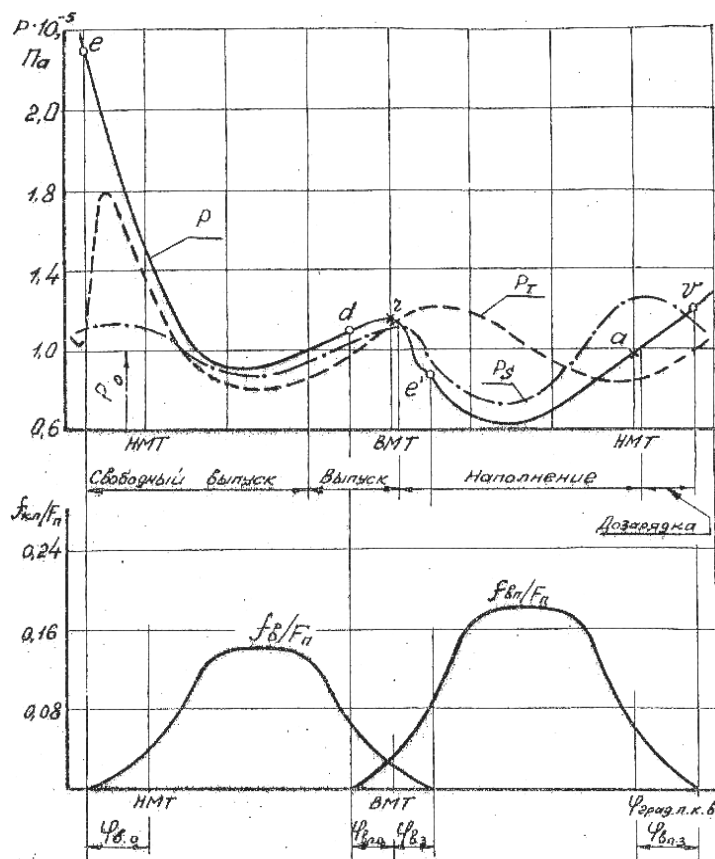


Рисунок 2.5 – График изменения давления в цилиндре P , в выпускном канале P_T , во впускном канале P_S и отношения площади проходных сечений впускных и выпускных клапанов к площади поршня четырехтактного двигателя без наддува

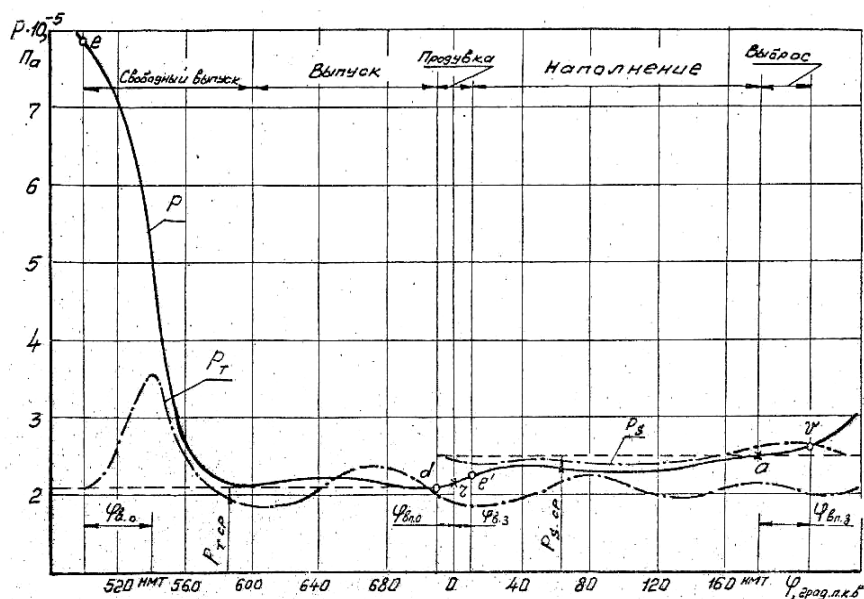


Рисунок 2.6 – Изменение давления в цилиндре p , выпускном P_m и впускном p_s каналах четырехтактного дизеля с газотурбинным наддувом

Дозарядка цилиндра за НМТ до закрытия впускных клапанов происходит, если давление воздуха или топливовоздушной смеси перед впускными I клапанами выше, чем давление в цилиндре (рисунок 2.5). В противном случае происходит выброс из цилиндра части свежего заряда. Повышение давления воздуха перед впускными клапанами в конце такта впуска может быть достигнуто соответствующим выбором диаметра и длины впускного канала.

2.5 Исследование изменения расхода воздуха на различных режимах работы ДВС

Рассмотрим теоретические аспекты применения метода тестового диагностирования и его особенности при использовании на современных автомобильных средствах. Так система впуска выглядит как показано на рисунке 2.7.

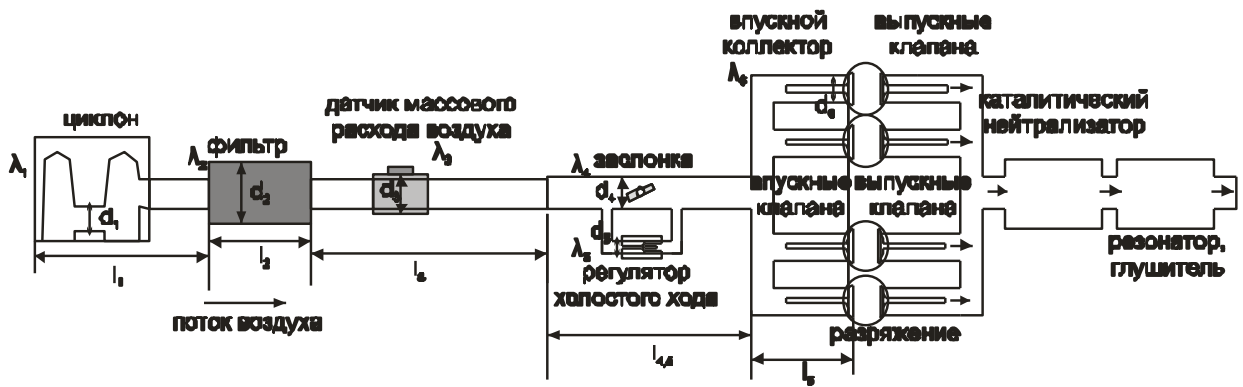


Рисунок 2.7 – Последовательность элементов системы впуска в ДВС

Поступающий в цилиндры ДВС воздух последовательно проходит через ряд элементов, которые представлены на рисунке 2.7. Сопротивлением некоторых элементов можно пренебречь (циклон, ДМРВ, регулятор холостого хода, резонатор, глушитель). Однако такие элементы как – фильтр, заслонка, впускные и выпускные клапаны и ЦПГ могут создавать существенные сопротивления потоку воздуха. Тем более, что техническое состояние всех перечисленных элементов существенно изменяется при эксплуатации.

В нашем случае акцент рассмотрения процесса диагностирования ставится на контроль технического состояния ДМРВ и ЦПГ. При реализации тестовых воздействий в работе будет оставлен всего лишь один из четырех цилиндров. Единственный цилиндр при отключении других цилиндров нагружен мощностью механических потерь других цилиндров [15, 16]. Уже на этой стадии отключения цилиндров можно записать несколько соотношений:

$$K_1 = \frac{Q_1}{Q_2}, \quad (2.4)$$

$$K_2 = \frac{U_1}{U_2}, \quad (2.5)$$

$$K_3 = \frac{n_1}{n_2}, \quad (2.6)$$

$$K_4 = \frac{V_1}{V_2}, \quad (2.7)$$

где K_1 – коэффициент, учитывающий соотношение количества воздуха поступающего на впуске при работе всех четырех цилиндров Q_1 , кг/ч к количеству воздуха при работе одного цилиндра Q_2 , кг/ч; K_2 – коэффициент, учи-

тывающий соотношение величины напряжения на контрольном выводе ДМРВ при работе всех четырех цилиндров U_1 , В к величине напряжения на контрольном выводе ДМРВ при функционировании одного цилиндра U_2 , В; K_3 – коэффициент, физический смысл которого оценивать отношение частоты вращения коленчатого вала ДВС при работе всех четырех цилиндров n_1 , мин⁻¹ к частоте вращения коленчатого вала ДВС при работе одного цилиндра n_2 , мин⁻¹; K_4 – коэффициент, учитывающий соотношение величины часового расхода топлива при работе всех четырех цилиндров V_1 , кг/ч к величине часового расхода топлива при работе одного цилиндра V_2 , кг/ч.

Теоретические исследования показывают, что коэффициенты K_1 , K_2 , K_3 и K_4 для эталонного состояния ДВС лежат в пределах: $K_1 < 1$; $K_2 < 1$; $K_3 < 1$; $K_4 < 1$. Однако значения всех четырех коэффициентов приближены к единице и отличаются на 5-15% в зависимости от параметров ДВС. При изменении технического состояния систем ДВС и в частности ДМРВ и ЦПГ все коэффициенты резко стремятся к нулю: $K_1 \rightarrow 0$; $K_2 \rightarrow 0$; $K_3 \rightarrow 0$; $K_4 \rightarrow 0$. Электронный блок управления ДВС стремится компенсировать ухудшение технического состояния путем коррекции и поддержания работоспособного состояния, переходя в том числе в аварийный режим (аварийный алгоритм работы ДВС). При предельных состояниях систем и отказах наступает момент, когда ДВС не может функционировать на одном цилиндре.

Рассмотрим изменение величины напряжения на контрольном выводе ДМРВ от величины расхода воздуха (рисунок 2.8).



Рисунок 2.8 – Взаимосвязь величины напряжения на контрольном выводе ДМРВ U, В от значения параметра массового расхода воздуха Q, кг/ч

Из рисунка 2.8 видно, что предельные отклонения от эталонного напряжения на контрольном выводе ДМРВ лежат в небольших пределах, которые составляют в некоторых точках 5-10%. При контроле технического состояния на тестовых режимах необходимо улавливать с высокой чувствительностью данное отклонение.

В рядовой практике постепенно и внезапно возникают различные отказы, которые влияют на количество поступающего воздуха в цилиндры ДВС [7, 8, 39]. Для определения общего и циклового расхода воздуха необходимо рассмотреть составляющие потери напора воздуха на входе в цилиндры. Для этого рассмотрим баланс составляющих [15, 16]:

$$\frac{P_K}{\rho_K} + \frac{W_K^2}{2} + gZ_K = \frac{P_a}{\rho_a} + \beta^2 \frac{W_{BII}^2}{2} + \xi_{BII} \frac{W_{BII}^2}{2} + gZ_a, \quad (2.8)$$

где P_K , P_a – давление впускаемого воздуха и давление внутри цилиндра ДВС, МПа; ρ_K , ρ_a – плотность впускаемого воздуха и плотность воздуха внутри цилиндра, кг/м³; W_K , W_{BII} – скорость впускаемого воздуха и скорость воздуха на входе в цилиндр через впускной клапан, м/с; Z_K , Z_a – расчетная

геометрическая высота отчитываемая от оси впускного патрубка и оси окна клапана газораспределительного механизма, м; β – коэффициент учитывающий демпфирование потока воздуха и снижение скорости потока воздуха в расчетном объеме, $\beta = W_{ц} / W_{ВП}$ ($W_{ц}$ скорость потока впускаемого воздуха в заданном месте рабочего цилиндра); $\xi_{ВП}$ – коэффициент, учитывающий суммарное сопротивление впускного тракта.

Упрощая решение уравнения (2.9) условием $W_K = 0$, приравнивая между собой геометрические высоты $Z_K = Z_a$, также принимая допущение, что плотность поступающего воздуха и топливной смеси не изменяются ($\rho_K = \rho_a$), получим:

$$\frac{P_K}{\rho_K} = \frac{P_a}{\rho_a} + (\beta^2 + \xi_{ВП}) \frac{W_{ВП}^2}{2}, \quad (2.9)$$

Произведя преобразование уравнения (2.10) и выражая из него потери напора в виде разности $\Delta P_a = P_K - P_a$ на рассматриваемом участке, получим:

$$\Delta P_a = P_K - P_a = (\beta^2 + \xi_{ВП}) \frac{W_{ВП}^2}{2} \rho_K, \quad (2.10)$$

Представим уравнение неразрывности потока ТВС с учетом минимальных величин входных сечений на впуске и внутри цилиндра двигателя:

$$W_{ВП} f_{ВП} = C_{Пmax} F_{П}, \quad (2.11)$$

где $f_{ВП}$ – окружная площадь входного сечения впускного клапана, м²; $C_{Пmax}$ – наибольшая скорость движения поршня, м/с; $F_{П}$ – общая площадь окружной поверхности поршня, м².

Скорость движения поршня рассчитаем по уравнению:

$$C_{Пmax} = R \cdot \omega \cdot \sqrt{1 + \lambda^2}, \quad (2.12)$$

где R – радиус кривошипа, м; ω – угловая частота вращения коленчатого вала двигателя, определяемая как $\omega = 2\pi n$ (n – частота вращения коленчатого вала двигателя, мин⁻¹); λ – расчетное отношение радиуса кривошипа R к длине шатуна L , $\lambda = R/L$.

Объединяя выражения (2.11) и (2.12) и выражая $W_{ВП}$, получим:

$$W_{ВП} = C_{П\max} \frac{F_{П}}{f_{ВП}} = 2 \cdot \pi \cdot R \cdot n \cdot \sqrt{1 + \lambda^2} \frac{\pi \cdot D^2}{4} \frac{1}{f_{ВП}} = A_1 \frac{n}{f_{ВП}}, \quad (2.13)$$

Далее используя величину $W_{ВП}$ и подставляя ее в уравнение (2.10), имеем:

$$\Delta P_a = (\beta^2 + \xi_{ВП}) \rho_K A_1^2 \frac{n^2}{2} \frac{1}{f_{ВП}^2} = A_2 \frac{n^2}{f_{ВП}^2}, \quad (2.14)$$

Данные моделей (2.12, 2.13, 2.14) можно использовать для определения реального количества воздуха, перепада давления воздуха, поступающего в цилиндры ДВС, скорости воздуха в сечении клапана [7, 8, 9].

2.6 Теоретическое обоснование методов и средств диагностирования элементов системы впуска

Система впуска представлена рядом последовательных и параллельных элементов [1, 2]. Некоторые из них практически не изменяют свои свойства и выходные параметры в процессе эксплуатации, тогда как другие изменяют свое техническое состояние непрерывно. Для определения степени влияния отдельных элементов системы впуска рассмотрим расчетную схему процесса подачи воздуха через элементы системы впуска (рисунок 2.9):

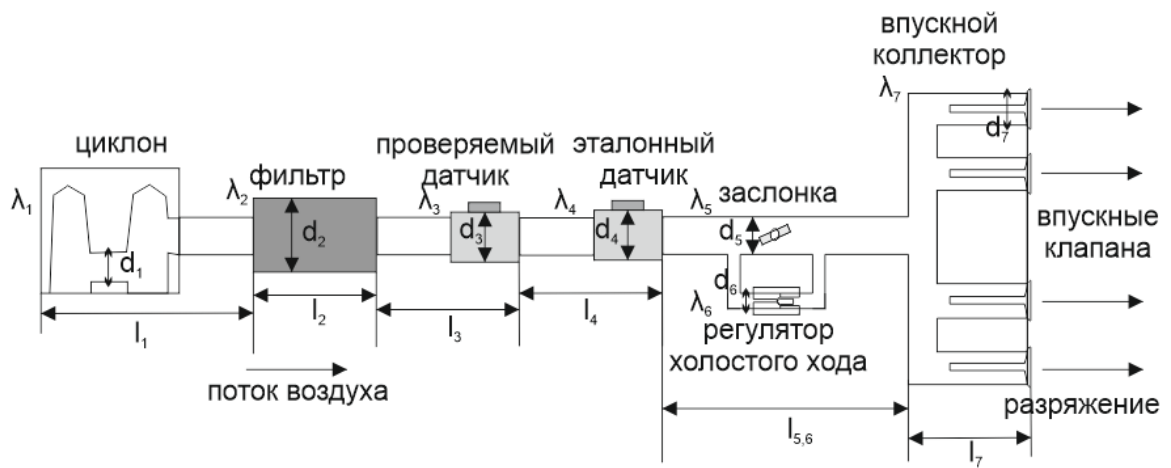


Рисунок 2.9 – Расчетная схема процесса подачи воздуха через элементы системы впуска: $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_6, \lambda_7$ – коэффициенты Дарси для участков; $d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6, d_7$ – диаметр участка, м; $l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6, l_7$ – длина участка, м

Так, например, воздушный фильтр один из самых быстродинамично изменяющихся элементов, который по мере загрязнения изменяет параметры всей системы. Для определения его технического состояния предлагается тестовое воздействие, которое заключается в выведении ДВС на режим работы на одном цилиндре с полностью открытой дроссельной заслонкой при наличии воздушного фильтра и без него. Что можно представить условием:

$$R = \frac{n_{НФ}}{n_{ОФ}}, \quad (2.15)$$

где R – степень загрязнения воздушного фильтра; $n_{НФ}$ – частота вращения коленчатого вала ДВС при наличии фильтра, мин^{-1} ; $n_{ОФ}$ – частота вращения коленчатого вала ДВС при отсутствии фильтра, мин^{-1} .

Чем больше степень засорения воздушного фильтра, тем меньше частота вращения коленчатого вала ДВС с фильтром по отношению к частоте без воздушного фильтра. Этот признак предполагается использовать для определения технического состояния воздушного фильтра.

Одним из самых ненадежных элементов системы впуска является ДМРВ, его отказ проявляется в неверном представлении данных по количеству воздуха МСУД. И довольно часто возникают неисправности, которые дают значительное отклонение воздухоподачи.

При использовании эталонного ДМРВ, который устанавливается последовательно штатному, определим потери напора на входе в цилиндр и количество проходящего воздуха.

Составим уравнение Бернулли для потока воздуха во впускном тракте и решим его относительно количества проходящего воздуха Q , получим:

$$Q = \sqrt{\frac{(H_{\text{ВАК}} - H) \cdot 2 \cdot g \cdot S^2}{(1 + \lambda_1 \cdot \frac{l_1}{d_1} + \lambda_2 \cdot \frac{l_2}{d_2} + \lambda_3 \cdot \frac{l_3}{d_3} + \lambda_4 \cdot \frac{l_4}{d_4} + \lambda_5 \cdot \frac{l_5}{d_5} + \lambda_6 \cdot \frac{l_6}{d_6} + \lambda_7 \cdot \frac{l_7}{d_7})}}, \quad (2.16)$$

где: $H_{\text{вак}}$ – вакуумметрический столб разрежения, создаваемый возвратно-поступательным движением поршня, м; H – высота подъема воздуха во впускном тракте, м; g – ускорение свободного падения, м/с²; S – наименьшая площадь сечения во впускном тракте, м²; $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_6, \lambda_7$ – коэффициенты Дарси для участков: циклона, воздушного фильтра, проверяемого ДМРВ, эталонного ДМРВ, дроссельной заслонки, регулятора холостого хода, впускных клапанов; $d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6, d_7$ – диаметр участков: циклона, воздушного фильтра, проверяемого ДМРВ, эталонного ДМРВ, дроссельной заслонки, регулятора холостого хода, впускных клапанов, м; $l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6, l_7$ – длина участков: циклона, воздушного фильтра, проверяемого ДМРВ, эталонного ДМРВ, дроссельной заслонки, регулятора холостого хода, впускных клапанов, м.

Введение во впускной тракт эталонного ДМРВ отразится некоторым увеличением сопротивления, определим, как изменится подача воздуха через ДМРВ при этом [13]. Известно, что разрежение во впускном коллекторе изменяется по зависимости, представленной на рисунке 2.10.

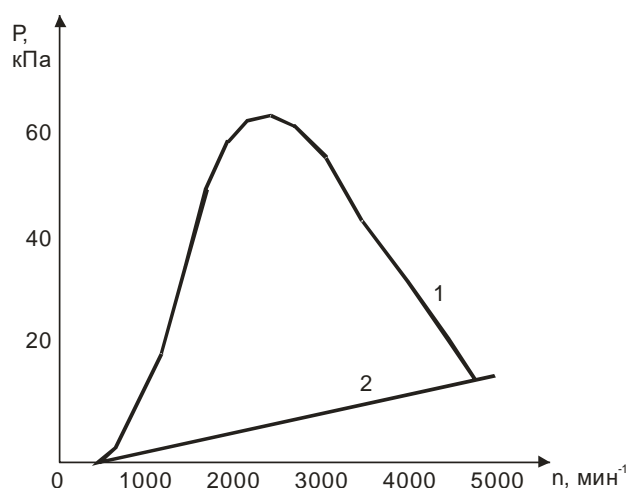


Рисунок 2.10 – Зависимость изменения разряжения во впускном коллекторе от нагрузки и частоты вращения: 1 – частичная нагрузка; 2 – полная нагрузка

Подставляя в выражение (2.16) для двигателя ЗМЗ-4062 [11]: $H_{\text{вак}}=3415$ м, $H=5$ м, $g=9,8$ м/с²; $S=1,963 \cdot 10^{-3}$ м², $\lambda_1=0,4$, $\lambda_2=3$, $\lambda_3=0,02$, $\lambda_4=0,02$, $\lambda_5=0,05$, $\lambda_6=0,4$, $\lambda_7=0,02$, $d_1=0,1$ м, $d_2=0,1$ м, $d_3=0,1$ м, $d_4=0,1$ м, $d_5=0,1$ м, $d_6=0,01$ м, $d_7=0,04$ м, $l_1=0,2$ м, $l_2=0,2$ м, $l_3=0,12$ м, $l_4=0,12$ м, $l_5=0,2$ м, $l_6=0,2$ м, $l_7=0,1$ м, получим $Q=620$ кг/ч. При отсутствии эталонного ДМРВ $Q=621$ кг/ч. Т.е. при максимально возможном разряжении во впускном коллекторе добавление эталонного ДМРВ отразится в снижении подачи воздуха на 0,16%, что крайне незначительно и находится в пределах величины погрешности ДМРВ

Гораздо более значительное влияние на количество подаваемого воздуха оказывает повышенное сопротивление воздушного фильтра. Так руководствуясь и подставляя значения коэффициентов сопротивления, получили зависимость изменения величины подаваемого воздуха от сопротивления воздушного фильтра (рисунок 2.11).

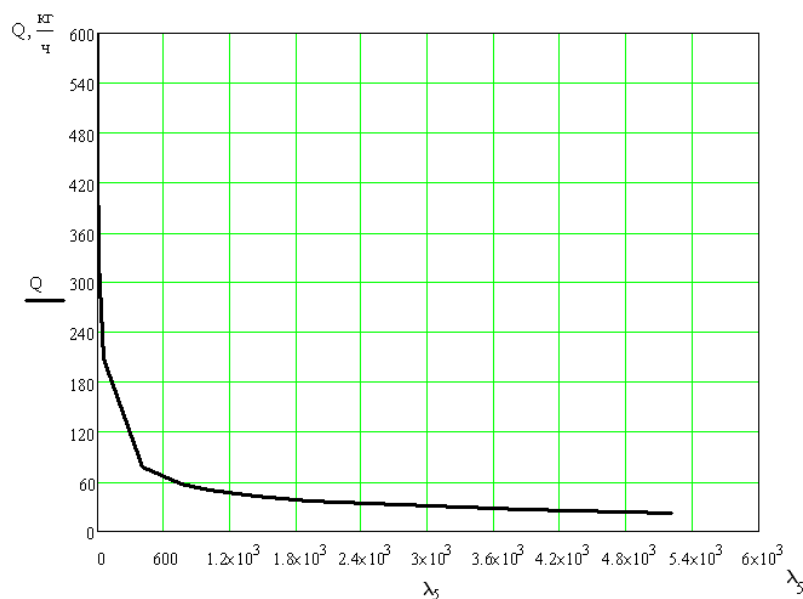


Рисунок 2.11 – Зависимость величины подаваемого воздуха Q , кг/ч от сопротивления воздушного фильтра λ_5

В расчетах процесса впуска и подачи воздуха необходимо учитывать изменения угла опережения зажигания, что представлено на рисунке 2.12.

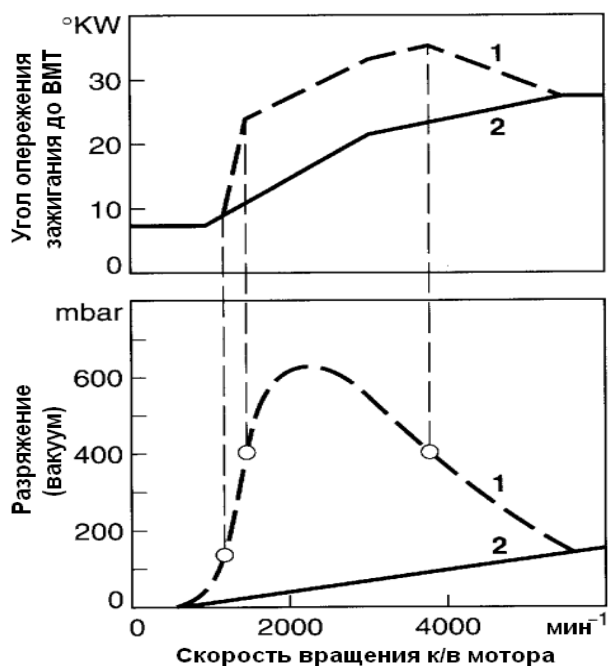


Рисунок 2.12 – Регулирование угла опережения зажигания в зависимости от частоты вращения и нагрузки

Из рисунка 2.12 видно, что коррекция угла опережения зажигания возможна двумя устройствами. Обозначение 1 на рисунке 2.12 указывает на из-

менение угла опережения зажигания под действием вакуумного регулятора, работа вакуумного регулятора сопровождается значительным ростом величины разряжения, что говорит о росте нагрузки на ДВС. Под цифрой 2 на рисунке 2.12 представлена характеристика центробежного регулятора опережения зажигания, который вносит коррекцию в процессы ДВС при увеличении частоты вращения коленчатого вала ДВС. Характеристики, представленные на рисунке 2.12, необходимо учитывать при обосновании диагностических параметров и режимов диагностирования ДМРВ [14, 15].

Из представленной на рисунке 2.11 зависимости видно насколько высока чувствительность изменения подачи воздуха к росту сопротивления. Так с ростом сопротивления от 0,05 до 52,6 подача воздуха изменилась с 620 до 205 кг/ч. При таком изменении сопротивления фильтра возникают серьезные провалы в работе ДВС и снижение мощности. Дальнейший рост сопротивления фильтра с 52,6 до 760 вызывает снижение количества воздуха с 205 до 57 кг/ч, что вызывает остановку ДВС и невозможность его работы.

Также довольно часто выходит из строя РХХ. Для выявления его неисправности в процессе запуска ДВС наблюдается степень выдвижения штока (количество шагов). А далее проверяется быстрота корректирующих действий РХХ и степень адаптивности под стресс тест. Для проверки быстроты корректирующих действий РХХ предлагается выключить из работы два цилиндра одновременно и проверить время реакции до момента добавления числа шагов. Можно записать условие для времени реакции t_p :

$$t_p = t_o + t_c, \quad (2.17)$$

где t_o – время отключения цилиндров, с; t_c – время коррекции числа шагов РХХ, с.

При этом частота вращения коленчатого вала ДВС на двух оставшихся цилиндрах должна быть кратной частоте вращения холостого хода или на 10% большей:

$$n_p = n_{xx} + \Delta n_{10\%}, \quad (2.18)$$

где n_{xx} – частота вращения холостого хода ДВС, мин^{-1} ; $\Delta n_{10\%}$ – максимальная прибавка частоты вращения коленчатого вала ДВС, мин^{-1} .

Герметичность клапанов и правильность фаз ГРМ определяются на основании тестов. Для проверки герметичности клапанов необходимо вывести ДВС на режим максимальной нагрузки при выключении полностью трех цилиндров и максимальной степени выключения одного оставшегося в работе цилиндра.

Степень негерметичности клапанов данного цилиндра проявится в виде условия:

$$H_{ГРМ} = \frac{n_p}{n_{II}} = \frac{n_{II} - \Delta n_{ГРМ}}{n_{II}}, \quad (2.19)$$

где n_p – частота вращения одного проверяемого цилиндра при максимальной степени нагружения ДВС, мин^{-1} ; n_{II} – частота вращения одного нового цилиндра при максимальной степени нагружения ДВС, мин^{-1} ; $\Delta n_{ГРМ}$ – уменьшение частоты вращения проверяемого цилиндра при максимальной степени нагружения ДВС, мин^{-1} .

А степень отклонения фаз ГРМ проверяется следующим тестом [5, 6]. При работе одного цилиндра на средней нагрузке меняют угол опережения зажигания в сторону раннего и позднего, найденный оптимум определится максимумом частоты вращения ДВС [7]. Условие запишем:

$$n_{\phi} = n_{max}, \text{ при } \begin{cases} \text{УОЗ} \rightarrow \text{max до вмм} \\ \text{УОЗ} \rightarrow \text{min до вмм} \end{cases}, \quad (2.20)$$

где n_{max} – частота вращения максимальная для данной степени нагружения цилиндра, мин^{-1} ; УОЗ \rightarrow max, УОЗ \rightarrow min – значения угла опережения зажигания меняются в пределах от максимально до минимально возможных.

Таким образом, установлено что потери напора на входе в цилиндр при установке эталонного ДМРВ незначительны и вызывают снижение количества подаваемого воздуха с $Q=621$ кг/ч до $Q=620$ кг/ч. Т.е. при максимально возможном разрежении во впускном коллекторе добавление эталонного ДМРВ отразится в снижении подачи воздуха на 0,16%, что крайне незначи-

тельно и находится в пределах величины погрешности ДМРВ. При последовательной установке ДМРВ диагностируемого и эталонного потери напора воздуха на них практически равны нулю. И применение заявленных диагностических средств, не вносит никакой ошибки в процесс измерения [8].

2.7 Контрольные вопросы

1. Устройство современной системы впуска. Анализ с предыдущими версиями систем впуска.
2. Структурная схема элементов системы впуска современных автотракторных ДВС. В чем особенности современных систем впуска?
3. Проанализируйте степень влияния каждого элемента системы впуска на общий расход воздуха во впускном коллекторе ДВС.
4. Взаимовлияние системы впуска и топливоподачи. В чем особенности их взаимодействия?
5. В чем особенности относительной оценки технического состояния датчика массового расхода воздуха?
6. Рассмотреть баланс расхода воздуха по элементам системы впуска с учетом изменения технического состояния воздушного фильтра и других последовательных и параллельных сопротивлений.
7. Какие элементы системы впуска оказывают наибольшее влияние на нарушение баланса подачи воздуха?
8. Особенности использования датчика массового расхода воздуха в системе впуска и его влияние на баланс расхода воздуха.
9. Фазы газораспределения четырехтактного двигателя и анализ фазовых параметров открытия и закрытия клапанов.
10. Изменение мгновенной величины давления во впускном коллекторе с учетом влияния различных факторов.
11. Теоретическое обоснование диагностических параметров для достоверного контроля датчиков массового расхода воздуха методом сравнения данных при обеспечении тестовых условий.
12. Теоретическое обоснование диагностических режимов для достоверного контроля датчиков массового расхода воздуха методом сравнения данных при обеспечении тестовых условий.

13. Теоретическая модель контроля величины перепада давления с учетом влияния отдельных элементов системы впуска.

14. Уравнение Бернулли для моделирования характеристики расхода воздуха через элементы впуска с учетом геометрических размеров, шероховатости поверхностей, технического состояния элементов системы впуска.

15. Моделирование и определение предельных значений сопротивления отдельных элементов.

16. Прогнозирование поведения двигателя при разнообразных сочетаниях неисправностей системы впуска.

17. Теоретическое обоснование изменения основных выходных параметров датчика массового расхода воздуха.

18. Какие элементы системы впуска подлежат периодической замене?

19. Особенности системы впуска с механическим и электронным дросселями.

20. Какие исполнительные устройства применяются в системе впуска?

21. Какие датчики используются в системе впуска?

22. Виды смесеобразований и их связь с конструкцией используемого датчика массового расхода воздуха.

23. Степень влияния различных режимов работы двигателя на расход воздуха в системе впуска.

24. Сравнительные коэффициенты и их использование при диагностировании системы впуска двигателя.

25. Выходной сигнал датчика массового расхода воздуха. Его связь с пробегом автотракторного средства.

Глава 3 МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Методика исследования процесса диагностирования ДМРВ

Главные задачи, решаемые в данном разделе:

1. Разработать конструкцию установки для диагностирования ДМРВ и провести ее испытания в эксплуатационных условиях;
2. Разработать устройство для диагностирования ДМРВ на автомобиле и провести его испытания в эксплуатационных условиях.
3. Сделать выборку для проведения экспериментальных исследований. Внедрить предложенные конструкции в производство.
4. Провести экономическую оценку предложенных разработок.

Помимо этого, обеспечить высокую метрологическую точность оценки технического состояния ДМРВ.

3.2 Установка для диагностирования ДМРВ

Установка для диагностирования датчиков массового расхода воздуха – предназначена для диагностирования всех известных в настоящее время датчиков массового расхода воздуха иностранных и отечественных автомобилей [9, 10].

Комплект:

1. Стенд для диагностирования датчиков массового расхода воздуха;
2. Измерительное устройство;
3. Регулируемый блок питания.

Техническая характеристика:

Электродвигатель вентилятора: УЛ-042-25УА

Напряжение питающей сети, В 220±20

Частота вращения вала, мин⁻¹ 5000

Мощность, Вт 150

Вентилятор:

Производительность вентилятора, кг/ч 600

Максимальный расход воздуха через ДМРВ, кг/ч 500

Регулируемый блок питания «Агат»:

Выходное напряжение при токе нагрузки 1,5 А и напряжении питающей сети 220 В, В 8-15

Максимальный ток нагрузки, А 2

Порог срабатывания электронной защиты, А 3,25

Диапазон рабочих температур, С° -10 +40

Время работы, ч неограниченно

Габаритные размеры, мм 260x145x143

Масса не более, кг 4,7

Мощность, потребляемая источником, В·А 105,0

Датчик массового расхода воздуха, тип любой

Время прогрева, мин 10

Подключение установки к электрическим цепям:

1. Шнур 220 В блока питания «Агат»;
2. Шнур 220 В электродвигателя вентилятора.

Время установки ДМРВ, не более, мин 2

Габаритные размеры всей установки, мм 1000x150x200

Масса всей установки, не более кг 10

Описание установки

Установка для диагностирования ДМРВ позволяет:

1. Проводить относительную оценку напряжений с эталонного и испытуемого датчиков;
2. Проводить проверку электрических параметров датчика вне зависимости от температуры окружающей среды;
3. Проводить диагностирование ДМРВ в широких диапазонах нагрузки;
4. Осуществлять контроль относительных диагностических параметров (разность показаний эталонного и проверяемого датчика в вольтах), без проведения предварительных вычислений;
5. С высокой достоверностью определять техническое состояние испытуемого датчика;
6. Значительно снизить время испытаний датчиков ДМРВ и оценки их технического состояния по сравнению с существующей технологией.

Установка для диагностирования датчиков массового расхода воздуха (рисунок 3.1) состоит из станины 1, являющейся основанием стенда для испытаний датчиков массового расхода воздуха.

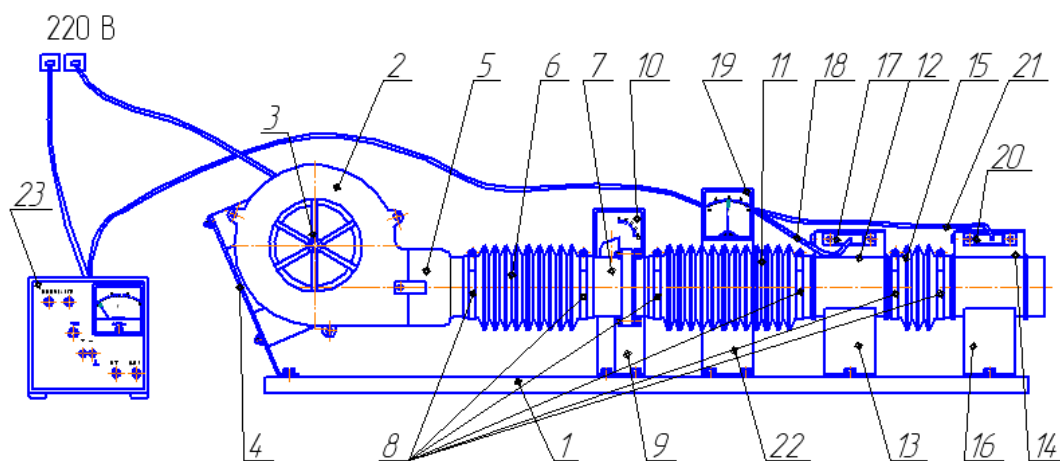


Рисунок 3.1 – Установка для диагностирования датчиков массового расхода воздуха

На станине 1 закреплен вентилятор 2 с электродвигателем 3, посредством кронштейна 4. К вентилятору 2 прикреплен при помощи винтов переходной патрубков 5 вентилятора. Переходной патрубков 5 вентилятора соединен посредством гофрированного патрубка 6 вентилятора с дроссельным узлом 7. Все патрубки крепятся при помощи хомутов 8 патрубков (которых всего в стенде 6 штук). Дроссельный узел 7 установлен на стойке 9 и закреплен к станине 1. На дроссельном узле 7 имеется измерительная шкала 10. Дроссельный узел 7 соединен при помощи гофрированного патрубка 11 с эталонным ДМРВ 12. Эталонный ДМРВ 12 установлен на стойке 13, которая прикреплена к станине 1. Эталонный ДМРВ 12 соединен с испытуемым ДМРВ 14 посредством гофрированного патрубка 15. Гофрированный патрубок 15 прикреплен к эталонному ДМРВ 12 и испытуемому ДМРВ 14 хомутами 8 патрубков. Испытуемый ДМРВ 14 установлен на стойке 16, которая прикреплена винтами к станине 1. К эталонному ДМРВ 12 подсоединен при помощи электрического разъема 17 жгут проводов 18 от измерительного устройства 19. К испытуемому ДМРВ 14 подсоединен при помощи электрического разъема 20 жгут проводов 21 от измерительного устройства 19. Измерительное устройство 19 установлено на стойке 22, которая прикреплена к станине 1. Измерительное устройство 19 подсоединено посредством проводов к блоку питания 23. Датчики эталонный ДМРВ 12 и испытуемый 14 также через электрические разъемы 17 и 20 соединены с блоком питания 23.

Измерительное устройство 19 представляет собой модуль, мостовая схема которого приведена на рисунке 3.2, которая состоит из электрических разъемов 17 и 20, блока питания 23.

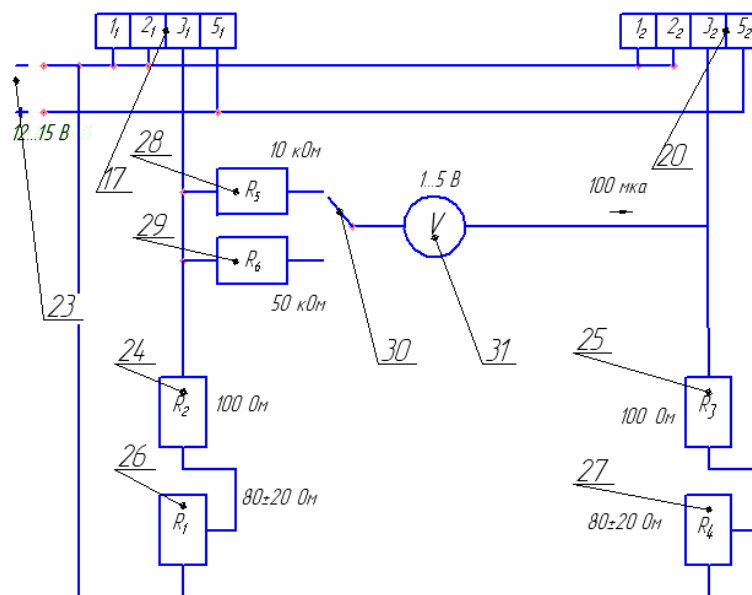


Рисунок 3.2 – Электрическая схема измерительного устройства

Электрический разъем 17 подсоединен к эталонному датчику ДМРВ 12. На электрическом разъеме 17 имеются выводы 1₁, 2₁, 3₁, 5₁. 1₁ – масса; 2₁ – масса; 3₁ – сигнал с датчика «+», В; 5₁ – питание датчика +12...15 В. Электрический разъем 20 подсоединен к испытуемому датчику ДМРВ 14. На электрическом разъеме 20 имеются выводы 1₂, 2₂, 3₂, 5₂. 1₂ – масса; 2₂ – масса; 3₂ – сигнал с датчика «+», В; 5₂ – питание датчика +12...15 В. Мостовая схема содержит сопротивления 24 и 25, а также балансирующие сопротивления 26, 27. Также установлены сопротивления 28, 29 для регулировки чувствительности вольтметра, переключатель 30, вольтметр 31. Сопротивления 28 и 29 для регулировки чувствительности подобраны исходя из максимальной силы тока, проходящей через вольтметр, которая равна 100 мкА.

По закону Ома, сопротивление определяется по формуле:

$$R = \frac{U}{I}, \quad (3.1)$$

где U – максимальное значение напряжения, В; I – сила тока, проходящая через вольтметр, мкА.

При максимальной чувствительности шкалы вольтметра в 5 В, сопротивление будет равно:

$$R = \frac{5}{100 \cdot 10^{-6}} = 50 \text{ кОм}, \quad (3.2)$$

При максимальной чувствительности шкалы вольтметра в 1 В, сопротивление будет равно:

$$R = \frac{1}{100 \cdot 10^{-6}} = 10 \text{ кОм}, \quad (3.3)$$

Стенд работает следующим образом.

Испытуемый датчик ДМРВ 14 (рисунок 3.1) устанавливают на стойку 16. Одевают на испытуемый датчик ДМРВ 14 гофрированный патрубок 15 и крепят его хомутом 8. К испытуемому ДМРВ 14 подсоединяется при помощи электрического разъема 20 жгут проводов 21 от измерительного устройства 19. Прогревают в течение 10 минут блок питания 23. Стенд готов к работе.

Далее на блоке питания 23 включают тумблер питания и смотрят за показаниями вольтметра 31. Если при измерениях требуется высокая чувствительность вольтметра 31, то переключателем 30 подключают последовательно сопротивление 29, если требуется низкая чувствительность, то переключателем 30 подключают последовательно сопротивление 28. Если стрелка вольтметра 31 при отсутствии потока воздуха отклоняется от нулевого значения, то устанавливают путем регулирования балансировочных сопротивлений 26, 27 ее нулевое значение.

Способ с использованием стенда осуществляется следующим образом.

Включают электродвигатель 3 вентилятора 2. Вентилятор 2 подает поток воздуха последовательно через дроссельный узел 7, эталонный ДМРВ 12 и испытуемый ДМРВ 14 (рисунок 3.1).

Далее начинают изменять скорость потока воздуха при помощи дроссельной заслонки дроссельного узла 7. При изменении скорости потока воздуха, проходящего через датчики ДМРВ, подключенные по мостовой схеме,

вольтметр 31 во всем диапазоне изменений потока воздуха должен показывать нулевое значение. По требованию ТУ 37.473.017-99 датчик считается исправным при разнице показаний вольтметра 31 [11, 12]:

Для новых датчиков:

– на холостом ходу (массовый расход воздуха $Q=41,31$ кг/ч) 0,15 В;

– на номинальном режиме (массовый расход воздуха $Q=402,05$ кг/ч) 0,35 В.

Для датчиков после 3000 часов работы:

– на холостом ходу (массовый расход воздуха $Q=41,31$ кг/ч) 0,21 В;

– на номинальном режиме (массовый расход воздуха $Q=402,05$ кг/ч) 0,51 В.

Осуществляют относительную оценку напряжений с эталонного и испытуемого датчиков, плавно обеспечивая открытие дроссельной заслонки, получают разность сигналов эталонного и испытуемого датчиков без предварительных вычислений, по которой определяют техническое состояние испытуемого датчика [13].

Представленная конструкция установки внедрена в производство ряда станций технического обслуживания автомобилей г. Челябинска, а также используется в учебном процессе ЮУрГАУ (рисунок 3.3).



Рисунок 3.3 – Установка для диагностирования ДМРВ в производственных условиях станции технического обслуживания «Интервал»

3.3 Устройство для диагностирования ДМРВ на автомобиле

Устройство для диагностирования датчиков массового расхода воздуха на автомобиле – предназначено для диагностирования датчиков массового расхода воздуха любых типов (всех известных иностранных и отечественных автомобилей) [14, 15].

Комплект:

1. Устройство для диагностирования датчиков массового расхода воздуха;

2. Соединительная проводка с разъемами.

Техническая характеристика:

Напряжение питания датчика, В 12,6-16

Диапазон рабочих температур, °С -10 +40

Время работы, ч неограниченно

Габаритные размеры, мм 230x100x145

Масса не более, кг 0,35

Мощность, потребляемая источником, Вт 15

Время подготовки, мин 3

Датчик массового расхода воздуха, тип любой

Подключение установки к электрическим цепям:

1. Разъемы «+» и «-» к АКБ;

2. Присоединительные разъемы к ДМРВ.

Описание устройства

Устройство для диагностирования ДМРВ на автомобиле позволяет:

1. Осуществлять диагностирование в реальных условиях работы ДМРВ;
2. Производить диагностирование ДМРВ не снимая его с автомобиля;
3. Проводить относительную оценку напряжений с эталонного и испытуемого датчиков;
4. производить проверку электрических параметров датчика вне зависимости от температуры окружающей среды;
5. Осуществлять диагностирование ДМРВ в широких диапазонах нагрузки;
6. С высокой достоверностью определять техническое состояние испытуемого датчика;
7. Значительно снизить время испытаний датчиков ДМРВ и оценки их технического состояния по сравнению с существующей технологией.

Устройство для диагностирования датчиков массового расхода воздуха на автомобиле (рисунок 3.4) состоит из дроссельного узла 1 автомобиля, со-

единительного гофрированного патрубка 2 между дроссельным узлом 1 и диагностируемым ДМРВ 3, который прикреплен хомутами 4 к патрубкам 2 и 8, электрического разъема 5 с проводом 6 присоединенного к разъему диагностируемого ДМРВ 3, эталонного ДМРВ 7 присоединенного посредством гофрированного патрубка 8 с диагностируемым ДМРВ 3.

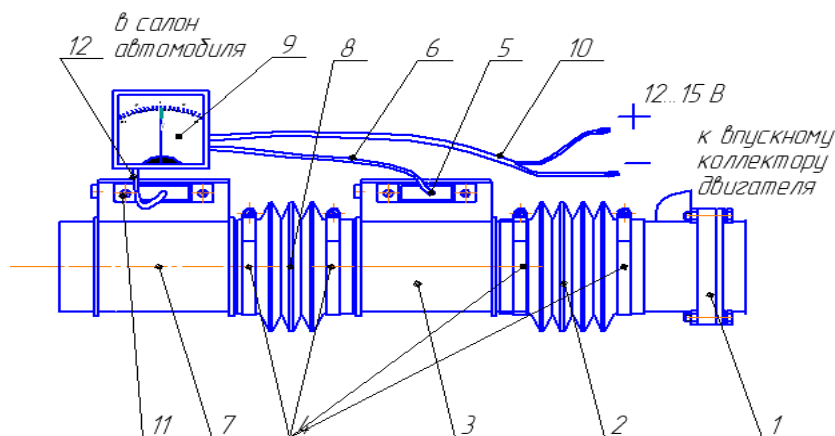


Рисунок 3.4 – Устройство для диагностирования датчиков массового расхода воздуха на автомобиле

Все патрубки крепятся при помощи хомутов 4 патрубков (которых всего 4). Измерительное устройство 9 установлено в салоне автомобиля и закреплено посредством присоски. Измерительное устройство 9 подключается к аккумуляторной батарее автомобиля при помощи провода 10 с контактными клеммами. Электрический разъем 11 и провод 12, подсоединены к эталонному ДМРВ 7.

Измерительное устройство 9 представляет собой модуль, мостовая схема которого приведена на рисунке 3.5, которая состоит из электрических разъемов 5 и 11, подсоединенных к аккумуляторной батарее автомобиля 13.

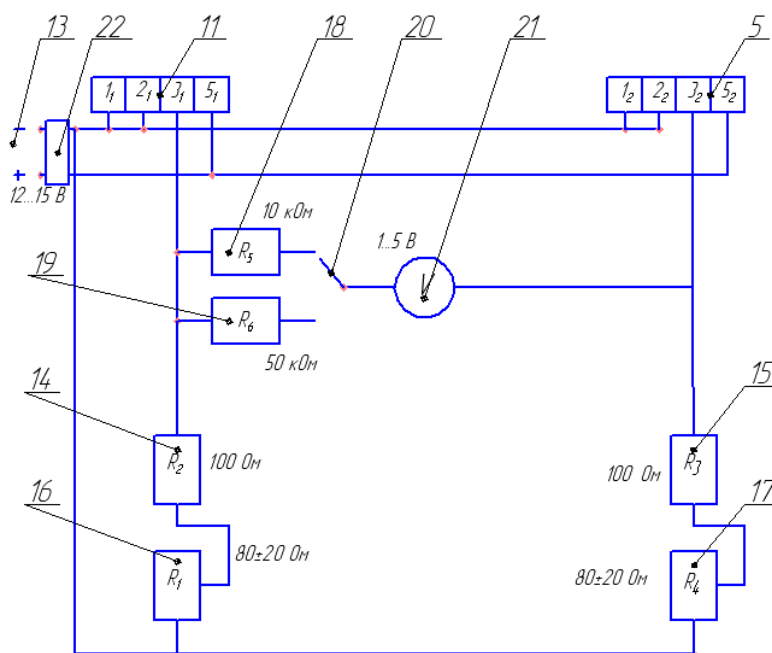


Рисунок 3.5 – Электрическая схема измерительного устройства

Электрический разъем 5 подсоединен к диагностируемому датчику ДМРВ 3. На электрическом разьеме 5 имеются выводы 1_2 , 2_2 , 3_2 , 5_2 , где 1_2 – масса; 2_2 – масса; 3_2 – сигнал с датчика «+», В; 5_2 – питание датчика +12...15 В. Электрический разъем 11 подсоединен к эталонному датчику ДМРВ 7. На электрическом разьеме 11 имеются выводы 1_1 , 2_1 , 3_1 , 5_1 , где 1_1 – масса; 2_1 – масса; 3_1 – сигнал с датчика «+», В; 5_1 – питание датчика +12...15 В. Мостовая схема содержит сопротивления 14 и 15, а также балансирующие сопротивления 16, 17. Также установлены сопротивления 18, 19 для регулировки чувствительности вольтметра, переключатель 20, вольтметр 21. В цепи питания после аккумуляторной батареи автомобиля 13 установлен блок стабилизации напряжения 22 с регулировкой напряжения питания.

Устройство работает следующим образом.

Перед процессом диагностирования ДМРВ на автомобиле необходимо ослабить хомут крепления патрубка 8 между диагностируемым ДМРВ 3 и воздушным фильтром на автомобиле (рисунок 3.4). Далее необходимо установить эталонный ДМРВ 7 и затянуть хомутом 4, подсоединить электрические разъемы 5 и 11 к диагностируемому 3 и эталонному ДМРВ 7. Установить измерительное устройство 9 в салон автомобиля и прикрепить его к панели приборов присоской. При помощи провода 10 с контактными клеммами

подсоединить измерительное устройство 9 к аккумуляторной батарее автомобиля 13. Устройство готово к работе [15, 16].

После подсоединения провода 10 с контактными клеммами к аккумуляторной батарее автомобиля 13 питание подается на измерительное устройство 9 и к диагностируемому 3 и эталонному ДМРВ 7. При этом смотрят за показаниями вольтметра 21. Если при измерениях требуется высокая чувствительность вольтметра 21, то переключателем 20 подключают последовательно сопротивление 19, если требуется низкая чувствительность, то переключателем 20 подключают последовательно сопротивление 18. Если стрелка вольтметра 21 при отсутствии потока воздуха отклоняется от нулевого значения, то устанавливают путем регулирования балансировочных сопротивлений 16, 17 ее нулевое значение.

Способ для диагностирования датчиков массового расхода воздуха на автомобиле осуществляется следующим образом.

Заводят двигатель автомобиля и смотрят за показаниями вольтметра 21 при работе двигателя на холостом ходу. Далее начинают плавно изменять скорость потока воздуха при помощи дроссельной заслонки дроссельного узла 1 автомобиля. При изменении скорости потока воздуха, проходящего через датчики ДМРВ, подключенные по мостовой схеме, вольтметр 21 во всем диапазоне изменений потока воздуха должен показывать нулевое значение. После чего начинают движение на автомобиле обеспечивая номинальные обороты коленчатого вала и обороты, соответствующие режиму максимальной мощности. Также смотрят за показаниями вольтметра 21 на промежуточных диапазонах скорости и нагрузки.

Осуществляют относительную оценку напряжений с эталонного и диагностируемого датчиков, получают разность сигналов эталонного и диагностируемого датчиков без предварительных вычислений, по которой определяют техническое состояние диагностируемого датчика: при исправности датчика массового расхода воздуха вольтметр на холостом ходу покажет 0-0,21 В, на номинальном режиме 0-0,51 В.

Таким образом, обеспечивая диагностирование датчиков с помощью разработанного устройства и используя разработанный способ, достигается значительное снижение времени диагностирования датчиков ДМРВ и оценки их технического состояния. Так как не требуется снятие датчика с автомобиля и диагностирование осуществляется при движении автомобиля. Данная

разработка позволила исключить из использования дорогостоящие расходомер воздуха и вентилятор. Кроме того, исчезла необходимость сопоставления полученных результатов измерений с табличными, т.к. в разработанном способе производится контроль относительных диагностических параметров (разность показаний эталонного и проверяемого датчика в вольтах). Проверка электрических параметров датчика не зависит от температуры окружающей среды, т.к. производится оценка относительных диагностических параметров (разность показаний эталонного и проверяемого датчика в вольтах). Диагностирование осуществляется на автомобиле при эксплуатационных условиях: скорость, нагрузка, вибрации, все эти факторы проявляются в максимальной степени. Наблюдение осуществляется оператором, как в статике, так и в процессе движения, что позволяет расширить диапазон использования способа [7, 8, 9].

Технический результат заключается в снижении времени диагностирования датчиков ДМРВ, в возможности диагностирования датчиков ДМРВ без их снятия с автомобиля и в процессе движения автомобиля, повышении точности и достоверности диагностирования датчиков ДМРВ.

Представленная конструкция устройства внедрена в производство ряда станций технического обслуживания автомобилей г. Челябинска, а также используется в учебном процессе ЮУрГАУ (рисунок 3.6).



Рисунок 3.6 – Устройство для диагностирования ДМРВ на автомобиле в производственных условиях станции технического обслуживания «Интервал»

3.4 Метод тестового контроля и приборное средство

Для проведения исследований и оценки параметров работы двигателя используется электронный прибор, который представляет собой отключатель электромагнитных форсунок [10, 11].

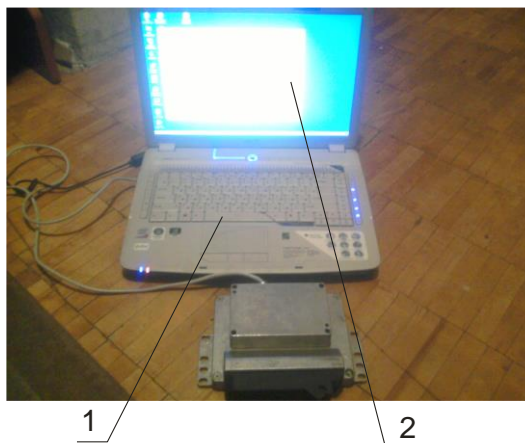


Рисунок 3.7 – Отключатель электромагнитных форсунок с компьютерным устройством и интерфейсом диагностической программы.

Отключатель электромагнитных форсунок позволяет в широких пределах изменять нагрузку на любой цилиндр двигателя при рабочих частотах вращения, производить диагностирование составных частей по критерию работоспособности, а также повышать информативность методов, реализуемых иными средствами диагностирования.

Отключатель электромагнитных форсунок (рисунок 3.7) состоит из электронного устройства с проводами, разъемом и кнопками. Содержит компьютерное устройство 1 с установленным интерфейсом диагностической программы 2, исполнительные механизмы 3 (рисунок 3.8) [5, 8].

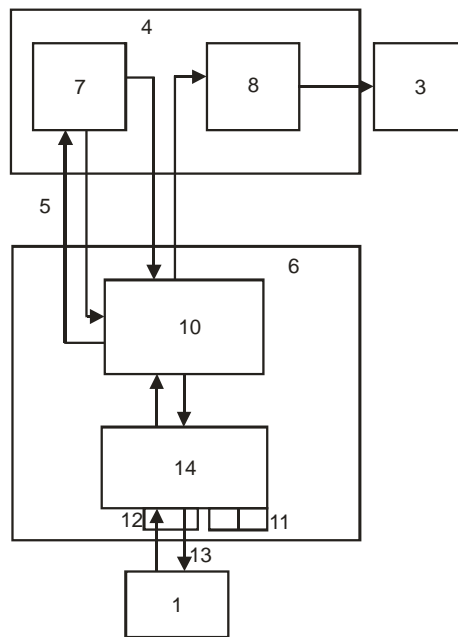


Рисунок 3.8 – Структурная схема отключателя электромагнитных форсунок

В качестве электронного устройства использован электронный блок управления транспортного средства 4, соединенный через диагностическую линию 5 с внешним электронным блоком управления 6. Электронный блок управления транспортного средства 4 включает в себя микроконтроллер электронного блока управления транспортного средства 7, драйверы исполнительных механизмов 8 и закрепленную на электронном блоке управления транспортного средства 4 соединительную колодку 9 (рисунок 3.9).

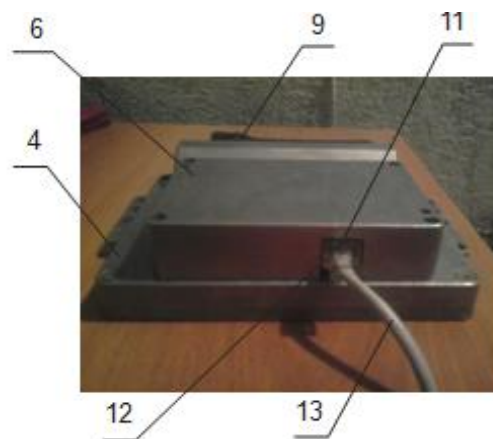


Рисунок 3.9 – Отключатель электромагнитных форсунок

Внешний электронный блок управления 6 содержит микроконтроллер внешнего электронного блока управления и установленные на нем индикато-

ры 11 и разъем 12 для подсоединения сетевого провода 13 и локальной сети, соединенной с компьютерным устройством 1 (рисунок 3.9).

Для универсализации отключателя электромагнитных форсунок при использовании на ряде транспортных средств может применяться переходной соединитель 15 (рисунок 3.10) установленный между разъемом электронного блока управления 16 на транспортном средстве и соединительной колодкой 9 электронного блока управления транспортного средства 4 [9].

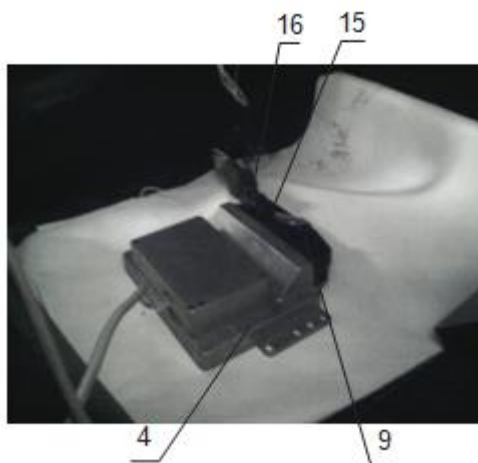


Рисунок 3.10 – Отключатель электромагнитных форсунок, подсоединенный переходным соединителем, расположенным между разъемом электронного блока управления на транспортном средстве и соединительной колодкой электронного блока управления транспортного средства

На интерфейсе программы (рисунок 3.11) расположены кнопки 17 полного отключения цилиндров, кнопки 18 частичного отключения цилиндров, кнопка 19 для отключения топлива или зажигания (два возможных положения), кнопка 20 для сброса всех установок, введенных ранее, кнопка 21 для корректировки длительности впрыска топлива форсунки, кнопка 22 для изменения угла опережения зажигания, кнопка 23 для осуществления команд «Подключить» и «Отключить», кнопка 24 для осуществления команд «Баланс», «Выбег» и «Разгон». Снизу интерфейса программы расположен «Статус ЭБУ» 25 «Подключено» – «Отключено».

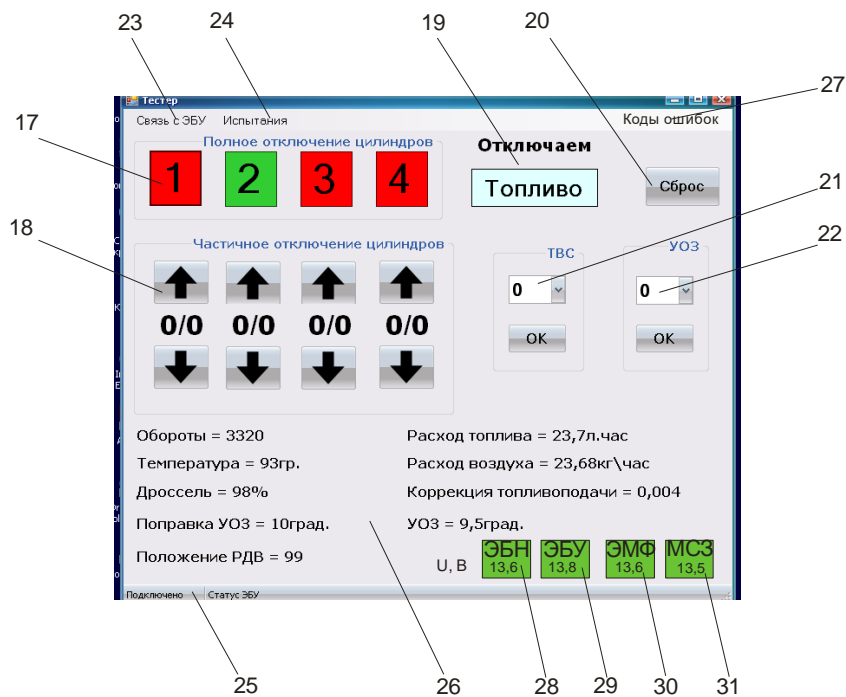


Рисунок 3.11 – Интерфейс компьютерной программы

В свободном поле интерфейса программы расположены параметры 26: Обороты – частота вращения коленчатого вала двигателя, мин^{-1} Температура – температура охлаждающей жидкости, $^{\circ}\text{C}$

Дроссель – процент открытия дроссельной заслонки, %

Поправка УОЗ – поправка угла опережения зажигания, град

Положение РДВ – положение регулятора добавочного воздуха, шагов

Расход топлива – л/ч

Расход воздуха – кг/ч

Коррекция топливоподачи – мг/цикл

УОЗ – угол опережения зажигания, град

В верхнем правом углу интерфейса программы представлены коды ошибок 27 (в случае если есть ошибка, появляется ее описание).

В правом нижнем углу интерфейса программы расположены кнопки 28, 29, 30, 31: кнопка 28 для уменьшения или увеличения напряжения питания электробензонасоса; кнопка 29 для уменьшения или увеличения напряжения питания электронного блока управления; кнопка 30 для уменьшения или увеличения напряжения питания электромагнитных форсунок (одновременно всех); кнопка 31 для уменьшения или увеличения напряжения питания модуля системы зажигания [8].

Перед использованием отключателя электромагнитных форсунок устанавливают диагностическую программу на компьютерное устройство. При первом запуске программы настраивают связь с отключателем электромагнитных форсунок. Отключатель электромагнитных форсунок работает с компьютерным устройством по сетевому протоколу TCP/IP, поэтому для его работы необходимо правильно настроить параметры этого протокола.

3.5 Мотор-тестер «МТ-10» для диагностирования систем ДВС

Программа МТ-10 в режиме сканер предназначена для диагностики различных систем автомобилей, оснащенных системами электронного управления.

Назначение входов и подключение кабелей и датчиков

Входы «Вход1-Вход5 (IN1 -IN5)» универсальные аналоговые входы с высоким входным сопротивлением – предназначены для подключения к низковольтным цепям ЭСУД – к датчикам, исполнительным механизмам, первичным цепям системы зажигания (рисунки 3.12). Для подключения используются кабели-пробники: АМ4-С11-Ж, АМ4-С21-Г, АМ4-С31-З, АМ4-С41-К и АМ4-С51-Ф (желтого, голубого, зеленого, красного и фиолетового цвета – соответствуют цветам лучей в режиме осциллографа /самописца).

Для подключения кабелей к цепям ЭСУД можно использовать подходящие по размеру переходники ШП-3-ХХ, ШП-КГ («крокодил»), ЩУПЫ- ИГЛЫ.



Рисунок 3.12 – Мотор-тестер МТ-10 вид сверху и спереди (со стороны разъемов)

Вход «Датчик I цилиндра (Inductive Pickup)» – предназначен для подключения индуктивных клещей синхронизации (датчика первого цилиндра) КСИ-4. Клещи подключаются к высоковольтному проводу какого-либо (обычно первого) цилиндра на автомобилях с классической схемой системы зажигания с механическим распределителем и формируют импульсы начала отсчета в режимах, где необходим счет цилиндров [8]. Наличие этого датчика позволяет однозначно определять, какому цилиндру соответствует осциллограмма или отсчет измерений.

Клещи синхронизации можно подключать к высоковольтному проводу любого цилиндра, но в программе необходимо указать, к какому именно проводу подключены клещи.

Диагностика (DLC) – предназначена для подключения диагностических кабелей для проведения диагностики автомобиля при работе в режиме сканера. Используется диагностический кабель АМД4-Д13-ДИАГ и кабели-адаптеры с различными диагностическими разъемами: кабель-адаптер ГАЗ АМ4-Д22-ГАЗ, кабель-адаптер ВАЗ/ГМ-12 АМ4-Д32-ВАЗ, кабель-адаптер OBDII АМД4-Д43- OBDII и т.д.

Вход синхронизации «ДПКВ/ДВМТ (CPS/DPS)» – предназначен для подключения индуктивного датчика положения коленчатого вала (ДПКВ) и/или датчика верхней мёртвой точки (ДВМТ), а также оптического датчика коленвала ОДК-2.

На многих автомобилях (в том числе на инжекторных ВАЗ и ГАЗ) установлены специальные зубчатые диски синхронизации. Количество зубьев может быть различным.

Мотор-тестер МТ-10 может работать в режиме тестера и сканера.

Рассмотрим особенности использования мотор-тестера МТ-10.

Режим «Тестер». Режим «Тестер» предназначен для диагностики двигателей внутреннего сгорания. Диагностика производится с помощью компьютера, подключенного через адаптер и датчики к цепям (или узлам) двигателя.

3.6 Экспериментальный стенд и его элементы

Двигатель ЗМЗ-406.10

Характеристики двигателя:

Таблица 3.1 – Технические характеристики двигателя ЗМЗ-4062.10.

Производство	ЗМЗ
Марка двигателя	ЗМЗ-4062.10
Годы выпуска	1997-2008
Материал блока цилиндров	чугун
Система питания	инжектор
Тип	рядный
Количество цилиндров	4
Клапанов на цилиндр	4
Ход поршня, мм	86
Диаметр цилиндра, мм	92
Степень сжатия	9,3
Объем двигателя, куб. см	2286
Мощность двигателя, л.с./ мин ⁻¹	110/4500
Крутящий момент, Н·м/ мин ⁻¹	186/3500
Топливо	92
Экологические нормы	Евро 3
Вес двигателя, кг	185
Расход топлива на л/100км в городе	13,5
Расход масла, гр./1000 км	до 100
Масло в двигатель	5W-40, 10W-40
Объем масла в двигателе	6
При замене лить, л	5.4
Замена масла проводится, км	7000
Рабочая температура двигателя, град.	~90
Ресурс двигателя, тыс. км	
- по данным завода	150
- на практике	200+

Датчик массового расхода воздуха – расходомер термопневматического типа ИВКШ 407282000, установлен во впускной системе после воздушного фильтра (рисунок 3.13).

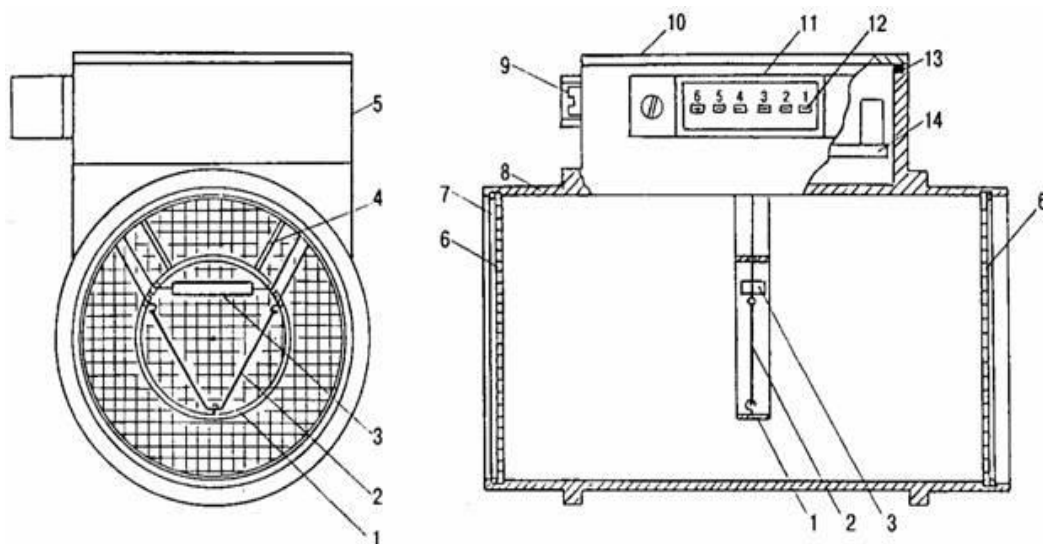


Рисунок 3.13 – Внутреннее устройство ДМРВ: 1 – кольца; 2 – платиновая нить; 3 – термокомпенсационное сопротивление; 4 – кронштейн крепления кольца; 5 – корпус электронного модуля; 6 – предохранительная сетка; 7 – стопорное кольцо; 8 – корпус датчика; 9 – винт регулировки СО; 10 – крышка; 11 – колодка электрического разъёма; 12 – штекер; 13 – уплотнитель; 14 – электронный модуль

Датчик определяет количество воздуха, поступающего в цилиндры во время работы двигателя (рисунок 3.13).

В корпусе датчика натянута платиновая нить. Во время работы она нагревается до температуры 150 °С. Воздушный поток, проходящий через корпус датчика, отбирает от нее тем больше теплоты, чем выше расход воздуха. По величине электрической мощности, которая затрачивается на поддержание заданной температуры нити, электронный блок рассчитывает массовый расход поступающего воздуха.

Так как на охлаждение нити влияет температура самого воздуха, в корпусе датчика установлен терморезистор, изменяющий свое сопротивление в соответствии с температурой поступающего в систему воздушного потока. На основании его показаний электронный блок вносит коррективы в работу электросхемы нагрева нити, тем самым компенсируя перепады температуры, вызванные изменением погодных условий [16].

Основные параметры и размеры:

Номинальное напряжения питания датчика 12 В.

Диапазон напряжения питания датчика от 7,5 до 16 В.

Потребляемый ток датчика при напряжении питания от 7,5 до 16 В:

а) в рабочем диапазоне преобразования массового расхода воздуха не более 500 мА;

б) при включении (< 200 мс) не более 1000 мА.

Режим работы датчика продолжительный номинальный S1 по ГОСТ 3940-84.

Диапазон рабочих температур: от минус 45 до 125 °С.

Диапазон температуры потока: от минус 40 до 110 °С.

Диапазон давлений окружающей среды: от 84 до 106,7 кПа (630 – 800 мм рт. ст.).

Масса датчика должна быть не более 200 г.

3.7 Методика эксперимента и анализ данных

Для решения поставленных задач была разработана общая методика исследований снижения расхода топлива бензиновых ДВС за счет полного и частичного отключения цилиндров. Методика исследований предполагает решение поставленных задач путем проведения теоретических и эксплуатационных экспериментальных исследований. Объектом испытания является двигатель ЗМЗ-406.10. с электронной системой управления (рисунок 3.14).



Рисунок 3.14 – Объект испытания двигатель ЗМЗ-406.10.

Для проверки достоверности полученных данных нам потребовалось узнать техническое состояние испытуемого двигателя ЗМЗ-406.10. Так параметры износа цилиндров, измеренные пневмотестером К-69М, представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Параметры износа цилиндров, измеренные пневмотестером К-69М

Показатели	Номер цилиндра			
	1	2	3	4
У2	32%	22%	29%	14%
У2-У1	8%	4%	9%	3%
У1	24%	18%	20%	11%

Из таблицы 3.2 видно, что У2 (предельное значение износа цилиндров) достигает в 1 и 3 цилиндре [14]. Предельное значение поршневых колец и клапанов наблюдается в 1, 2, 3 цилиндрах. Предельное значение параметра У2-У1 не превышено ни в одном из цилиндров.

Кроме того, при проведении экспериментальных исследований на испытуемый ДВС ставились электромагнитные форсунки с параметрами проливки, измеренными на стенде «Форсаж» (таблица 3.3).

Таблица 3.3 – Параметры проливки форсунок, измеренные на стенде «Форсаж»

Показатели	Номер цилиндра			
	1	2	3	4
Пропускная способность	0%	-3%	-6%	+6%

Как видно из таблицы 3.3 пропускная способность форсунки 1-го цилиндра соответствовала эталонному значению, а пропускная способность 2-ой форсунки на – 3% ниже от эталонного значения. Пропускная способность форсунки 3-го цилиндра соответствовала уменьшенной пропускной способности на – 6% от эталонной, а для 4-го цилиндра – увеличенной на +6%. Для создания необходимых режимов нагружения ДВС использовался отключатель электромагнитных форсунок (рисунок 3.15), который позволяет создавать любую нагрузку на диагностируемый цилиндр.

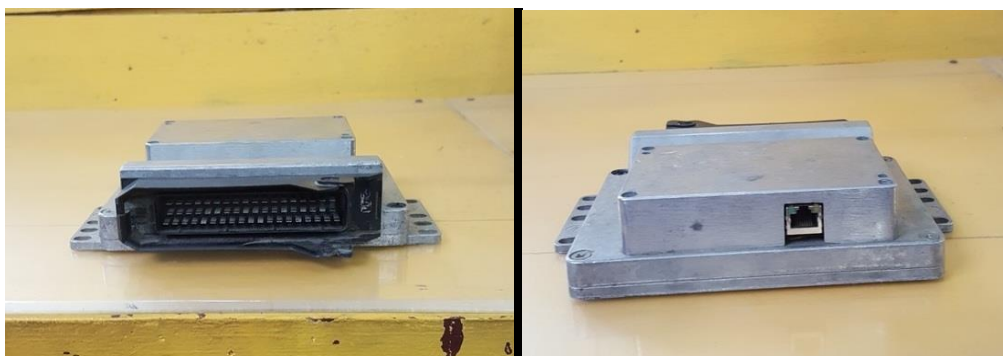


Рисунок 3.15 – Отключатель электромагнитных форсунок.

Отключатель электромагнитных форсунок подключался в диагностический разъем (рисунок 3.16).



Рисунок 3.16 – Подключение отключателя электромагнитных форсунок в диагностический разъем

К отключателю электромагнитных форсунок подключался персональный компьютер Acer ASPIRE A715-71G-56BD при помощи LAN-кабеля как представлено ниже на рисунке 3.17.

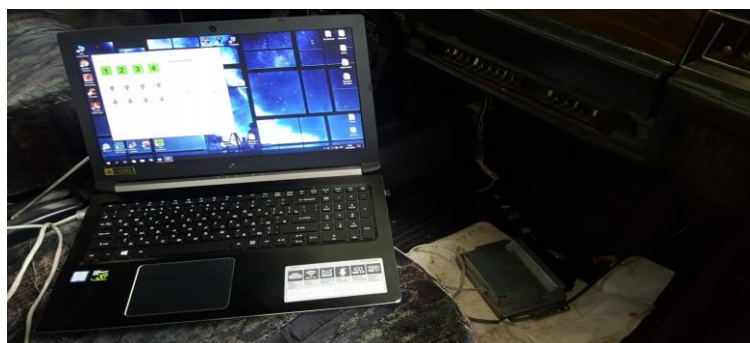


Рисунок 3.17 – Подключение электромагнитного отключателя к персональному компьютеру при помощи LAN-кабеля

После подключения электромагнитного отключателя к персональному компьютеру, на нем запускается установленная заранее программа Mikas 5.1. Интерфейс данной программы представлен ниже на рисунке 3.18.



Рисунок 3.18 – Загрузка программы Mikas 5.1 на персональном компьютере

Проверка достоверности полученных результатов проводилась путем сравнения результатов диагностирования с аналогичными результатами полученными на других ДВС. Экспериментальные исследования проводились на двигателе ЗМЗ 406.10.

3.8 Контрольные вопросы

1. Что представляет собой общая методика исследования?
2. Какие задачи входили в представленный раздел?
3. Что представляет собой разработанный экспериментальный стенд на базе полнокомплектного двигателя?
4. Для чего экспериментальный стенд в своей конструкции имеет средства нагружения? Что представляет собой нагружающее устройство?
5. Стендовая установка для сравнительных испытаний датчиков массового расхода воздуха, снятых с автотракторного средства. Перечислите ее преимущества и недостатки.
6. Перечислите преимущества стендовой проверки датчиков массового расхода воздуха по сравнению с безразборным контролем.

7. Особенности использования стендовой установки, ее режимы и контролируемые параметры.
8. Что представляет собой электрическая схема стендовой установки?
9. В чем заключается технология проверки на стендовой установке?
10. Какие значения выходных параметров контролируются при использовании стендовой установки? Перечислите диапазоны.
11. Устройство для безразборного контроля ДМРВ на автомобиле. Особенности использования.
12. Особенности режимов при диагностировании ДМРВ на автомобиле и его контролируемые параметры.
13. Что представляет собой электрическая схема устройства?
14. В чем заключается технология проверки при использовании устройства?
15. Какие значения выходных параметров контролируются при использовании устройства? Перечислите диапазоны.
16. Особенности тестового метода для диагностирования современных ДМРВ.
17. Предельные и допустимые значения диагностических параметров при контроле современных ДМРВ.
18. Тестовый прибор догрузатель для контроля ДМРВ.
19. Структурная схема тестового прибора, особенности взаимодействия элементов в его конструкции.
20. Технология использования тестового прибора на автомобилях.
21. Интерфейс тестового прибора. Основные обозначения и элементы управления при диагностировании.
22. Мотор-тестер МТ-10 и его использование для контроля ДМРВ.
23. Контроль ДМРВ разборными и безразборными средствами.
24. Взаимовлияние неисправностей различных систем автотракторной техники на точность контроля ДМРВ.
25. Взаимное сочетание средств диагностирования при проведении экспериментальных исследований.

Глава 4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Результаты предварительных экспериментальных исследований при варьировании частоты вращения коленчатого вала ДВС

В соответствии с программой эксперимента были получены зависимости массового расхода воздуха Q , кг/ч, величины напряжения с контрольного вывода ДМРВ U , В, величины открытия дроссельной заслонки R , %, часового расхода топлива V , л/ч от частоты вращения коленчатого вала ДВС n , мин⁻¹. Проведем анализа каждой зависимости в порядке реализации опытов. На первом этапе были построены зависимости массового расхода воздуха Q , кг/ч от частоты вращения коленчатого вала ДВС n , мин⁻¹ (рисунок 4.1).

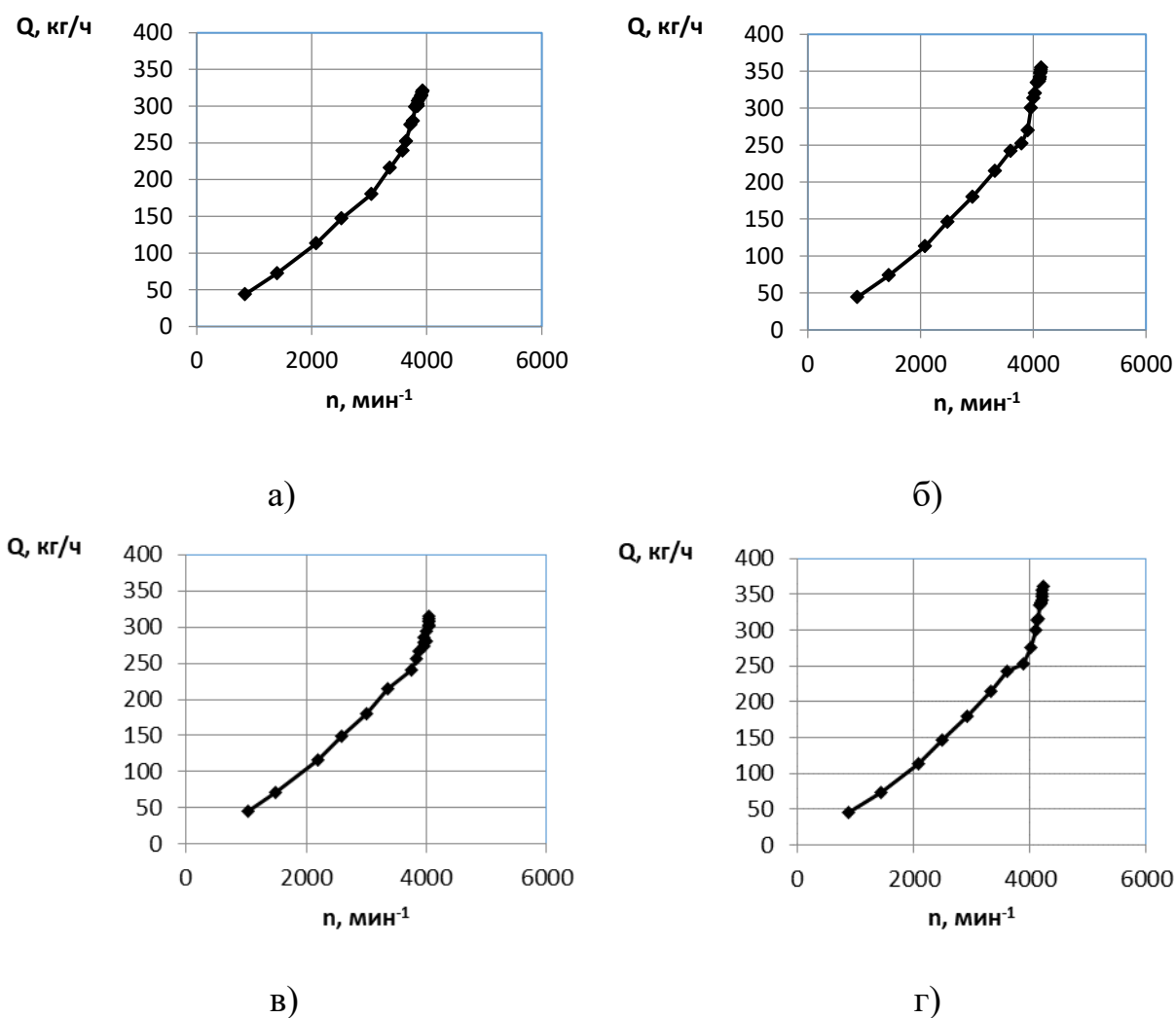


Рисунок 4.1 – Зависимость массового расхода воздуха Q , кг/ч от частоты вращения коленчатого вала ДВС n , мин⁻¹ при работе: а) на первом цилиндре

(2, 3, 4 выключены); б) на втором цилиндре (1, 3, 4 выключены); в) на третьем цилиндре (1, 2, 4 выключены); г) на четвертом цилиндре (1, 2, 3 выключены)

Анализ данных на рисунке 4.1 показывает явный максимум при тестировании четвертого цилиндра, где зафиксирована минимальная утечка воздуха из цилиндра 14 %. Максимальная величина массового расхода в четвертом цилиндре достигает величины – 361 кг/ч при одновременном достижении максимума частоты вращения коленчатого вала ДВС – 4230 мин⁻¹. Минимальная величина массового расхода в третьем цилиндре достигает величины – 315 кг/ч при одновременном достижении минимума частоты вращения коленчатого вала ДВС – 4040 мин⁻¹. Сведем полученные данные в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Данные по результатам контроля массового расхода воздуха Q, кг/ч

Выходные показатели контроля	Номер проверяемого цилиндра			
	1	2	3	4
S, % (утечка в конце такта сжатия)	32	22	29	14
Q, кг/ч (максимальная величина массового расхода воздуха)	321	355	315	361
n, мин ⁻¹ (максимальная величина частоты вращения коленчатого вала ДВС)	3930	4140	4040	4230
ΔQ, кг/ч (разность от максимальной величины)	40	5	46	0
Δn, мин ⁻¹ (разность от максимальной величины)	300	90	190	0

Оценим чувствительность параметра – массового расхода воздуха по отношению к утечке воздуха из цилиндра. Так отношение максимальной величины утечки из цилиндра к минимальной $S_{max}/S_{min}=32/14=2,28$. При этом отношение максимальной величины массового расхода воздуха к минимальной $Q_{max}/Q_{min}=361/315=1,14$. Рассмотрим отношение максимальной величины частоты вращения коленчатого вала ДВС к минимальной $n_{max}/n_{min}=4230/3930=1,07$. Однако нужно учитывать также точность фиксации со-

ответствующего параметра и ошибку, возможную при измерениях этого параметра.

Рассмотрим динамику изменения величины напряжения с контрольного вывода ДМРВ (рисунок 4.2).

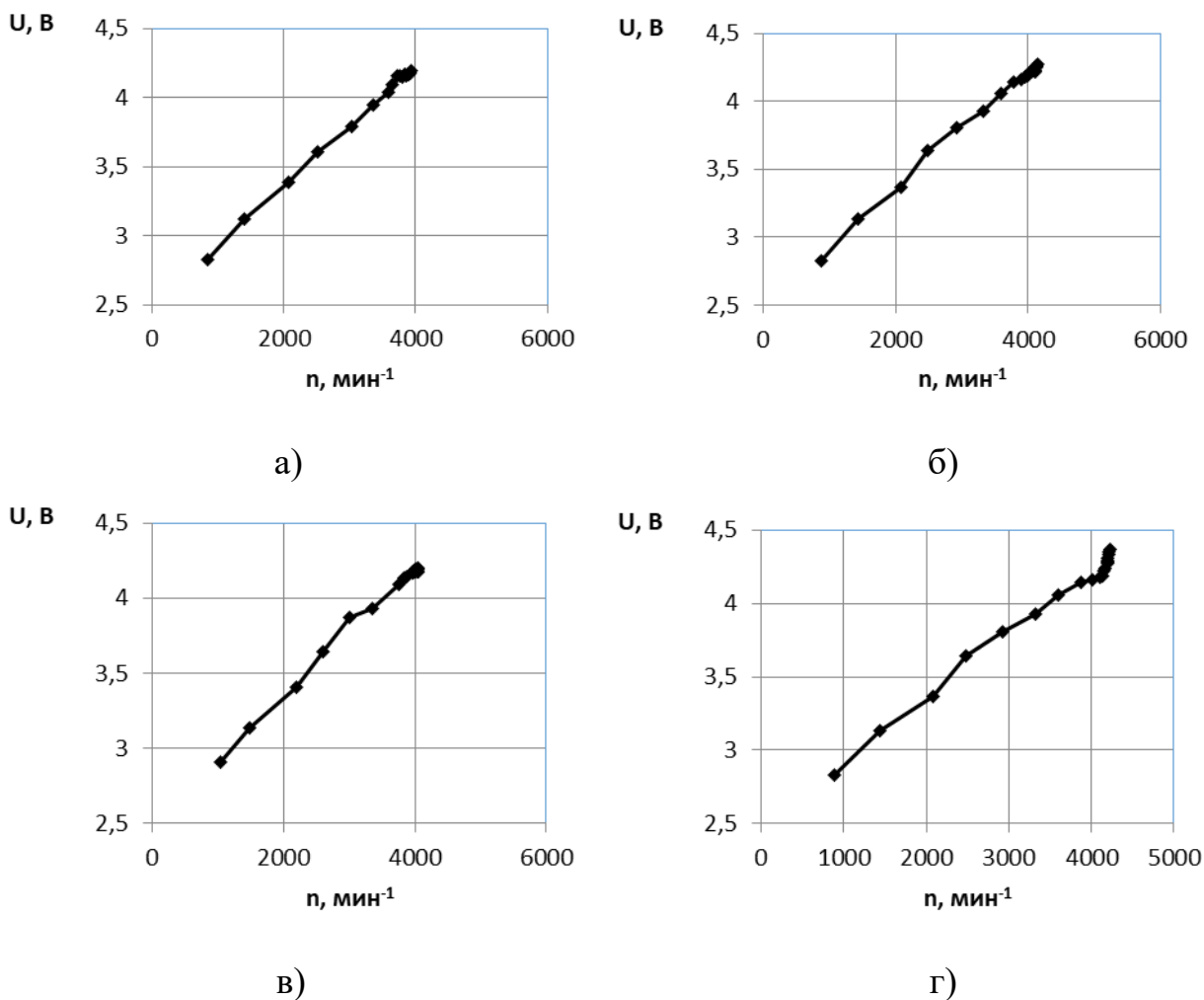


Рисунок 4.2 – Зависимость величины напряжение с контрольного вывода ДМРВ $U, В$ от частоты вращения коленчатого вала ДВС $n, мин^{-1}$ при работе: а) на первом цилиндре (2, 3, 4 выключены); б) на втором цилиндре (1, 3, 4 выключены); в) на третьем цилиндре (1, 2, 4 выключены); г) на четвертом цилиндре (1, 2, 3 выключены)

Анализ данных на рисунке 4.2 показывает на наличие максимума значения величины напряжения с контрольного вывода ДМРВ при диагностировании четвертого цилиндра. В четвертом цилиндре наблюдается наименьший износ цилиндра и зафиксирована минимальная утечка воздуха из цилиндра 14 %. Максимальная величина напряжения с контрольного вывода ДМРВ в

четвертом цилиндре достигает величины – 4,37 В при одновременной фиксации максимума частоты вращения коленчатого вала ДВС – 4230 мин⁻¹. Минимальная величина напряжения с контрольного вывода ДМРВ в третьем цилиндре достигает величины – 4,20 В при одновременном достижении минимума частоты вращения коленчатого вала ДВС – 4040 мин⁻¹. Сведем полученные данные в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 – Данные по результатам измерения напряжения с контрольного вывода ДМРВ U, В

Выходные показатели контроля	Номер проверяемого цилиндра			
	1	2	3	4
S, % (утечка в конце такта сжатия)	32	22	29	14
U, В (максимальная величина напряжения с контрольного вывода ДМРВ)	4,19	4,27	4,20	4,37
n, мин ⁻¹ (максимальная величина частоты вращения коленчатого вала ДВС)	3930	4140	4040	4230
ΔU, В (разность от максимальной величины)	0,18	0,10	0,17	0
Δn, мин ⁻¹ (разность от максимальной величины)	300	90	190	0

Оценим чувствительность параметра – напряжения с контрольного вывода ДМРВ по отношению к утечке воздуха из цилиндра [7]. Так отношение максимальной величины утечки из цилиндра к минимальной $S_{max}/S_{min}=32/14=2,28$. При этом отношение максимальной величины напряжения с контрольного вывода к минимальной $U_{max}/U_{min}=4,37/4,19=1,04$. Как видно из соотношения параметр U не такой чувствительный, как выше рассмотренные величины. Рассмотрим отношение максимальной величины частоты вращения коленчатого вала ДВС к минимальной $n_{max}/n_{min}=4230/3930=1,07$. Однако нужно учитывать также точность фиксации соответствующего параметра и ошибку, возможную при измерениях этого параметра.

Значительную ценность для оценки технического состояния системы впуска и ДМРВ представляет параметр – положение дроссельной заслонки R, % при реализации тестовых режимов. Так, при проведении экспериментов были получены данные по контролю положения дроссельной заслонки R, % в

зависимости от частоты вращения коленчатого вала ДВС n , мин^{-1} (рисунок 4.3).

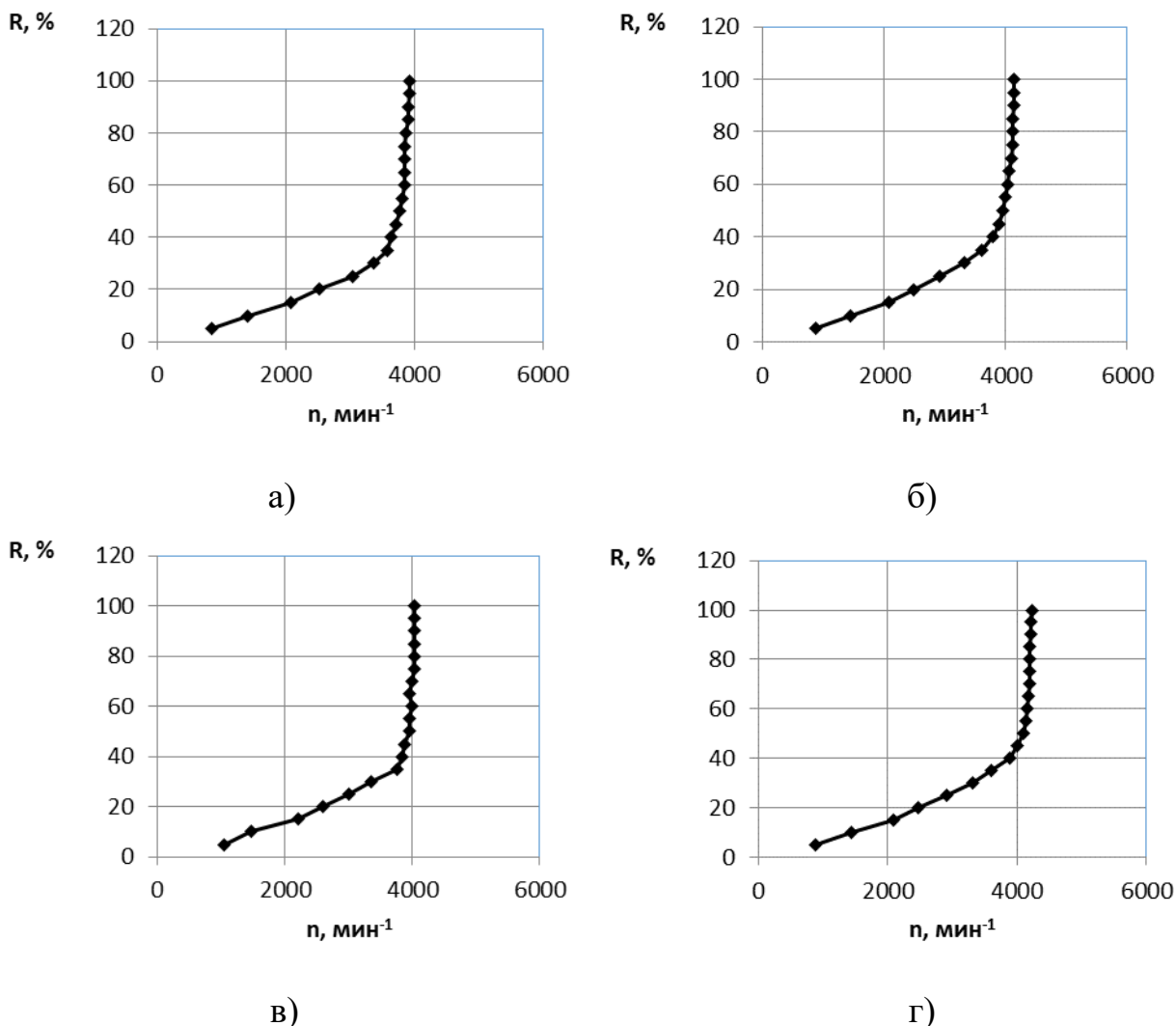


Рисунок 4.3 – Зависимость положения дроссельной заслонки R , % от частоты вращения коленчатого вала ДВС n , мин^{-1} при работе: а) на первом цилиндре (2, 3, 4 выключены); б) на втором цилиндре (1, 3, 4 выключены); в) на третьем цилиндре (1, 2, 4 выключены); г) на четвертом цилиндре (1, 2, 3 выключены)

Анализ данных на рисунке 4.3 показывает, что максимальная степень открытия дроссельной заслонки характеризуется разными значениями частоты вращения коленчатого вала ДВС. Так наиболее герметичный цилиндр, которым является четвертый, развивает наибольшую максимальную частоту вращения коленчатого вала ДВС – 4230 мин^{-1} при максимальной степени открытия дроссельной заслонки. Далее по степени износа следует второй ци-

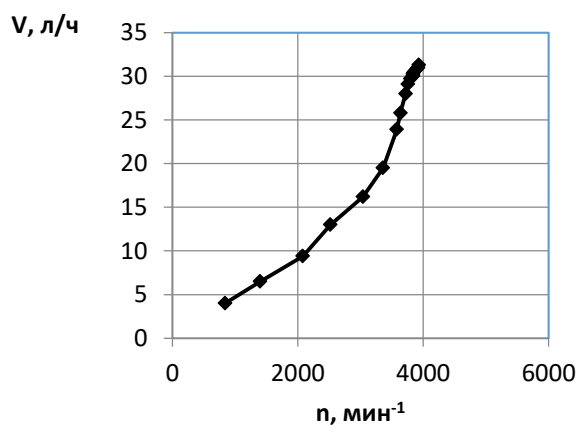
цилиндр с утечкой в конце такта сжатия – 22 %. Сведем полученные данные в таблицу 4.3.

Таблица 4.3 – Данные по результатам измерения положения дроссельной заслонки R, %

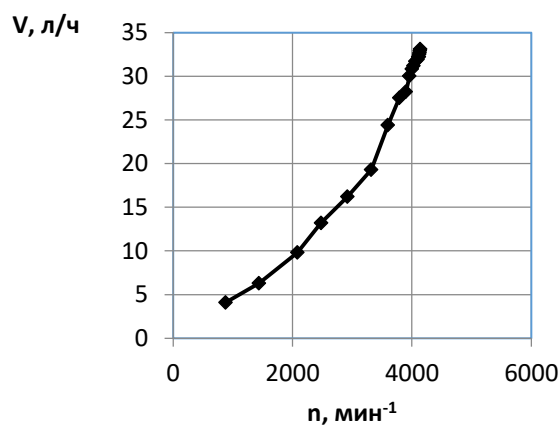
Выходные показатели контроля	Номер проверяемого цилиндра			
	1	2	3	4
S, % (утечка в конце такта сжатия)	32	22	29	14
R, % (максимальная величина положения дроссельной заслонки)	100	100	100	100
n, мин ⁻¹ (максимальная величина частоты вращения коленчатого вала ДВС)	3930	4140	4040	4230
Δn, мин ⁻¹ (разность от максимальной величины)	300	90	190	0

Контроль частоты вращения коленчатого вала развиваемой вторым цилиндром при максимальной степени открытия дроссельной заслонки показал значение – 4140 мин⁻¹. И контроль наиболее изношенных цилиндров третьего и первого выявил результат: 4040 и 3930 мин⁻¹. Максимальная разность частот вращения коленчатого вала ДВС возникает между результатами контроля четвертого и первого цилиндров $\Delta n_{4,1} = n_4 - n_1 = 4230 - 3930 = 300$ мин⁻¹. В процентном отношении эта величина достигает значения – 7 %. Достаточно чувствительный параметр – частота вращения коленчатого вала при условии точности измерения – 1-3 мин⁻¹.

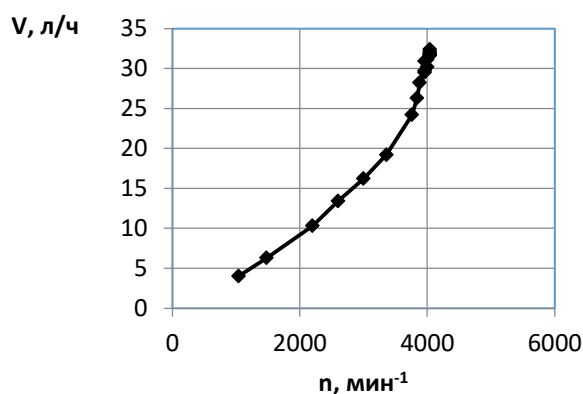
И на заключительной стадии экспериментальной работы оценивался часовой расход топлива V, л/ч от частоты вращения коленчатого вала ДВС n, мин⁻¹ (рисунок 4.4).



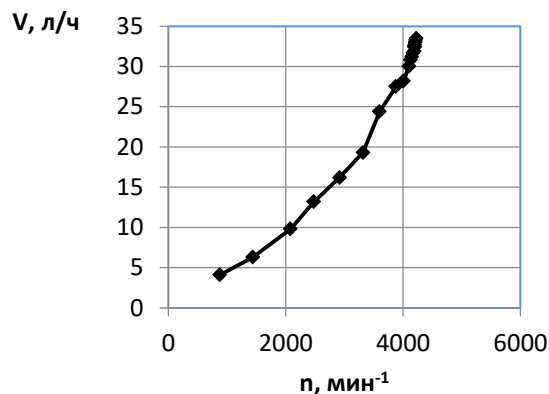
а)



б)



в)



г)

Рисунок 4.4 – Зависимость часового расхода топлива V , л/ч от частоты вращения коленчатого вала ДВС n , мин⁻¹ при работе: а) на первом цилиндре (2, 3, 4 выключены); б) на втором цилиндре (1, 3, 4 выключены); в) на третьем цилиндре (1, 2, 4 выключены); г) на четвертом цилиндре (1, 2, 3 выключены)

Анализ результатов контроля часового расхода топлива (рисунок 4.4) показал, что наибольшее значение при максимальной частоте вращения коленчатого вала ДВС наблюдается для четвертого цилиндра 33,5 л/ч. При контроле часового расхода второго цилиндра зафиксирован результат – 33,1 л/ч. Измерение параметров часового расхода топлива в третьем и первом цилиндре показали данные, соответственно – 32,4 и 31,3 л/ч. Сведем полученные данные в таблицу 4.4.

Таблица 4.4 – Данные по результатам измерения часового расхода топлива V , л/ч

Выходные показатели контроля	Номер проверяемого цилиндра			
	1	2	3	4
S , % (утечка в конце такта сжатия)	32	22	29	14
V , л/ч (максимальная величина часового расхода топлива)	31,3	33,1	32,4	33,5
n , мин ⁻¹ (максимальная величина частоты вращения коленчатого вала ДВС)	3930	4140	4040	4230
ΔV , л/ч (разность от максимальной величины)	2,2	0,4	1,1	0
Δn , мин ⁻¹ (разность от максимальной величины)	300	90	190	0

Представленный результат показывает, что с увеличением износа ЦПГ падает значение массового расхода воздуха и соответственно снижается подача топлива [8]. Таким образом, наилучший по герметичности цилиндр всегда покажет максимум часового расхода топлива. Максимальная разность часовых расходов топлива возникает между результатами контроля четвертого и первого цилиндров $\Delta V_{4,1} = V_4 - V_1 = 33,5 - 31,3 = 2,2$ л/ч. В процентном отношении эта величина достигает значения – 6,5 %. Данный параметр является результирующим от комплекса различных входных параметров и дополнительно может быть применен для уточнения технического состояния системы впуска и ЦПГ.

4.2 Результаты предварительных экспериментальных исследований при варьировании нагрузки

Результаты экспериментальной работы были выполнены строго по плану и занесены в таблицы данных. После чего данные были изучены на предмет чрезмерных выбросов отдельных показаний и несоответствий. Данные точки в плане эксперимента дополнительно проверялись путем проведения повторного эксперимента. После уточнения выходных данных были построены зависимости массового расхода воздуха Q , кг/ч от степени открытия дроссельной заслонки R , % (рисунок 4.5).

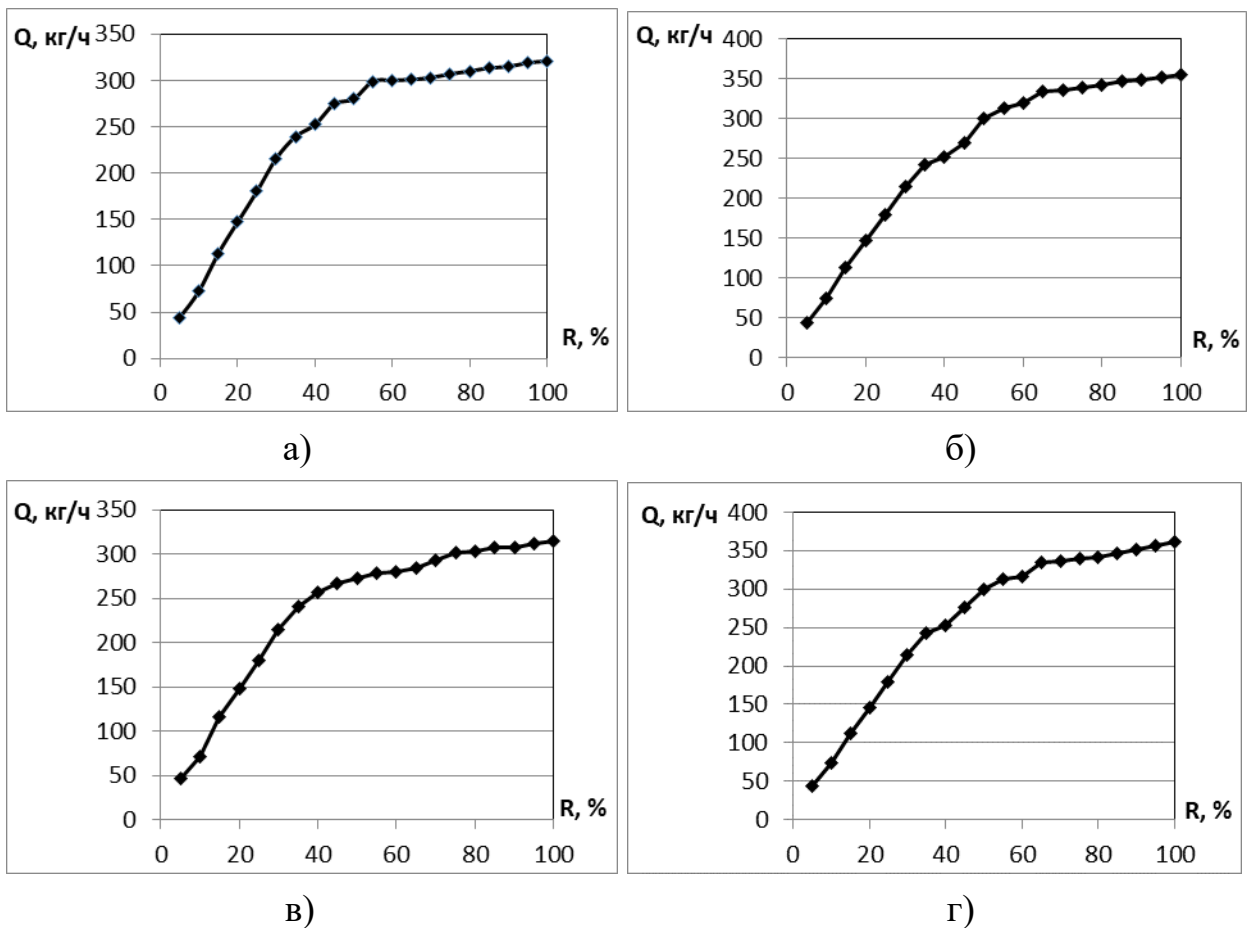


Рисунок 4.5 – Зависимость массового расхода воздуха Q , кг/ч от степени открытия дроссельной заслонки R , % при работе: а) на первом цилиндре (2, 3, 4 выключены); б) на втором цилиндре (1, 3, 4 выключены); в) на третьем цилиндре (1, 2, 4 выключены); г) на четвертом цилиндре (1, 2, 3 выключены)

Анализ данных на рисунке 4.5 показывает, что динамика роста параметра – массового расхода воздуха при работе второго и четвертого цилиндров несколько отличается от первого и третьего [9]. Так максимальное значение величины массового расхода воздуха наблюдается в четвертом цилиндре и составляет 361 кг/ч. Несколько меньшее значение величины Q наблюдается при работе второго цилиндра – 355 кг/ч. Тогда как максимальные величины Q для первого и третьего цилиндров существенно ниже и составляют 321 и 315 кг/ч соответственно. Максимальная разность величин расхода воздуха для четвертого и третьего цилиндров составляет: $\Delta Q_{4,3} = Q_4 - Q_3 = 361 - 315 = 46$ кг/ч. В процентном отношении эта величина достигает значения – 12,7 %. Из таблицы 4.1 видно, что наименьший износ ЦПГ выявлен у четвертого цилиндра и составил – 14 %. Как раз для данного цилиндра наблюдается наибольшая величина массового расхода воздуха – 361 кг/ч. Износ второго цилиндра

несколько больше четвертого (составляет 22 %), этим объясняется чуть меньшее значение массового расхода воздуха – 355 кг/ч. Износы первого и третьего цилиндров составляют 32 и 29 %, для этих значений износа максимальная величина массового расхода воздуха составила 321 и 315 кг/ч.

Одновременно с фиксацией величины массового расхода воздуха контролировался еще один очень важный диагностический параметр – величина напряжения с контрольного вывода ДМРВ (рисунок 4.6).

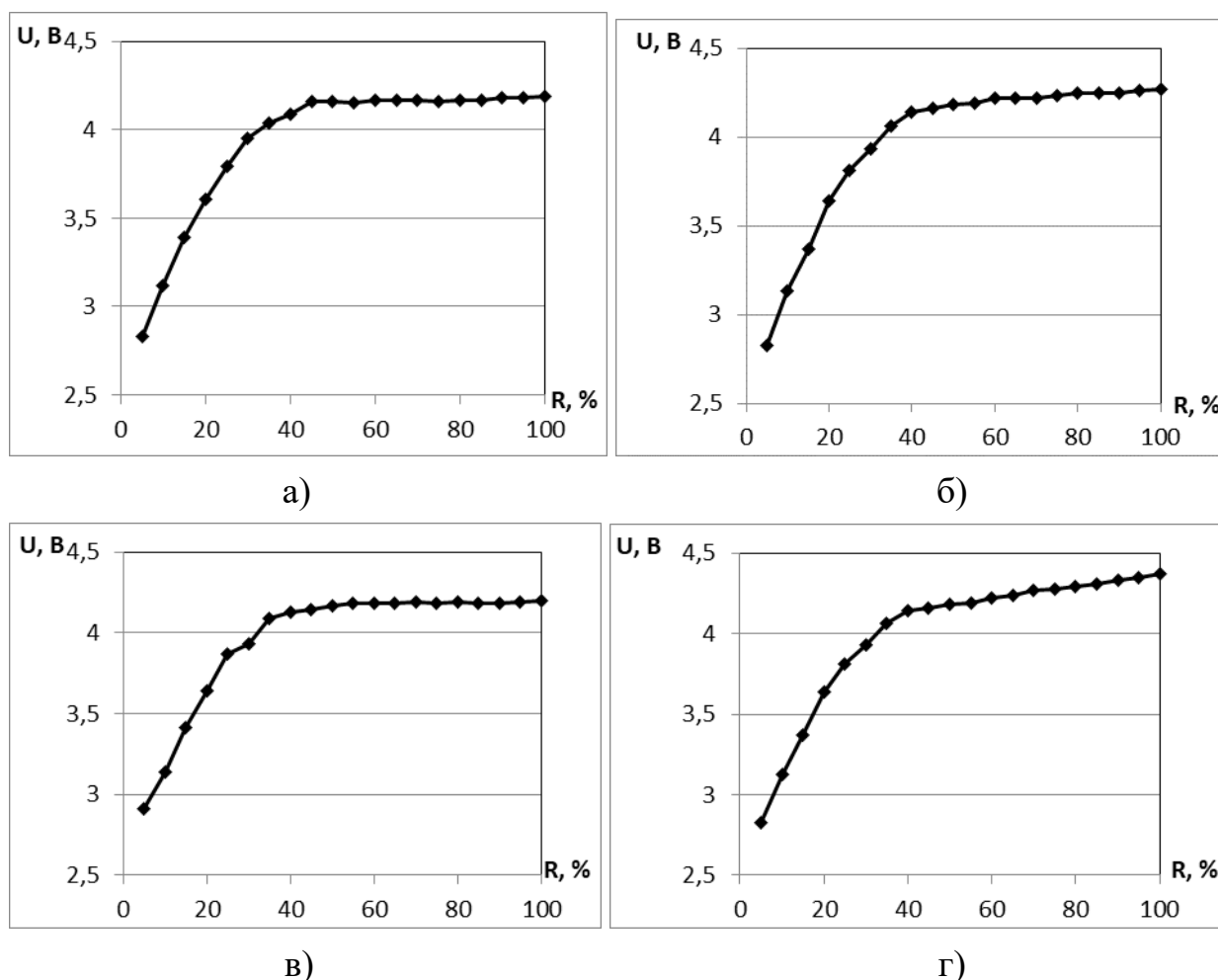
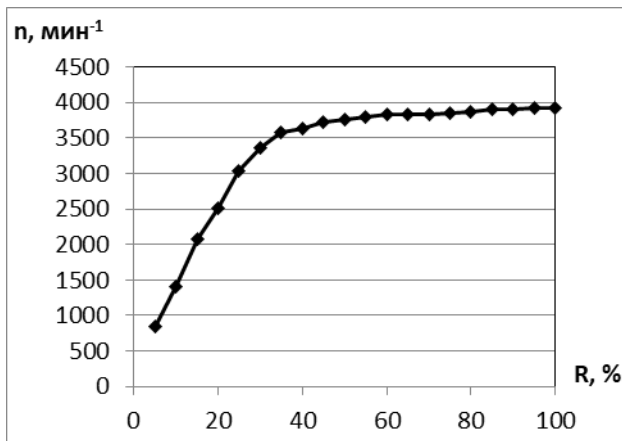


Рисунок 4.6 – Зависимость величины напряжение с контрольного вывода ДМРВ $U, В$ от положения дроссельной заслонки $R, \%$ при работе: а) на первом цилиндре (2, 3, 4 выключены); б) на втором цилиндре (1, 3, 4 выключены); в) на третьем цилиндре (1, 2, 4 выключены); г) на четвертом цилиндре (1, 2, 3 выключены)

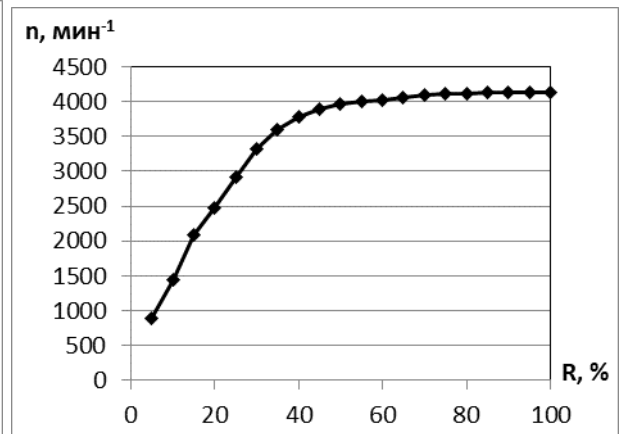
Анализ данных на рисунке 4.6 подтверждает заключения, сформулированные по рисунку 11. Так как величина напряжения с контрольного вывода ДМРВ $U, В$ изменяется пропорционально величине массового расхода возду-

ха Q , кг/ч. Так, например, в наиболее герметичных цилиндрах 4 и 2 фиксируются соответственно большие значения напряжения – 4,37 и 4,27 В. В то время как в предельно изношенных цилиндрах первом и третьем наблюдаются следующие результаты – 4,19 и 4,20 В. Максимальная разность величин напряжения возникает между результатами контроля четвертого и первого цилиндров $\Delta U_{4,1} = U_4 - U_1 = 4,37 - 4,19 = 0,28$ В. В процентном отношении эта величина достигает значения – 6,4 %. Однако если учитывать, что рабочая характеристика ДВС начинается примерно с величины 2 В на холостом ходу ДВС. То в этом случае процентная величина составляет – 11,8 %. Что является достаточно близким результатом с параметром – массовый расход воздуха.

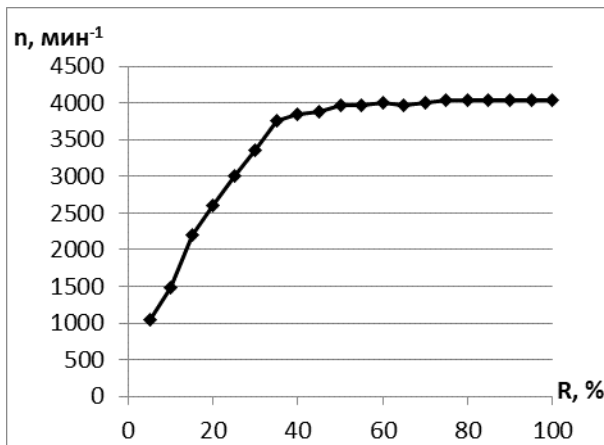
Значительную ценность для оценки технического состояния системы впуска и ДМРВ представляет изменение динамики частоты вращения коленчатого вала ДВС при тестовом диагностировании. В результате экспериментов и обработки данных получен (рисунок 4.7).



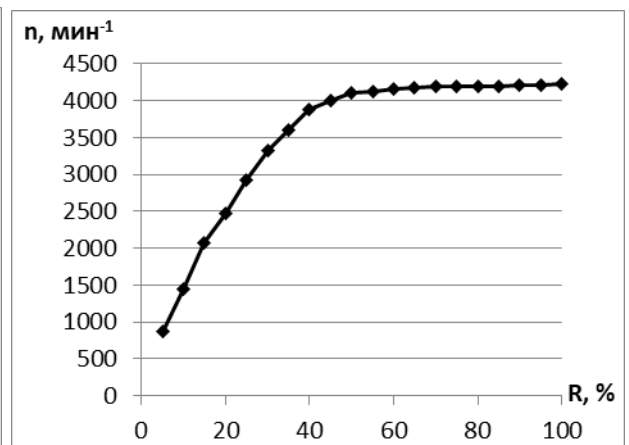
а)



б)



в)



г)

Рисунок 4.7 – Зависимость изменения частоты вращения коленчатого вала ДВС n , мин^{-1} от степени открытия дроссельной заслонки R , % при работе: а) на первом цилиндре (2, 3, 4 выключены); б) на втором цилиндре (1, 3, 4 выключены); в) на третьем цилиндре (1, 2, 4 выключены); г) на четвертом цилиндре (1, 2, 3 выключены)

Анализ данных на рисунке 4.7 показывает, что наиболее герметичный цилиндр, которым является четвертый, развивает наибольшую максимальную частоту вращения коленчатого вала ДВС, которая составляет – 4230 мин^{-1} при полном открытии дросселя [10]. Далее по степени износа следует второй цилиндр с утечкой в конце такта сжатия – 22 %. Контроль частоты вращения коленчатого вала развиваемой вторым цилиндром при максимальной степени открытия дроссельной заслонки показал значение – 4140 мин^{-1} . И контроль наиболее изношенных цилиндров третьего и первого выявил ре-

зультат: 4040 и 3930 мин⁻¹. Максимальная разность частот вращения коленчатого вала двигателя возникает между результатами контроля четвертого и первого цилиндров $\Delta n_{4,1}=n_4-n_1=4230-3930=300$ мин⁻¹. В процентном отношении эта величина достигает значения – 7 %. Достаточно чувствительный параметр – изменение частоты вращения коленчатого вала двигателя при условии точности измерения – 1-3 мин⁻¹.

И на заключительной стадии экспериментальной работы оценивался часовой расход топлива V , л/ч от степени открытия дроссельной заслонки R , % (рисунок 4.8).

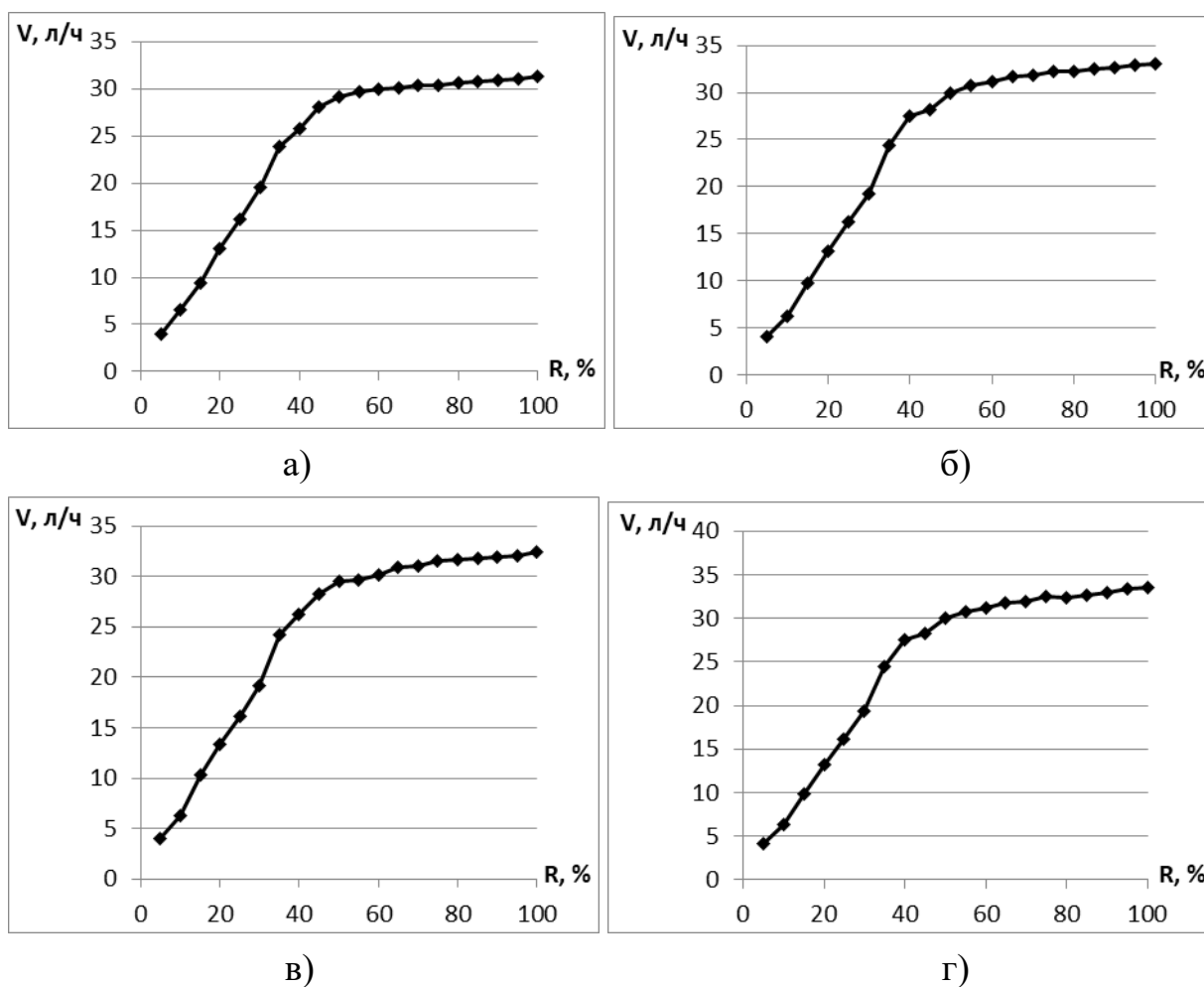


Рисунок 4.8 – Зависимость величины часового расхода топлива V , л/ч от степени открытия дроссельной заслонки R , % при работе: а) на первом цилиндре (2, 3, 4 выключены); б) на втором цилиндре (1, 3, 4 выключены); в) на третьем цилиндре (1, 2, 4 выключены); г) на четвертом цилиндре (1, 2, 3 выключены)

Анализ результатов контроля часового расхода топлива (рисунок 4.8) показал, что наибольшее значение при максимальной степени открытия дроссельной заслонки наблюдается для четвертого цилиндра 33,5 л/ч. При контроле часового расхода второго цилиндра зафиксирован результат – 33,1 л/ч. Измерение параметров часового расхода топлива в третьем и первом цилиндре показали данные, соответственно – 32,4 и 31,3 л/ч. Представленный результат показывает, что с увеличением износа ЦПГ падает значение массового расхода воздуха и соответственно снижается подача топлива. Таким образом, наилучший по герметичности цилиндр всегда покажет максимум часового расхода топлива. Максимальная разность часовых расходов топлива возникает между результатами контроля четвертого и первого цилиндров $\Delta V_{4,1}=V_4-V_1=33,5-31,3=2,2$ л/ч. В процентном отношении эта величина достигает значения – 6,5 %. Данный параметр является результирующим от комплекса различных входных параметров и дополнительно может быть применен для уточнения технического состояния системы впуска и ЦПГ.

4.3 Результаты многофакторного эксперимента

Перед проведением экспериментальных исследований были выбраны входные параметры: эквивалентное сечение выпускного тракта R , мм и частота вращения коленчатого вала ДВС n , мин^{-1} . В качестве выходных показателей эксперимента были выбраны: часовой расход топлива Q_T , л/ч и часовой расход воздуха Q_B , кг/ч, при работе двигателя на одном работающем цилиндре (3 другие цилиндра полностью выключены). То есть реализован двухфакторный эксперимент с двумя контролируруемыми параметрами.

Таблица 4.5 – Результаты экспериментальных исследований по контролю выходных данных Q_B , Q_T при вариации входных параметров R и n

№	R , мм	n , мин^{-1}	Q_T , л/ч	Q_B , кг/ч
1	48	880	1,6	20,8
2	48	1000	1,8	24,1
3	48	2000	3,4	41,8
4	48	3000	5	62,8

Продолжение таблицы 4.5

5	48	4000	5,6	76,5
6	48	5000	7,8	101,1
7	38	880	1,7	21,2
8	38	1000	1,9	24,5
9	38	2000	3,6	45,7
10	38	3000	5,4	67,1
11	38	4000	6,4	79,6
12	38	5000	8,9	107,3
13	28	880	1,8	21,7
14	28	1000	2	25,6
15	28	2000	4	47,6
16	28	3000	5,9	74
17	28	4000	7,8	102,2
18	28	5000	11,7	164
19	18	880	0	0
20	18	1000	2,1	26,6
21	18	2000	4,6	48,6
22	18	3000	6,6	78,7
23	18	4000	9,7	113,5
24	18	5000	0	0
25	8	880	0	0
26	8	1000	0	0
27	8	2000	5,6	46
28	8	3000	8,2	72
29	8	4000	0	0
30	8	5000	0	0

Используя данные таблицы 4.5, проведем обработку данных, для чего воспользуемся программой Sigma Plot и встроенной в нее методикой построения трехмерных графиков и регрессионного анализа. Для начала по результатам обработки данных построим трехмерную зависимость часового расхода топлива Q_T , л/ч от влияния входных параметров: эквивалентное сечение выпускного тракта, изменяющегося в пределах от 48 до 8 мм и частоты вра-

щения коленчатого вала ДВС, изменяющегося в пределах от 880 до 5000 мин⁻¹ (рисунок 4.9). Проведем анализ данных эксперимента, представленного на рисунке 4.9. Как видно из рисунка полученная трехмерная поверхность имеет объемный вид и экстремумы (максимумы). Как видно из графика в зоне предельных значений частот вращения коленчатого вала 4500-5000 мин⁻¹, в зоне больших сечений выпускного тракта наблюдается рост расхода топлива до точки экстремума, реализуемой при R=30 мм. Максимальный расход топлива в этой точке приближается к Q_T =12 л/ч, эта точка соответствует самому высокому максимуму на графике [11].

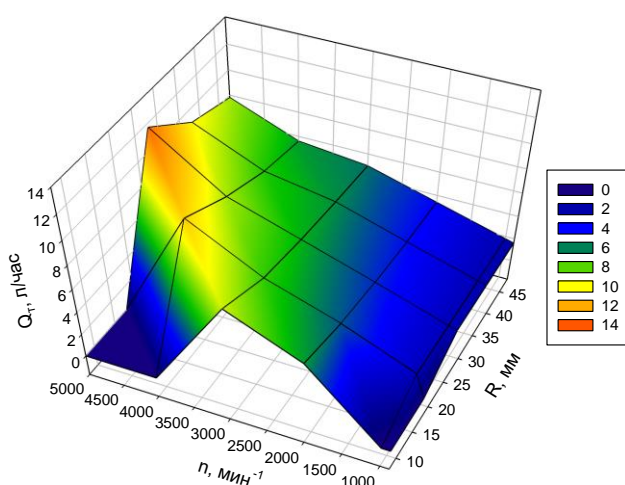


Рисунок 4.9 – Взаимосвязь величины расхода топлива Q_T , л/ч от величины эквивалентного сопротивления выпускной трубы R , мм и изменения частоты вращения коленчатого вала ДВС n , мин⁻¹

Следует отметить, что в этой точке можно развить максимально возможную мощность двигателя и обеспечить самый наибольший крутящий момент (рисунок 4.9). Хотя это может быть обеспечено при весомом перерасходе топлива. Дальнейшее увеличение сопротивления в выпускном тракте приводит к существенному снижению расхода топлива (резкий провал). Резкий провал заканчивается точкой, соответствующей R=20 мм. Дальнейшее увеличение сопротивления (до R=10 мм) сопровождается полной остановкой ДВС. Эта зона четко видна при R=10-15 мм.

Область, выделенная на графике красным цветом, представляет собой зону наибольшего расхода топлива и одновременно, зону наилучшего регулирования процесса смесеобразования (рисунок 4.9). Желтый и зеленый цвет графика характеризуют приемлемые условия работы двигателя, но с суще-

ственным перерасходом топлива в зоне максимальных сопротивлений выпускного тракта. Синим цветом обозначены зоны минимального расхода топлива, но в широких пределах варьирования входных параметров R и n , характеризуя не самые эффективные участки с точки зрения контроля часового расхода топлива. Снятие такого рода характеристик или отдельных срезов этих характеристик позволяет установить текущее состояние выпускного тракта двигателя и других его систем, что предлагается в качестве основного результата, полученного в ходе экспериментальной работы.

Используя модуль Nonlinear Regression приложения Sigma Plot для всего диапазона экспериментальных данных была проведена обработка, представленная в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Результаты регрессионного анализа по определению взаимосвязи величины расхода топлива Q_T , л/ч от величины эквивалентного сопротивления выпускной трубы R , мм и изменения частоты вращения коленчатого вала ДВС n , мин⁻¹

	Coefficient (Коэф.)	Standard Error of Estimate (Стандартная ошибка оценки)	t (Статистика коэф.)	P (Значение вероятности)
R (Коэф. корреляции)	0,7131	2,4919		
R ² (Коэф. линейно детерминации)	0,5085			
Adj R ² (Скорректированный R ²)	0,4298			
y ₀	-6,4822	2,5439	-2,5482	0,0174
a	0,3082	0,1556	1,9803	0,0588
b	0,0046	0,0015	2,9770	0,0064
c	-0,0047	0,0027	-1,7208	0,0976
d	-5,9202·10 ⁻⁷	2,6434·10 ⁻⁷	-2,2396	0,0343
Analysis of Variance (Дисперсионный анализ)				
	DF (Степень свободы)	SS (Сумма квадратов)	MS (Дисперсия на одну степень свободы)	
Regression (Регрессия)	5	665,7145	133,1429	
Residual (Остаточный)	25	155,2355	6,2094	
Total (Всего)	30	820,95	27,365	

Продолжение таблицы 4.6

Corrected for the mean of the observations (С поправкой на среднее из наблюдений)					
	DF (Степень свободы)	SS (Сумма квадратов)	MS (Дисперсия на одну степень свободы)	F (Наблюдае- мое значение статистики)	P (Зна- чение вероят- ности)
Regression (Ре- грессия)	4	160,5941	40,1485	6,4657	0,001
Residual (Оста- точный)	25	155,2355	6,2094		
Total (Всего)	29	315,8297	10,8907		

Как видно из таблицы 4.6, достоверность аппроксимации получилась достаточно низкой – $R^2 = 0,5$. Низкая достоверность аппроксимации данных объясняется широким диапазоном варьируемых входных величин при очень сложной картографии процесса. По сути, получена широкомасштабная топливная карта ДВС, для точности реализации которой нужно обеспечивать узкие сектора с более точной прорисовкой взаимосвязи. Но, так как регрессионный анализ предполагает слишком грубое осреднение, то приемлемой точности получить невозможно. Высокая экономичность и экологичность возможна только при рассмотрении узких секторов топливной карты (что и будет сделано выше), посекторная разбивка и группировка данных обработки эксперимента.

Зависимость, представленная на рисунке 4.9, может быть аппроксимирована квадратичным уравнением с достоверностью аппроксимации $R^2 = 0,5$, %:

$$Q_T = -6,482 + 0,308 \cdot R + 0,004 \cdot n - 0,004 \cdot R^2 - 5,92 \cdot 10^{-7} \cdot n^2, \quad (4.1)$$

где R – эквивалентное сопротивление выпускной трубы, мм; n – частота вращения коленчатого вала двигателя, мин^{-1} .

Так как обработка данных по методике регрессионного анализа показала низкую достоверность, то и уравнение регрессии имеет недостаточную точность для описания прецизионных процессов. То есть требуется, как и в случае с регрессионным анализом обработка отдельных секторов топливных карт.

В экспериментальной работе важно наряду с контролем расхода топлива наблюдать за изменением закономерности воздухоподачи также, как и с топливоподачей, карта расхода воздуха выглядит достаточно разветвленной и сложной. Попробуем по аналогии с топливоподачей обработать данные таблицы 4.5 для расхода воздуха и представить их графически на рисунке 4.10.

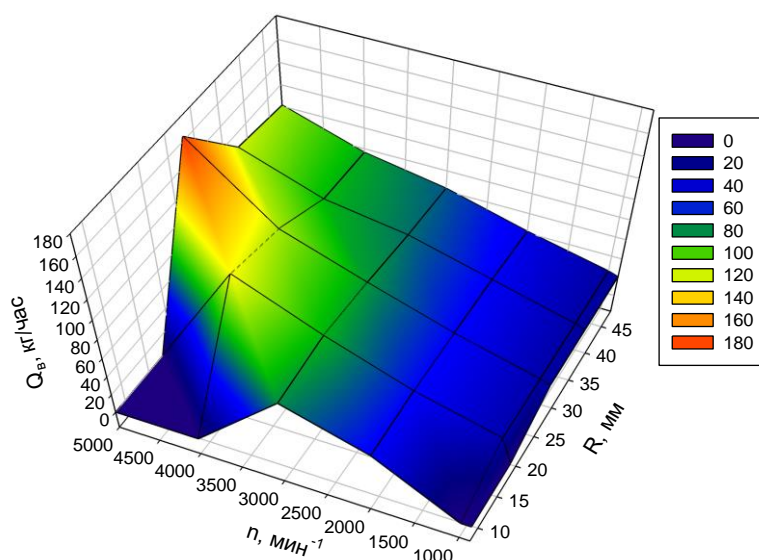


Рисунок 4.10 – Взаимосвязь величины расхода воздуха $Q_{в}$, кг/ч от величины эквивалентного сопротивления выпускной трубы R , мм и изменения частоты вращения коленчатого вала ДВС n , мин^{-1}

Графическая интерпретация карты процесса воздухоподачи представлена на рисунке 4.10. Из нее видно, что она во многом повторяет топливную карту и выглядит фактически эквивалентно ей. Анализ рисунка 4.10 показывает на наличие явного экстремума расхода воздуха в точке $R=30$ мм, для которой $Q_{в}$ получается равным около 165 кг/ч. Видно, что при максимальных частотах вращения коленчатого вала ДВС 4500-5000 мин^{-1} с уменьшением эквивалентного сечения выпускного тракта в начале наблюдается резкий рост расхода воздуха до точки, соответствующей $R=0$ мм, после чего наблюдается резкое падение $Q_{в}$ до предела работоспособности двигателя. В зоне $R=10-20$ мм наблюдается область предела работоспособности ДВС, где он работать не может. Область, отмеченная красным цветом, характеризуемая как пиковое значение воздухоподачи является зоной реализации максимального значения мощности и крутящего момента, но будет характеризоваться пониженной

экономичностью и экологичностью. Используя данную методику контроля расхода воздуха, можно с высокой точностью определить степень снижения эквивалентного сечения каталитического нейтрализатора. Область, отмеченная желтым цветом, характеризуется предпредельным расходом воздуха и уже указывает на наличие повышенного сопротивления в выпускном тракте. По сути, рост сопротивления на выпуске выступает как механизм нагружения двигателя дросселированием отработавших газов в конце технологической последовательности рабочих систем ДВС. Зеленая зона характеризуется приемлемым вариантом работоспособности и не требует дополнительных работ по выявлению причин изменения технического состава каталитического нейтрализатора. Зоны, обозначенные светло-синим цветом, могут характеризовать, как нормальное состояние системы выпуска, так и его предельное состояние, в зависимости от того, какой сектор карты процесса воздухоподачи мы рассматриваем. Но сектора, выделенные темно-синим цветом, характеризуют предел возможной работоспособности ДВС, где работа ДВС прекращается. Используя одновременно топливную карту и карту процесса воздухоподачи можно с высокой точностью определять техническое состояние выпускного тракта и других систем ДВС, находить границы нарушения правильности функционирования систем ДВС. В качестве основного вывода следует предложить методику тестового нагружения ДВС и контроль расхода воздуха для безразборного контроля отдельных систем ДВС.

Используя модуль Nonlinear Regression приложения Sigma Plot, для всего диапазона экспериментальных данных была проведена обработка, представленная в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Результаты регрессионного анализа по определению взаимосвязи величины расхода воздуха Q_B , кг/ч от величины эквивалентного сопротивления выпускной трубы R , мм и изменения частоты вращения коленчатого вала ДВС n , мин⁻¹

	Coefficient (Коэф.)	Standard Error of Estimate (Стандартная ошибка оценки)	t (Статистика коэф.)	P (Значение вероятности)	
R (Коэф. корреляции)	0,7483	29,5519			
R ² (Коэф. линейно детерминации)	0,5600				
Adj R ² (Скорректированный R ²)	0,4896				
y_0	-87,1272	30,1685	-2,888	0,0079	
a	4,779	1,8455	2,5895	0,0158	
b	0,0464	0,0182	2,5551	0,0171	
c	-0,0706	0,0322	-2,1887	0,0382	
d	-5,408·10 ⁻⁶	3,1349·10 ⁻⁶	-1,7251	0,0969	
Analysis of Variance (Дисперсионный анализ)					
	DF (Степень свободы)	SS (Сумма квадратов)	MS (Дисперсия на одну степень свободы)		
Regression (Регрессия)	5	102089,4865	20417,8973		
Residual (Остаточный)	25	21832,8535	873,3141		
Total (Всего)	30	123922,34	4130,7447		
Corrected for the mean of the observations (С поправкой на среднее из наблюдений)					
	DF (Степень свободы)	SS (Сумма квадратов)	MS (Дисперсия на одну степень свободы)	F (Наблюдаемое значение статистики)	P (Значение вероятности)
Regression (Регрессия)	4	27787,8532	6946,9633	7,9547	0,0003
Residual (Остаточный)	25	21832,8535	873,3141		
Total (Всего)	29	49620,7067	1711,0589		

При анализе данных таблицы 4.7 видно, что достоверность аппроксимации данных получилась очень низкая – $R^2 = 0,56$. Низкое значение достоверности аппроксимации данных можно объяснить одновременной обработкой в

приложении всего полигона экспериментальных точек карты воздухоподачи. Тогда, как обширная карта процесса воздухоподачи требует точной идентификации отдельных секторов. Сложно подобрать уравнение под взаимосвязь, имеющую множество перегибов и изломов, что требует применения моделей третьего и выше порядков. И то отдельные сектора будут описаны с низкой точностью, так как характеризуются слишком резкими изменениями процесса на малой протяженности временного процесса. Поэтому в дальнейшей обработке также, как и в случае с топливной картой предполагается посекторный анализ карты процесса расхода воздуха. Посекторный анализ позволит проанализировать отдельные экстремумы и узкие сектора, которые могут быть описаны с высокой достоверностью $R^2 = 0,9-0,99$ % квадратичными уравнениями.

Зависимость, представленная на рисунке 4.10, может быть аппроксимирована квадратичным уравнением с достоверностью аппроксимации $R^2 = 0,56$, %:

$$Q_B = -87,127 + 4,779 \cdot R + 0,046 \cdot n - 0,07 \cdot R^2 - 5,408 \cdot 10^{-6} \cdot n^2, \quad (4.2)$$

где R – эквивалентное сопротивление выпускной трубы, мм; n – частота вращения коленчатого вала двигателя, мин^{-1} .

Низкая достоверность аппроксимации данных не позволяет получить приемлемую точность описания всего полигона экспериментальных данных и поэтому данное уравнение не может быть использовано для надежного описания картографии воздухоподачи [12]. Но посекторальная обработка данных позволит получить высокоточное уравнение регрессии.

Для выявления степени влияния других факторов, таких как степень износа цилиндропоршневой группы и изменения частоты вращения коленчатого вала ДВС был подготовлен план эксперимента, включающий матрицу последующей реализации опытов, выполняемых строго по стандартной методологии многофакторного эксперимента. Технически был подготовлен двухфакторный эксперимент, выбраны пределы варьирования входных показателей: степень износа цилиндропоршневой группы варьировала в пределах 14-32 % (оценка степени износа производилась методом продувки цилиндров) и частота вращения коленчатого вала двигателя, варьируемая в пределах 1500-3200 мин^{-1} . Реализация опытов начиналась с минимального значения износа

цилиндропоршневой группы $Z = 14 \%$. При этом последовательно реализовывались опыты с установкой частоты вращения коленчатого вала ДВС 1500, 2000, 2500, 3000 и 3200 мин⁻¹. Последующая реализация опытов производилась при установке промежуточного значения степени износа цилиндропоршневой группы $Z = 23 \%$. Вариация степени износа Z внутри диапазона составила 9 %. Вариация диапазона в 9 % выбрана с учетом возможности охвата всего диапазона степени износа от минимально возможного до предельного, установленного заводом изготовителем в качестве выбраковочного для ДВС. При выборе степени износа цилиндропоршневой группы $Z = 23 \%$ последовательно реализовывались опыты с пятью значениями частоты вращения коленчатого вала ДВС. И на третьем этапе устанавливалось значение износа ЦПГ $Z = 32 \%$ (предельное значение). Для этого значения $Z = 32 \%$ последовательно реализовывались опыты с вариацией частоты вращения от 1500 до 3200 мин⁻¹. Всего по предлагаемому плану эксперимента было реализовано 15 опытов, каждый опыт в трехкратной повторности. Выходными показателями выступали часовой расход топлива Q_T л/ч и массовый расход воздуха Q_B , кг/ч. Реализуемое значение выходных показателей Q_T и Q_B , реализованное в трехкратной повторности усреднялось, и средняя величина регистрируемого параметра заносилась в итоговую таблицу 4.8.

Таблица 4.8 – Результаты экспериментальных исследований по контролю выходных данных Q_B , Q_T при вариации входных параметров Z и n

Z , % износ цилиндропоршневой группы	n , мин ⁻¹	Q_T , л/ч	Q_B , кг/ч
14	1500	5,6	73,1
14	2000	8,5	98,6
14	2500	10,8	133,1
14	3000	13,3	160
14	3200	15,2	179,4
23	1500	6,7	80,1
23	2000	9,6	109,7
23	2500	12,9	146,8
23	3000	15,8	184,7
23	3200	18,9	215
32	1500	7,2	86,1
32	2000	10,1	116,8
32	2500	13,6	159,1
32	3000	16,7	196,5
32	3200	19,9	228

На основании таблицы 4.8 был построен трехмерный график взаимосвязи величины расхода топлива Q_T , л/ч от износа цилиндропоршневой группы Z , % и изменения частоты вращения коленчатого вала ДВС n , мин⁻¹ (рисунок 4.11).

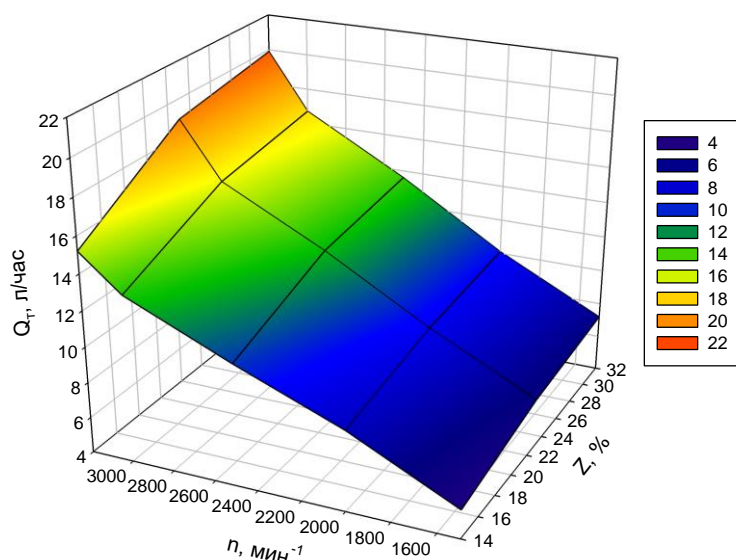


Рисунок 4.11 – Взаимосвязь величины расхода топлива Q_T , л/ч от износа цилиндропоршневой группы Z , % и изменения частоты вращения коленчатого вала ДВС n , мин⁻¹

Анализ данных на рисунке 4.11 показывает, что существенно значимая связь образуется между частотой вращения коленчатого вала и параметром Q_T . В диапазоне 1500-3000 мин⁻¹ наблюдается фактически линейный рост показателя Q_T . В диапазоне же 3000-3200 мин⁻¹ наблюдается резкий излом в сторону более динамичного роста Q_T . Существенная динамика роста связана с приростом мощности механических потерь и ограничением максимума частот вращения коленчатого вала ДВС.

Влияние же степени износа цилиндропоршневой группы менее динамичное по сравнению с параметром n , но легко распознаваемое при мельчайших изменениях степени износа ЦПГ. Так, например, в точке $n=1500$ мин⁻¹ часовой расход топлива Q_T с ростом износа от 14 до 32 % изменяется в пределах от 5,6 до 7,2 л/ч, при чем в начальной стадии формирования износа ЦПГ динамика роста расхода часового расхода топлива гораздо больше по сравнению с большими износами в конце диапазона [13]. То же самое обнаруживается в точке $n = 3200$ мин⁻¹. Видно, что вначале износа ЦПГ динамика

роста расхода топлива происходит более интенсивно от 15,2 до 18,9 л/ч. Последующий рост степени износа ЦПГ от 23-32 % сопровождается меньшей прибавкой часового расхода топлива Q_T от 18,9 до 19,9 л/ч. Проведенный анализ рисунка 1 показывает на возможность эффективного контроля изменения технического состояния цилиндропоршневой группы в широких пределах варьирования степени износа ЦПГ от минимальных значений до предельных установленных производителем. Контроль частоты вращения коленчатого вала в данном эксперименте выступает как тестовый диапазон контрольных точек, фиксируемых с целью точного определения технического состояния ЦПГ.

Для возможности более тщательного анализа степени изменения Q_T проведем регрессионный анализ данных таблицы 4.8. В результате обработки была получена исходная (таблица 4.9).

Таблица 4.9 – Результаты регрессионного анализа по определению взаимосвязи величины расхода топлива Q_T , л/ч от износа цилиндропоршневой группы Z , % и изменения частоты вращения коленчатого вала ДВС n , мин⁻¹

	Coefficient (Коэф.)	Standard Error of Estimate (Стандартная ошибка оценки)	t (Статистика коэф.)	P (Значение вероятности)
R (Коэф. корреляции)	0,9888	0,7829		
R ² (Коэф. линейно детерминации)	0,9778			
Adj R ² (Скорректированный R ²)	0,9689			
y_0	-5,728	4,5018	-1,2724	0,232
a	0,5485	0,2451	2,2383	0,0491
b	0,0016	0,0033	0,4798	0,6417
c	-0,0085	0,0053	-1,6092	0,1387
d	$1,0318 \cdot 10^{-6}$	$6,9208 \cdot 10^{-7}$	1,4909	0,1668
Analysis of Variance (Дисперсионный анализ)				
	DF (Степень свободы)	SS (Сумма квадратов)	MS (Дисперсия на одну степень свободы)	
Regression (Регрессия)	5	2546,0713	509,2143	
Residual (Остаточный)	10	6,1287	0,6129	
Total (Всего)	15	2552,2	170,1467	

Продолжение таблицы 4.9

Corrected for the mean of the observations (С поправкой на среднее из наблюдений)					
	DF (Степень свободы)	SS (Сумма квадратов)	MS (Дисперсия на одну степень свободы)	F (Наблюда- емое значе- ние стати- стики)	P (Зна- чение вероят- ности)
Regression (Ре- грессия)	4	269,3353	67,3338	109,8657	<0,0001
Residual (Оста- точный)	10	6,1287	0,6129		
Total (Всего)	14	275,464	19,676		

Из таблицы 4.9 видно, что R^2 и соответственно достоверность обработки данных, находятся на предельно высоком уровне и составляют 0,97 %, что говорит о высокой степени соответствия подобранного уравнения под анализируемую взаимосвязь. По результатам таблицы 4.9 и с учетом зависимости, представленной на рисунке 4.11, можно записать квадратичное уравнение с достоверностью аппроксимации $R^2 = 0,97$ %:

$$Q_T = -5,728 + 0,5485 \cdot Z + 0,001 \cdot n - 0,008 \cdot Z^2 + 1,031 \cdot 10^{-6} \cdot n^2, \quad (4.3)$$

где Z – износ цилиндропоршневой группы, %; n – частота вращения коленчатого вала двигателя, мин⁻¹.

Подставляя любые данные из текущих диапазонов Z и n можно определить текущее значение выходного параметра Q_T . Используя полученное уравнение регрессии (4.3), можно с высокой точностью определить степень износа цилиндропоршневой группы, используя при этом сигнал с датчиком массового расхода воздуха.

Вторым очень важным параметром является массовый расход воздуха Q_B . Надо сказать, что Q_B и Q_T тесно связаны между собой через коэффициент избытка воздуха и различные режимы работы двигателя. Так, например, коэффициент избытка воздуха современных автотранспортных средств может меняться в пределах от 0,7 до 3. Режим работы двигателя так же влияет на баланс воздухоподдачи и топливоподдачи, например, на пусковом режиме обеспечивается богатая топливно-воздушная смесь при $\alpha = 0,7-0,8$. Может быть сформирована оптимальная топливно-воздушная смесь при $\alpha = 1$, или бедная смесь, реализуемая на экономичных режимах при $\alpha = 1,3-3$.

По данным таблицы 4.8 построим трехмерную зависимость величины воздуха топлива Q_B , кг/ч от износа цилиндропоршневой группы Z , % и изменения частоты вращения коленчатого вала ДВС n , мин⁻¹ (рисунок 4.12).

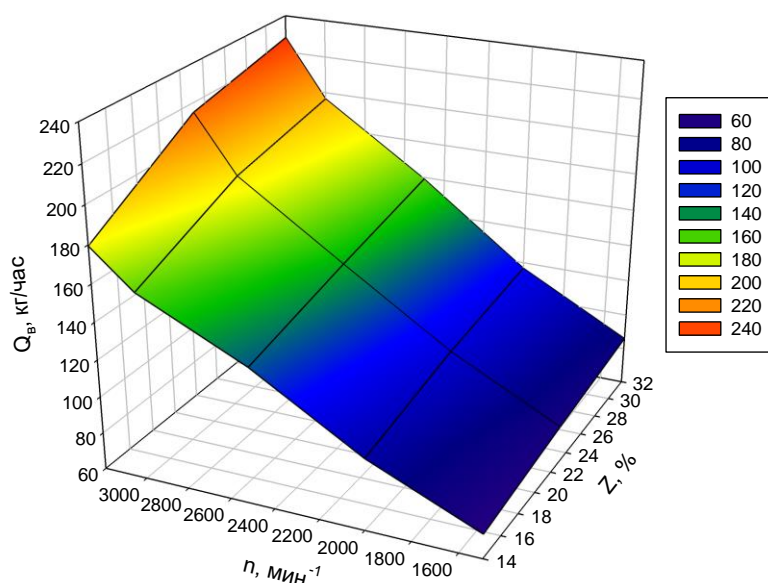


Рисунок 4.12 – Взаимосвязь величины расхода воздуха Q_B , кг/ч от износа цилиндропоршневой группы Z , % и изменения частоты вращения коленчатого вала ДВС n , мин⁻¹

Из рисунка 4.12 видно, что частота вращения коленчатого вала ДВС существенно влияет на увеличение параметра Q_B . При минимальной степени износа цилиндропоршневой группы $Z = 14$ % видно, что Q_B увеличивается с 73,1 до 179,4 кг/ч. То есть расход воздуха возрастает более чем в 2,5 раза. При максимальной степени износа цилиндропоршневой группы $Z = 32$ % Q_B возрастает с 86,1 до 228 кг/ч, что так же показывает на более чем двукратную разность. Надо сказать, что график зависимости Q_B при изменении значения n изменяется линейно (в диапазоне 1500-3000 мин⁻¹). Но обнаруживается нарушение линейности в диапазоне 3000-3200 мин⁻¹, где тангенс угла наклона гораздо больше по сравнению с предыдущими участками. Кроме того, увеличение степени износа цилиндропоршневой группы приводит к заметному увеличению величины расхода воздуха на этих же режимных точках. Это говорит о том, что при больших износах ЦПГ требуется большее количество воздуха для поддержания работоспособного состояния цилиндра. Заметно, что вначале характеристики износа ЦПГ наблюдается более высокая динамика изменения Q_B . Так Q_B при изменении Z от 14 до 23 % при $n=1200$

мин⁻¹ изменяется от 179,4 до 215 кг/ч, обеспечивает более высокую динамику прироста Q_В. На последующем участке при изменении Z от 23 до 32% Q_В возрастает менее динамично в пределах от 215 до 228 кг/ч. Используя полученный полигон данных, можно с высокой точностью определять техническое состояние ЦПГ на любой стадии эксплуатации, одновременный контроль показателей Q_В и Q_Т позволяет безошибочно с высокой однозначностью идентифицировать техническое состояние любого отдельного цилиндра.

После того, как была получена графическая интерпретация взаимосвязи Q_В с входными параметрами Z и n, необходимо провести регрессионный анализ и определить общее уравнение, описывающее эту взаимосвязь. Для чего в прикладном пакете Sigma Plot была проведена обработка данных таблицы 4.8 и получены результаты, представленные в таблице 4.10.

Таблица 4.10 – Результаты регрессионного анализа по определению взаимосвязи величины расхода воздуха Q_В, кг/ч от износа цилиндропоршневой группы Z, % и изменения частоты вращения коленчатого вала ДВС n, мин⁻¹

	Coefficient (Коэф.)	Standard Error of Estimate (Стандартная ошибка оценки)	t (Статистика коэф.)	P (Значение вероятности)
R (Коэф. корреляции)	0,9913	7,7532		
R ² (Коэф. линейно детерминации)	0,9827			
Adj R ² (Скорректированный R ²)	0,9758			
y ₀	-27,4602	44,5843	-0,6159	0,5517
a	3,9606	2,427	1,6319	0,1337
b	0,0113	0,0326	0,3465	0,7361
c	-0,0517	0,0524	-0,9867	0,3471
d	1,3148·10 ⁻⁵	6,8541·10 ⁻⁶	1,9182	0,0841
Analysis of Variance (Дисперсионный анализ)				
	DF (Степень свободы)	SS (Сумма квадратов)	MS (Дисперсия на одну степень свободы)	
Regression (Регрессия)	5	347268,3662	69453,6732	
Residual (Остаточный)	10	601,1138	60,1114	
Total (Всего)	15	347869,48	23191,2987	

Продолжение таблицы 4.10

Corrected for the mean of the observations (С поправкой на среднее из наблюдений)					
	DF (Степень свободы)	SS (Сумма квадратов)	MS (Дисперсия на одну степень свободы)	F (Наблюдае- мое значение статистики)	P (Зна- чение вероят- ности)
Regression (Ре- грессия)	4	34209,0995	8552,2749	142,2738	<0,0001
Residual (Оста- точный)	10	601,1138	60,1114		
Total (Всего)	14	34810,2133	2486,4438		

Обработка данных относительно параметра Q_B показала на высокую достоверность аппроксимации данных ($R^2 = 0,98$). В результате регрессионного анализа и в соответствии с рисунком 4.12 было получено квадратичное уравнение с достоверностью аппроксимации $R^2 = 0,98$ %:

$$Q_B = -27,46 + 3,96 \cdot Z + 0,011 \cdot n - 0,051 \cdot Z^2 + 1,314 \cdot 10^{-5} \cdot n^2, \quad (4.4)$$

где Z – износ цилиндропоршневой группы, %; n – частота вращения коленчатого вала двигателя, мин^{-1} .

Полученное уравнение может быть использовано для контроля степени износа цилиндропоршневой группы косвенно по выходному параметру Q_B . Большой вес коэффициентов уравнения регрессии показывает на высокую чувствительность Q_B к изменению Z и n , причем контрольные точки при различных значениях n могут являться тестовыми точками, позволяющими конкретно идентифицировать степень износа ЦПГ любого цилиндра. Реализуя данные тестового режима, можно встроенными средствами тестового контроля в любой момент эксплуатации определить текущее состояние ЦПГ.

Помимо того, что идентифицирована высокая степень влияния частоты вращения коленчатого вала ДВС на выходные параметры Q_B и Q_T , также существенное влияние может оказывать и нагрузка, причем варьируя нагрузочные режимы в широких пределах, можно гораздо более полное загрузить одиночные цилиндры при реализации тестового метода. Если частота вращения коленчатого вала позволяет только последовательно перебирать устойчивые состояния при различных сочетаниях факторов, то изменение нагрузки может идентифицировать пределы работоспособности отдельных цилиндров

ДВС и, кроме того, позволяет их сопоставить между собой. Таким образом, возникла необходимость проведения многофакторного эксперимента, с учетом уже используемых величин Z и n , был введен дополнительный параметр нагрузка P в %. Однако нагрузка P представляется не в классическом представлении, как нагружение на специальном нагрузочном стенде, а поцикловое отключение одного оставшегося в работе цилиндра, который подвергается процессу диагностирования. Нагрузка, соответствующая $P = 0,11$ % показывает, что из девяти последовательных импульсов топливоподачи отключен один импульс. $P = 0,125$ % говорит о выключении одного из восьми последовательно идущих импульсов топливоподачи. Заканчивается процесс нагружения вариантом выключения каждого второго рабочего импульса в форсунке, что формирует предельный режим нагружения, при котором двигатель перестает функционировать и глохнет.

Далее были реализованы экспериментальные исследования, в которых за входные показатели принимались: износ цилиндропоршневой группы Z , % и нагрузка на один оставшийся цилиндр P , %. В качестве выходных параметров контролировались значения частоты вращения коленчатого вала ДВС n , мин^{-1} , часового расхода топлива Q_T , л/ч и массового расхода воздуха Q_B , кг/ч. Износ цилиндропоршневой группы оценивался методом продувки цилиндров при использовании прибора К-69. Нагрузка P , % обеспечивалась отключением отдельных импульсов при работе одного оставшегося в работе цилиндра. Всего было проведено 24 опыта при вариации степени износа цилиндра от 14 до 32 % с интервалом варьирования 9 % между отдельными попытками. Каждый опыт реализовывался в трехкратной повторности. Нагрузка P , % изменялась в 8 разных вариантах, начиная с отключения одного импульса из девяти и заканчивая отключением каждого второго импульса. Данная нагрузка изменялась плавно без рывков и остановок, но правильность выключения отдельных импульсов оценивалась осциллографом, подключенном в цепь форсунки от тестового прибора – догрузателя двигателя. Все 24 опыта снимались последовательно, начиная с минимального износа цилиндра $Z = 14\%$. Про этом в восьми последовательных опытах добавлялось отключение дополнительных импульсов, после чего записывались выходные данные n , мин^{-1} , Q_T , л/ч, Q_B , кг/ч.

После реализации отдельных экспериментов все цифровые значения были занесены в таблицу 4.11 в последовательности реализации плавного нагружения до предельно возможного.

Таблица 4.11 – Результаты экспериментальных исследований по контролю выходных данных Q_B , Q_T при вариации входных параметров P , Z и n

Z , % износ цилиндрической группы	P , %	n , мин ⁻¹	Q_T , л/ч	Q_B , кг/ч
14	0,1111	3960	30,7	281,4
14	0,125	3920	30,6	276,2
14	0,1429	3840	29,2	267,3
14	0,1667	3710	27,1	256,4
14	0,2	3460	24,2	234,7
14	0,25	2930	19,9	202,3
14	0,3333	2440	14,3	163,2
14	0,5	1820	8,6	104,1
23	0,1111	3560	26,3	265,1
23	0,125	3520	25,6	258,2
23	0,1429	3460	24,4	247,9
23	0,1667	3310	21,7	233,4
23	0,2	3110	18,4	208,9
23	0,25	2660	14,4	178,1
23	0,3333	2140	10,1	139,2
23	0,5	1510	5,6	87,1
32	0,1111	2920	21,5	210,5
32	0,125	2840	21,1	205,3
32	0,1429	2720	19,7	194,4
32	0,1667	2500	17,4	169,2
32	0,2	1940	13,4	136,1
32	0,25	1340	9,1	95,2
32	0,3333	0	0	0
32	0,5	0	0	0

Проведем обработку экспериментальных данных, используя стандартный прикладной пакет обработки данных Sigma Plot. Применим математический аппарат регрессионного анализа с оценкой весомости отдельных коэффициентов регрессии и отбраковки малозначимых коэффициентов.

По результатам обработки данных таблицы 4.11 был получен трехмерный график, представленный на рисунке 4.13.

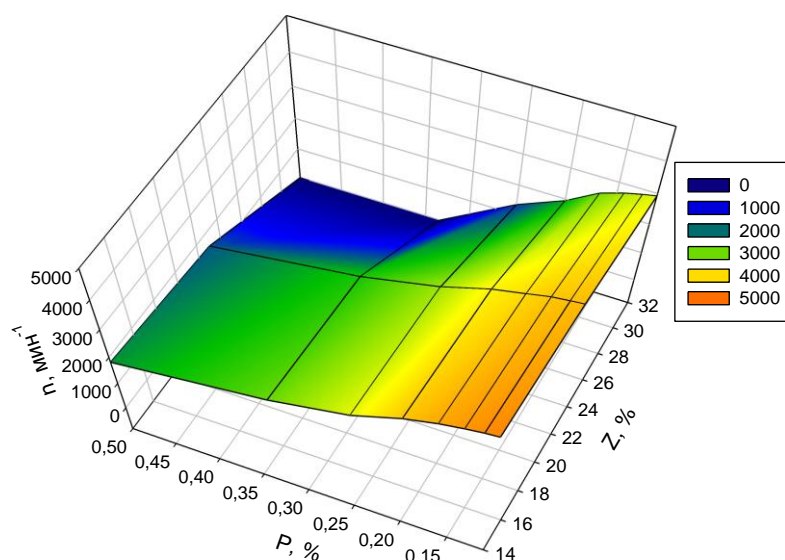


Рисунок 4.13 – Взаимосвязь изменения частоты вращения коленчатого вала ДВС n , мин^{-1} от износа цилиндропоршневой группы Z , % и величины нагрузки (степени отключения импульсов системы подачи топлива) P , %

Анализ данных рисунка 4.13 показывает, что последовательное нагружение отдельных цилиндров вызывает уменьшение частоты вращения коленчатого вала ДВС с 3960 мин^{-1} до 1820 мин^{-1} при $Z = 14 \%$. При увеличении степени износа цилиндропоршневой группы до 23 и 32 % происходит уменьшение частот вращения коленчатого вала ДВС, так при 23 % с ростом нагружения выходная частота вращения коленчатого вала ДВС меняется с $n = 3560$ до 1510 мин^{-1} . Испытание, проводимое при степени износа $Z = 32 \%$, показали еще большее снижение частоты вращения с $n = 2920$ до 0 мин^{-1} . То есть двигатель останавливается при данном нагружении не преодолевая задаваемую предельную нагрузку.

На графике (рисунок 4.13) предел работоспособности выделен синим цветом, что говорит о проблемах работоспособности современных ЦПГ. Безыносная зона при $Z = 14 \%$ и минимальном нагружении характеризуется

самым высоким значением выходной частоты вращения коленчатого вала ДВС. Так, при $Z = 14\%$ нагружение нагрузкой $P = 0,11\%$ на выходе дает 3960 мин^{-1} . При $Z = 23\%$, нагружение при $P = 0,11\%$ дает существенное снижение частоты вращения коленчатого вала ДВС до 3560 мин^{-1} . И вариант экспериментальной точки при $Z = 23\%$ и $P = 0,11\%$ дает результат 2920 мин^{-1} . То есть с ростом степени износа ЦПГ частота вращения снижается с 3960 мин^{-1} до 2920 мин^{-1} , то есть на 1040 мин^{-1} . Частота вращения коленчатого вала двигателя обнаруживает существенную чувствительность: на каждый процент износа приходится $57,7 \text{ мин}^{-1}$ на 1% износа ЦПГ.

На основании данных таблицы 4.11 проведем обработку данных в приложении Sigma Plot и представим ее в таблице 4.12.

Таблица 4.12 – Результаты регрессионного анализа по определению взаимосвязи изменения частоты вращения коленчатого вала ДВС n , мин^{-1} от износа цилиндропоршневой группы Z , $\%$ и величины нагрузки (степени отключения импульсов системы подачи топлива) P , $\%$

	Coefficient (Коэф.)	Standard Error of Estimate (Стандартная ошибка оценки)	t (Статистика коэф.)	P (Значение вероятности)
R (Коэф. корреляции)	0,9736	277,9052		
R ² (Коэф. линейно детерминации)	0,9479			
Adj R ² (Скорректированный R ²)	0,937			
y ₀	4656,572	790,7338	5,8889	<0,0001
a	137,9784	68,7739	2,0063	0,0593
b	-14055,3669	2494,887	-5,6337	<0,0001
c	-4,784	1,4856	-3,2201	0,0045
d	12193,9441	4078,2592	2,99	0,0075
Analysis of Variance (Дисперсионный анализ)				
	DF (Степень свободы)	SS (Сумма квадратов)	MS (Дисперсия на одну степень свободы)	
Regression (Регрессия)	5	195311505,1215	39062301,0243	
Residual (Остаточный)	19	1467394,8785	77231,3094	
Total (Всего)	24	196778900	8199120,8333	

Продолжение таблицы 4.12

Corrected for the mean of the observations (С поправкой на среднее из наблюдений)					
	DF (Степень свободы)	SS (Сумма квадра- тов)	MS (Дисперсия на одну степень свободы)	F (Наблю- даемое значе- ние ста- истики)	P (Значе- ние веро- ятности)
Regression (Ре- грессия)	4	26718500,9548	6679625,2387	86,4886	<0,0001
Residual (Оста- точный)	19	1467394,8785	77231,3094		
Total (Всего)	23	28185895,8333	1225473,7319		

При обработке данных получены коэффициенты уравнения регрессии, с учетом их значимости и веса [14]. Как видно из таблицы 4.12, было выбрано квадратичное уравнение с четырьмя коэффициентами регрессии, учтены знаки при коэффициентах регрессии и выбраны самые значимые из них. Как видно, наибольший вклад дают коэффициенты первого порядка. Но и коэффициенты второго порядка принимают весомые значения и остаются в уравнении регрессии, кроме того, в таблице приведена достоверность аппроксимации данных, основная статистика данных, вероятностные показатели.

Зависимость, представленная на рисунке 4.13 с учетом данных в таблице 4.12, может быть аппроксимирована квадратичным уравнением с достоверностью аппроксимации $R^2 = 0,94$ %:

$$n = 4656,572 + 137,978 \cdot Z - 14055,366 \cdot P - 4,784 \cdot Z^2 + 12193,944 \cdot P^2, \quad (4.5)$$

где Z – износ цилиндропоршневой группы, %; P – величина нагрузки (степени отключения импульсов системы подачи топлива), %.

Полученное уравнение регрессии с высокой точностью описывает процесс изменения частоты вращения коленчатого вала при варьировании входных параметров Z и P . Используя полученное уравнение 4.5, для выбранных пределов варьирования Z и P в эксплуатации можно получить значение n для всех возможных комбинаций, это позволяет по изменению частоты вращения коленчатого вала на тестовом режиме определить техническое состояние ЦПГ и выполнить отбраковку если это требуется.

На основании данных таблицы 4.11 проведем анализ полученных результатов и построим трехмерный график зависимости Q_T , л/ч от P и Z (рисунок 4.14).

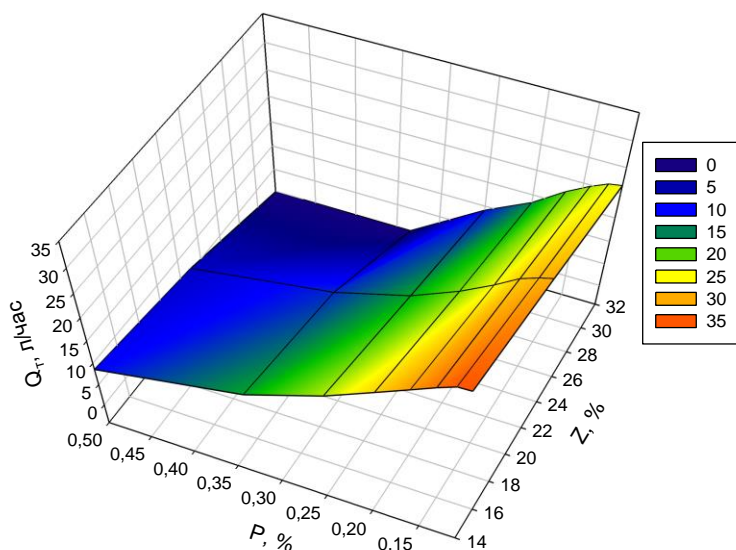


Рисунок 4.14 – Взаимосвязь величины расхода топлива Q_T , л/ч от износа цилиндропоршневой группы Z , % и величины нагрузки (степени отключения импульсов системы подачи топлива) P , %

На рисунке 4.14 видно, что с увеличением нагрузки расход топлива Q_T снижается так, например, при $Z = 23\%$ и минимальной нагрузке $Q_T = 30,7$ л/ч, а при максимальной нагрузке $0,5\%$ $Q_T = 8,6$ л/ч. Однако значительные изменения наблюдаются при росте величины износа ЦПГ $Z = 32\%$. Видно, что при минимальной нагрузке $P = 0,11\%$ $Q_T = 21,5$ л/ч, в то время как при максимальной нагрузке $P = 0,5\%$ двигатель глохнет и не поддерживает устойчивую работу. Причем остановка ДВС происходит еще при нагрузке $P = 0,33\%$. Таким образом, снимая характеристики изменения Q_T в процессе эксплуатации можно с высокой точностью определить степень износа ЦПГ и сделать выводы о дальнейшей безаварийной и эффективной работы ДВС.

Проведем обработку данных, представленных в таблице 4.11, относительно параметра Q_T и представим полученную статистику в виде таблицы 4.13.

Таблица 4.13 – Результаты регрессионного анализа по определению взаимосвязи величины расхода топлива Q_T , л/ч от износа цилиндропоршневой группы Z , % и величины нагрузки (степени отключения импульсов системы подачи топлива) P , %

	Coefficient (Коэф.)	Standard Error of Estimate (Стандартная ошибка оценки)	t (Статистика коэф.)	P (Значение вероятности)	
R (Коэф. корреляции)	0,9927	1,1898			
R ² (Коэф. линейно детерминации)	0,9855				
Adj R ² (Скорректированный R ²)	0,9825				
y ₀	52,4702	3,3854	15,499	<0,0001	
a	-0,3522	0,2944	-1,196	0,2464	
b	-144,2858	10,6815	-13,508	<0,0001	
c	-0,0048	0,0064	-0,7521	0,4612	
d	140,2007	17,4604	8,0296	<0,0001	
Analysis of Variance (Дисперсионный анализ)					
	DF (Степень свободы)	SS (Сумма квадратов)	MS (Дисперсия на одну степень свободы)		
Regression (Регрессия)	5	9652,3728	1930,4746		
Residual (Остаточный)	19	26,8972	1,4156		
Total (Всего)	24	9679,27	403,3029		
Corrected for the mean of the observations (С поправкой на среднее из наблюдений)					
	DF (Степень свободы)	SS (Сумма квадратов)	MS (Дисперсия на одну степень свободы)	F (Наблюдаемое значение статистики)	P (Значение вероятности)
Regression (Регрессия)	4	1829,5024	457,3756	323,0868	<0,0001
Residual (Остаточный)	19	26,8972	1,4156		
Total (Всего)	23	1856,3996	80,713		

Из таблицы 4.13 видно, что достоверность обработки данных достигает очень высоких значений – $R^2 = 0,98$ %, кроме того, в таблице 4.13 приведены данные регрессионного анализа с расчетными коэффициентами регрессии. Анализ величин отдельных коэффициентов регрессии показал на их достаточную весомость и значимость. Кроме того, в таблице 4.13 представлен

дисперсионный анализ и вся основная статистика с учетом вероятности возникновения события.

Зависимость, представленная на рисунке 4.14, и данные таблицы 4.13 могут быть аппроксимированы квадратичным уравнением с $R^2 = 0,98$, %:

$$Q_T = 52,47 - 0,352 \cdot Z - 144,285 \cdot P - 0,004 \cdot Z^2 + 140,2 \cdot P^2, \quad (4.6)$$

где Z – износ цилиндропоршневой группы, %; P – величина нагрузки (степени отключения импульсов системы подачи топлива), %.

Используя уравнение 4.6, можно с высокой точностью определять техническое состояние ЦПГ с учетом вариации входных параметров в пределах выбранного диапазона. Показатель Q_T довольно легко измеряется штатными средствами встроенного контроля и в любой момент времени может быть проконтролирован при формировании тестовых режимов. Тестовые режимы могут быть реализованы на неподвижном автомобиле путем реализации встроенных алгоритмов реализации диагностических программ. Запуская автоматизированный процесс диагностирования по полученному расходу топлива в контрольных точках с учетом показателей n , мин^{-1} и Q_B , кг/ч , можно с высокой точностью идентифицировать техническое состояние ЦПГ и других систем ДВС.

На основании данных таблицы 4.11 построим трехмерную зависимость показателя Q_B от износа ЦПГ Z , % и нагрузки P , % (рисунок 4.15).

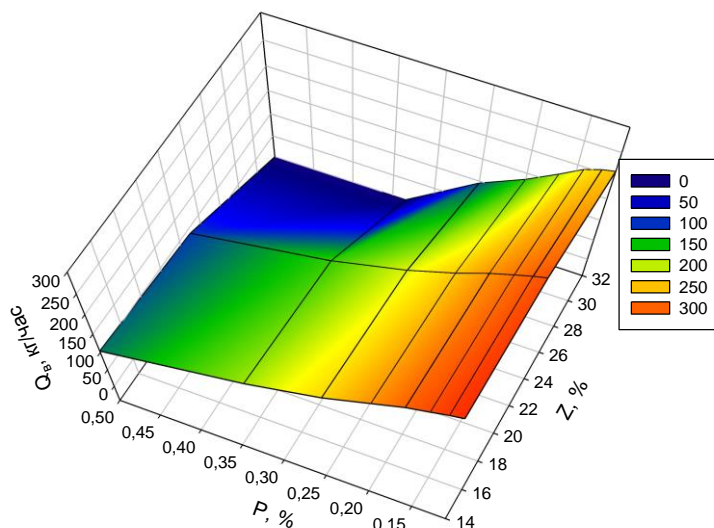


Рисунок 4.15 – Взаимосвязь величины расхода топлива $Q_{в}$, кг/ч от износа цилиндропоршневой группы Z , % и величины нагрузки (степени отключения импульсов системы подачи топлива) P , %

Как видно из рисунка 4.15, зависимость имеет возрастающий характер, резко поднимаясь вверх при минимальной степени нагружения цилиндра. С ростом нагрузки расход воздуха уменьшается, так как приходится преодолевать увеличивающиеся механические потери. Проведем анализ данных рисунка 4.15, из которого видно, что при $Z = 14$ % при минимальной нагрузке $P = 0,11$ % значение $Q_{в}$ максимально и составляет 281,4 кг/ч. Максимальное же нагружение до $P = 0,5$ % приводит к снижению $Q_{в}$ до значения – 104,1 кг/ч.

Увеличение степени износа ЦПГ до 32% приводит к существенному уменьшению значений $Q_{в}$. Так, при минимальном нагружении $P = 0,11$ % значение $Q_{в}$ составляет 210,5 кг/ч. Максимальная же нагрузка до 0,5% приводит к невозможности работы цилиндра. Причем предел работоспособности наступает при $P = 0,33$ %. Показатель $Q_{в}$ наряду с уже описанными параметрами n и $Q_{т}$ является чувствительным критерием наценки технического состояния ЦПГ и двигателя в целом. В эксплуатации данный параметр легко контролируется встроенными средствами диагностирования и может сохраняться длительное время для возможности и сравнения с текущими значениями при эксплуатации.

Проведем обработку данных, представленных в таблице 4.11, и сведем полученные результаты в таблицу 4.14.

Таблица 4.14 – Результаты регрессионного анализа по определению взаимосвязи величины расхода топлива Q_B , кг/ч от износа цилиндропоршневой группы Z , % и величины нагрузки (степени отключения импульсов системы подачи топлива) P , %

	Coefficient (Коэф.)	Standard Error of Estimate (Стандартная ошибка оценки)	t (Статистика коэф.)	P (Значение вероятности)	
R (Коэф. корреляции)	0,9836	16,0366			
R ² (Коэф. линейно детерминации)	0,9674				
Adj R ² (Скорректированный R ²)	0,9605				
y ₀	333,7315	45,6296	7,3139	<0,0001	
a	10,2183	3,9686	2,5748	0,0186	
b	-1105,0855	143,9684	-7,6759	<0,0001	
c	-0,3391	0,0857	-3,9557	0,0008	
d	971,1714	235,3374	4,1267	0,0006	
Analysis of Variance (Дисперсионный анализ)					
	DF (Степень свободы)	SS (Сумма квадратов)	MS (Дисперсия на одну степень свободы)		
Regression (Регрессия)	5	956918,4693	191383,6939		
Residual (Остаточный)	19	4886,2907	257,1732		
Total (Всего)	24	961804,76	40075,1983		
Corrected for the mean of the observations (С поправкой на среднее из наблюдений)					
	DF (Степень свободы)	SS (Сумма квадратов)	MS (Дисперсия на одну степень свободы)	F (Наблюдаемое значение статистики)	P (Значение вероятности)
Regression (Регрессия)	4	145036,7343	36259,1836	140,9913	<0,0001
Residual (Остаточный)	19	4886,2907	257,1732		
Total (Всего)	23	149923,025	6518,3924		

Анализ таблицы 4.14 показывает на высокую достоверность обработки полученных данных, R² при обработке данных составил 0,96%. При обработке данных получены коэффициенты уравнения регрессии, которые характеризуют изменения зависимостей включительно до второго порядка, все коэффициенты верифицированы, имеют существенный вес и поэтому записаны

в уравнение регрессии для дальнейшего нахождения параметра Q_B . Кроме того, проведем дисперсионный анализ, рассчитаны основные статистические показатели и вероятностные характеристики процесса изменения подачи воздуха.

Зависимость, представленная на рисунке 4.15 с учетом таблицы 4.14, может быть аппроксимирована квадратичным уравнением с достоверностью аппроксимации $R^2 = 0,96 \%$:

$$Q_B = 333,731 + 10,218 \cdot Z - 1105,085 \cdot P - 0,339 \cdot Z^2 + 971,171 \cdot P^2, \quad (4.7)$$

где Z – износ цилиндропоршневой группы, %; P – величина нагрузки (степени отключения импульсов системы подачи топлива), %.

Полученное уравнение регрессии позволяет с учетом значительной вариации входных параметров в любой момент времени эксплуатации определить текущее значение параметра Q_B . Точное значение Q_B на выбранном тестовом режиме позволяет идентифицировать степень износа ЦПГ и наметить технические воздействия по возможному устранению последствий. Представленный анализ по трем выходным параметрам n , Q_B , Q_T в комплексе позволяет дать точное прогнозное решение по динамике прогрессирования износа ЦПГ и других систем ДВС [15]. Данный метод не требует сложных нагрузочных стендов, но требует применения разработанной новой методики для качественного анализа технического состояния систем ДВС.

4.4 Контрольные вопросы

1. С какой целью проводятся предварительные эксперименты?
2. Почему в эксперименте в качестве варьируемой величины была выбрана частота вращения коленчатого вала двигателя?
3. Зависимость массового расхода воздуха от частоты вращения коленчатого вала двигателя при тестовых воздействиях. В чем ее особенности?
4. Как изменяется массовый расход воздуха с ростом степени износа цилиндропоршневой группы?
5. Зависимость изменения выходного напряжения с контрольного вывода ДМРВ от частоты вращения коленчатого вала ДВС при тестовых воздействиях.

6. Как изменяется напряжение на контрольном выводе ДМРВ с ростом степени износа цилиндропоршневой группы?
7. Оценка чувствительности параметров. В чем ее особенность?
8. Зависимость степени изменения положения дроссельной заслонки от частоты вращения коленчатого вала ДВС при тестовых воздействиях. В чем ее особенности?
9. Как изменяется величина положения дроссельной заслонки с ростом степени износа цилиндропоршневой группы? Влияет ли это на показания датчика массового расхода воздуха?
10. Зависимость величины часового расхода топлива от частоты вращения коленчатого вала ДВС при тестовых воздействиях. В чем ее особенности?
11. Как изменяется величина часового расхода топлива с ростом степени износа цилиндропоршневой группы? Влияет ли это на показания датчика массового расхода воздуха?
12. Почему в эксперименте в качестве варьируемой величины была выбрана нагрузка на двигатель, оцениваемая по степени открытия дроссельной заслонки?
13. Зависимость величины массового расхода воздуха от степени открытия дросселя (нагрузки на двигатель) при тестовых воздействиях. В чем ее особенности?
14. Зависимость напряжения с контрольного вывода датчика массового расхода воздуха от степени открытия дроссельной заслонки (нагрузки на двигатель) при тестовых воздействиях. В чем ее особенности?
15. Зависимость изменения частоты вращения коленчатого вала ДВС от степени открытия дросселя при тестовых воздействиях. В чем ее особенности?
16. Зависимость часового расхода топлива от степени открытия дроссельной заслонки при тестовых воздействиях. В чем ее особенности?
17. Для чего проводится многофакторный эксперимент?
18. Какие параметры многофакторного эксперимента были выбраны в качестве входных и выходных данных?
19. Почему для обработки данных использовалась программа Sigma Plot? В чем ее особенности?

20. Анализ трехмерной зависимости часового расхода топлива при варьировании эквивалентного сечения выпускного тракта и частоты вращения коленчатого вала двигателя.

21. Почему при обработке экспериментальных данных применялся модуль Nonlinear Regression приложения Sigma Plot?

22. Анализ полученных уравнений регрессии. Достоверность аппроксимации полученных данных.

23. Анализ трехмерной зависимости массового расхода воздуха от величины сопротивления на выпуске и частоты вращения коленчатого вала ДВС.

24. Анализ трехмерных зависимостей при контроле частоты вращения коленчатого вала двигателя, расхода топлива и расхода воздуха от величины износа цилиндропоршневой группы и величины нагрузки (степени отключения импульсов системы подачи топлива).

25. Что представляет собой посекторальный анализ данных?

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Plaksin A., Gritsenko A., Glemba K. Experimental studies of cylinder group state during motoring // *Procedia Engineering* 2. Ser. "2nd International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2016". 2016. P. 1188-1191.
2. Ерохов В.И. Проектирование и расчет расходомера воздуха электронных систем впрыскивания топлива. *Транспорт на альтернативном топливе*. 2011. № 6 (24). С. 20-27.
3. Набоких В.А., Сафронов А.В. Способы диагностирования датчиков автомобильных электронных систем управления с гибридной силовой установкой. *Известия МГТУ МАМИ*. 2013. Т. 1. № 2 (16). С. 185-188.
4. Новый метод, средство и программная среда для тестирования ЭМФ автомобиля / А. В. Гриценко, К. В. Глемба, О. Н. Ларин [и др.] // *Известия Волгоградского государственного технического университета*. 2014. № 18(145). С. 53-56.
5. Gritsenko A. V., Zadorozhnaya E. A., Shepelev V. D. Diagnostics of friction bearings by oil pressure parameters during cycle-by-cycle loading // *Tribology in Industry*. 2018. Т. 40. № 2. P. 300-310. DOI: 10.24874/ti.2018.40.02.13.
6. Учебные стенды-тренажеры по электрооборудованию автомобилей / С. С. Куков [и др.] // *Вестник ЧГАУ*. 2006. Т. 47. С. 67-69.
7. Емельянова А. И. Контроль параметров воздухоподачи современных двигателей внутреннего сгорания / А. В. Гриценко, А. Ю. Бурцев, В. Е. Уланов, Ж. С. Рахимов, А. И. Емельянова // *АПК России*. 2022. Т. 29, № 4. С. 461-475. DOI 10.55934/2587-8824-2022-29-4-461-475.
8. Емельянова А. И. Тестовый контроль датчиков массового расхода воздуха современных двигателей внутреннего сгорания / А. В. Гриценко, К. В. Глемба, А. Н. Медведев, А. Ю. Бурцев, Ж. С. Рахимов, А. И. Емельянова // *Транспорт Урала*. 2022. № 4(75). С. 54-61. DOI 10.20291/1815-9400-2022-4-54-61.
9. Плаксин А. М., Гриценко А. В., Глемба К. В. Экспериментальные исследования технического состояния цилиндропоршневой группы в режиме прокрутки двигателя стартером // *Пром-Инжиниринг: тр II Междунар. науч.-техн. конференции*. Челябинск: ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)», 2016. С. 111-113.

10. Исследование способа повышения экологичности и экономичности автотранспорта на тестовых режимах холостого хода работы двигателя внутреннего сгорания / А. В. Гриценко [и др.] // Транспорт Урала. 2016. № 1 (48). С. 97-102.

11. Гриценко А. В., Ларин О. Н., Глемба К. В. Диагностирование датчиков массового расхода воздуха легковых автомобилей // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер.: Машиностроение. 2013. Т. 13. № 2. С. 113-118.

12. Расчет эффективности и внедрение технологии диагностирования датчиков массового расхода воздуха на тестовых режимах / А. В. Гриценко, К. И. Лукомский, К. В. Глемба // АПК России. 2018. Т. 25. № 1. С. 104-113.

13. Гриценко А. В., Куков С. С. Диагностирование систем ДВС на тестовых статических режимах // ЧГАА. 2012. Т. 61. С. 31-38.

14. Интеллектуальный контроль, коррекция и адаптивность выходных параметров системы впуска автомобилей / А. В. Гриценко, В. Д. Шепелев, М. В. Аношина, А. М. Лыков // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Машиностроение. 2019. Т. 19. № 1. С. 15-25. DOI 10.14529/engin190102.

15. Гриценко А. В. Алгоритм, информационные характеристики процесса технического диагностирования, методики проектирования и оптимизации устройств диагностирования // Вестник ЧГАА. 2013. Т. 63. С. 38-41.

16. Исследование экологических параметров бензинового ДВС при имитации различных режимов нагружения / А. В. Гриценко, К. В. Глемба, О. Н. Ларин, Л. А. Шефер, Г. Н. Салимоненко, А. Г. Карпенко, В. В. Руднев // Транспорт Урала, 2018. № 3 (58). С. 58-63.

А.В. Гриценко

**Диагностирование датчиков массового расхода
воздуха современных автотракторных средств
тестовыми методами**

Учебное пособие