

УДК 621.431:629.3

Разработка методики комплексного диагностирования двигателей и устройства для оценки технического состояния поршневой части ДВС

А.А. Бабошин, В.С. Малышев

Политехнический факультет МГТУ, кафедра энергетики и транспорта

Аннотация. В статье представлены результаты разработки метода диагностирования двигателей по давлению газов в картере. Представлена общая идея данного метода, оборудование, используемое для проведения исследований, методика комплексного диагностирования двигателей, а также результаты оценки метода диагностирования двигателей по давлению в картере. Определены пути дальнейшего развития данного метода диагностирования.

Abstract. The paper presents the results of investigation the engine's diagnostics method by measuring gas pressure in crank case of engine. The general ideas of the given method, used equipment, procedure of the complex technology of engine's diagnostics and the results have been considered. Some ways of further development of the given diagnostics method have been defined.

Ключевые слова: автомобильные двигатели, диагностика, средства диагностики, методы диагностирования, давление газов в картере
Key words: automobile engines, diagnostics, diagnostic tools, methods and technology of diagnostics, gas pressure in engine's carter

1. Введение

Важнейшей задачей организации технической эксплуатации подвижного состава является обеспечение высокой эффективности его использования.

В современных условиях все более острый характер приобретают проблемы экономии топливно-энергетических ресурсов и снижения токсичности отработавших газов автомобильных двигателей.

Состояние отечественного автотранспортного комплекса характеризуется резким ростом количества транспортных средств и недостаточным развитием систем их сервисного обслуживания. Причем это несоответствие касается как количества предприятий автосервиса, так и их качественных характеристик.

Среди основных факторов, определяющих эффективность технической эксплуатации, экономии топливно-энергетических ресурсов и снижение негативного воздействия автомобиля на окружающую среду, ведущее место принадлежит системе технического обслуживания и ремонта (ТО и Р), ее научной обоснованности и совершенству. Неотъемлемой частью системы ТО и Р является техническая диагностика.

В настоящее время существуют различные методы диагностирования двигателей внутреннего сгорания (ДВС), каждый из которых имеет свои недостатки: одни методы не являются универсальными, другие – трудоемки, третьи – сложны и требуют применения дорогостоящего технологического оборудования. При проведении диагностирования двигателей техническое состояние цилиндро-поршневой группы (ЦПГ) оценивается обычно с помощью измерения компрессии и плотности ЦПГ. Оба названных метода имеют ряд недостатков, не позволяющих объективно оценить состояние двигателя, тем более что в большом числе случаев результаты измерений дают противоположные значения. Отсюда возникает необходимость в получении дополнительной информации. Такую возможность может дать измерение давления в картере двигателя.

2. Диагностирование двигателей по давлению газов в картере

Работоспособность цилиндро-поршневой группы в основном определяется зазором между поршнем и гильзой, износом компрессионных и маслосъемных колец. Указанные параметры достаточно тесно связаны с количеством газов, прорывающихся в картер. Увеличение неплотностей ЦПГ двигателя вызывает повышение расхода газов, прорывающихся в картер, а также давления в картере.

Увеличение прорвавшихся в картер газов вызывает снижение мощности и повышение удельного расхода топлива двигателя, повышение температуры деталей ЦПГ, потерю упругости колец, повышенный износ цилиндров и колец, загрязнение масла и образование осадков и отложений на деталях, коксование масла в канавках поршня и поршневых кольцах с последующей потерей подвижности колец, ухудшение работы системы вентиляции картера, потерю масла из картера через систему вентиляции и сальниковые уплотнения. Прорыв газов в картер приводит к быстрому окислению масла и потере его свойств (Мирошников и др., 1977).

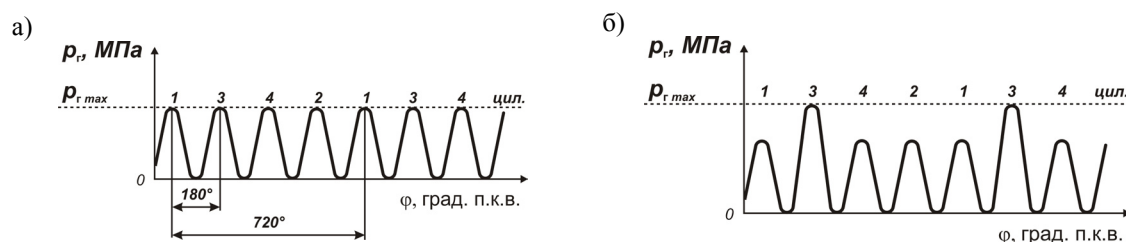


Рис. 1. Осциллограммы пульсаций давления газов, прорывающихся в картер двигателя:
а) при исправном техническом состоянии ЦПГ; б) при нарушении герметичности в 3 цилиндре

Для диагностирования ЦПГ по параметру давления газов в картере к маслоналивной горловине (или вместо щупа для измерения уровня масла) устанавливают датчик пульсаций давления. Кривая пульсаций давления газов в картере, в зависимости от угла поворота коленчатого вала, имеет синусоидальную форму. Амплитуда давления с увеличением неплотностей в цилиндре возрастает (в том числе из-за поломки или закоксовывания поршневых колец, износа или прогорания поршневых канавок, износа гильз цилиндров, задигов или царапин на них и др.) (Клюев и др., 1989).

Осциллограммы пульсаций, возникающих от давления газов, прорывающихся в картер четырехцилиндрового двигателя при нормальном техническом состоянии ЦПГ и при неплотностях, имеющихся, например, в третьем цилиндре, приведены на рис. 1.

При анализе необходимо учитывать особенности кинематики кривошипно-шатунного механизма (КШМ), а именно различие в скоростях поршней, движущихся от верхней мертвой точки (ВМТ) к нижней мертвой точке (НМТ), которые создают в картере пульсации давления (так называемый газодинамический фон) независимо от прорыва газов в картер. Поэтому осциллограммы давления дают суммарную характеристику – газодинамический фон, на который накладываются амплитуды, возникающие от прорыва газов. Это подтверждается и на практике. На рис. 2 показаны осциллограммы пульсаций давления газов в картере при выключенных втором и четвертом цилиндрах соответственно. У данных цилиндров наблюдается только газодинамический фон.

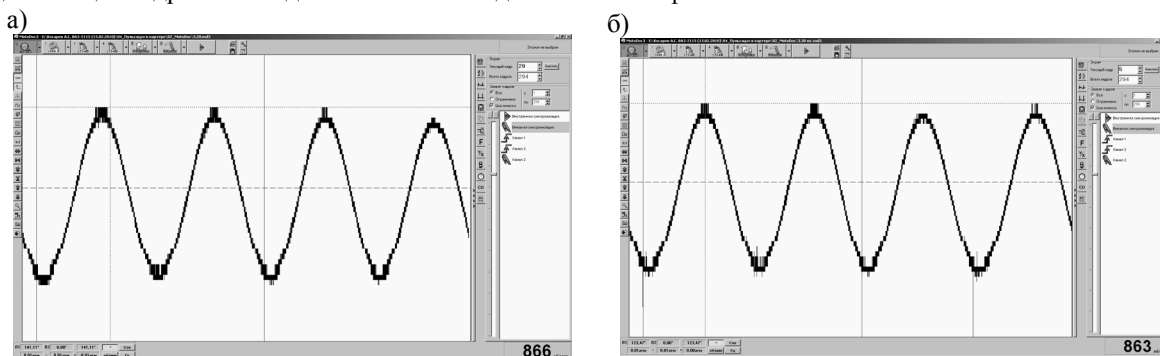


Рис. 2. Осциллограммы пульсаций давления газов в картере: а) при выключенном 2 цилиндре; б) при выключенном 4 цилиндре; порядок работы цилиндров 1-3-4-2

3. Методика комплексного диагностирования двигателей

Для оценки возможности диагностирования двигателей по давлению газов в картере была разработана методика, которая включает в себя следующие виды проверки.

1) Проверяется состояние системы зажигания, анализируются осциллограммы напряжения во вторичной цепи (в том числе напряжение пробоя искрового промежутка свечи, время накопления катушкой энергии, длительность горения дуги и др.). Известно, что чем ниже компрессия в цилиндре, тем ниже напряжение пробоя искрового промежутка свечи зажигания (при прочих равных условиях). Пример осциллограммы вторичного напряжения показан на рис. 3. В четвертом цилиндре с низкой компрессией напряжение пробоя занижено.

2) Производится оценка состояния двигателя по току, потребляемому стартером при прокрутке двигателя. В процессе прокрутки двигателя стартером (без запуска двигателя) регистрируется осциллограмма потребляемого стартером тока. Чем герметичнее надпоршневое пространство цилиндра – тем больше максимальное давление сжимаемого при прокрутке двигателя стартером воздуха (смеси) – тем больше сопротивление вращению двигателя, когда данный цилиндр находится в фазе сжатия, – тем больший ток потребляет стартер для проворачивания коленчатого вала. Для цилиндров двигателя с одинаковой компрессией, характерна одинаковая амплитуда пульсаций стартерного тока. При снижении

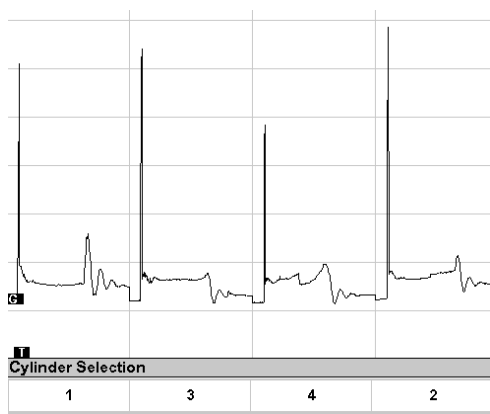


Рис. 3. Осциллограмма вторичного напряжения: причиной заниженного напряжения пробы является плохая герметичность камеры сгорания

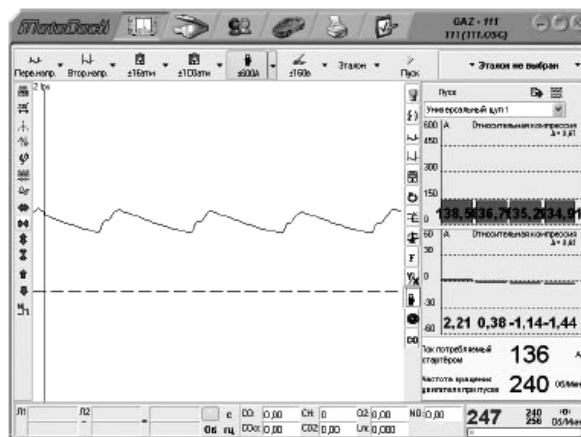


Рис. 4. Осциллограмма тока, потребляемого стартером при прокрутке двигателя

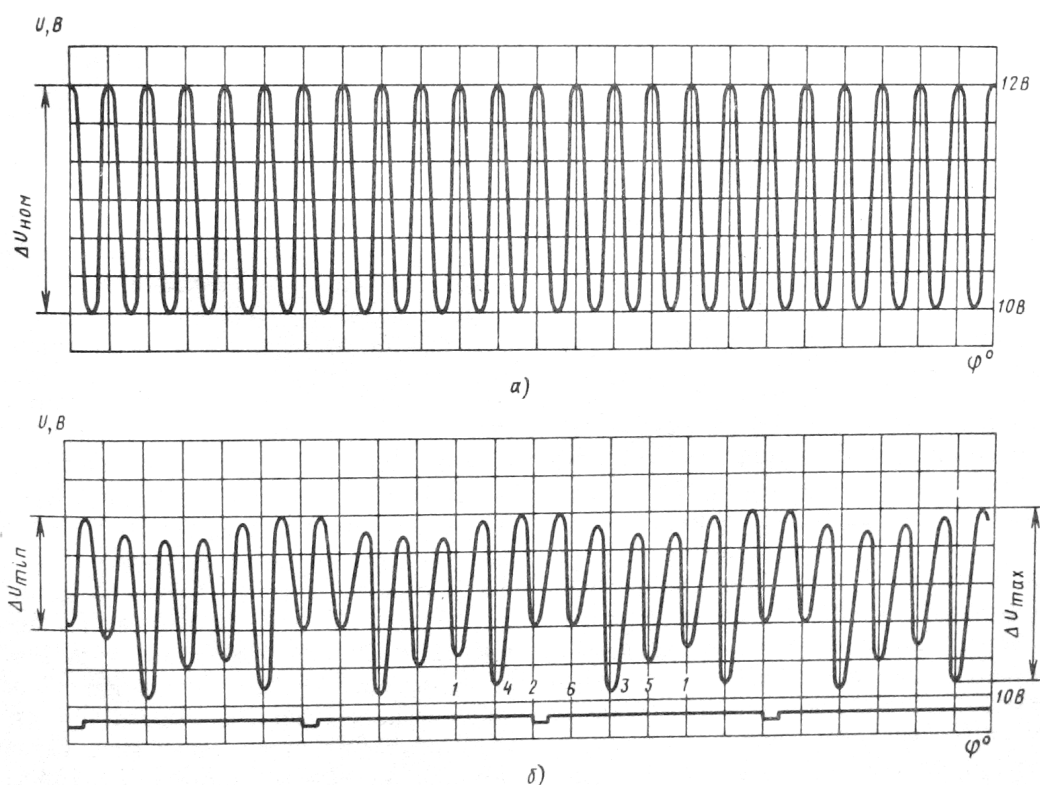


Рис. 5. Осциллограммы пульсаций напряжения на клеммах аккумуляторной батареи при прокрутке двигателя стартером: а) – при нормальной компрессии в цилиндрах; б) – при уменьшенной компрессии в цилиндрах: 1, 2, 5 и 6

компрессии в отдельных цилиндрах, наблюдается соответствующее уменьшение амплитуды пульсаций тока. Измерение тока производится с помощью преобразователя тока. Осциллограмма тока, потребляемого стартером при прокрутке двигателя, представлена на рис. 4.

3) Кроме измерения тока, потребляемого стартером, регистрируется падение напряжения на клеммах аккумуляторной батареи при прокрутке двигателя стартером. Осциллограммы пульсаций напряжения с нормальной и уменьшенной компрессией, например, в первом, втором, пятом и шестом цилиндрах шестицилиндрового двигателя приведены на рис. 5.

4) Производится проверка отработавших газов. Определяется количество оксидов углерода CO , углеводородов CH , кислорода O_2 , количество CO_2 . Оксид углерода CO является основным показателем состава смеси. Чем выше концентрация CO , тем богаче смесь.

Углекислый газ CO_2 является индикатором эффективности сгорания, CO_2 достигает максимума при коэффициенте избытка воздуха, равном примерно единице, и уменьшается при бедных или богатых смесях.

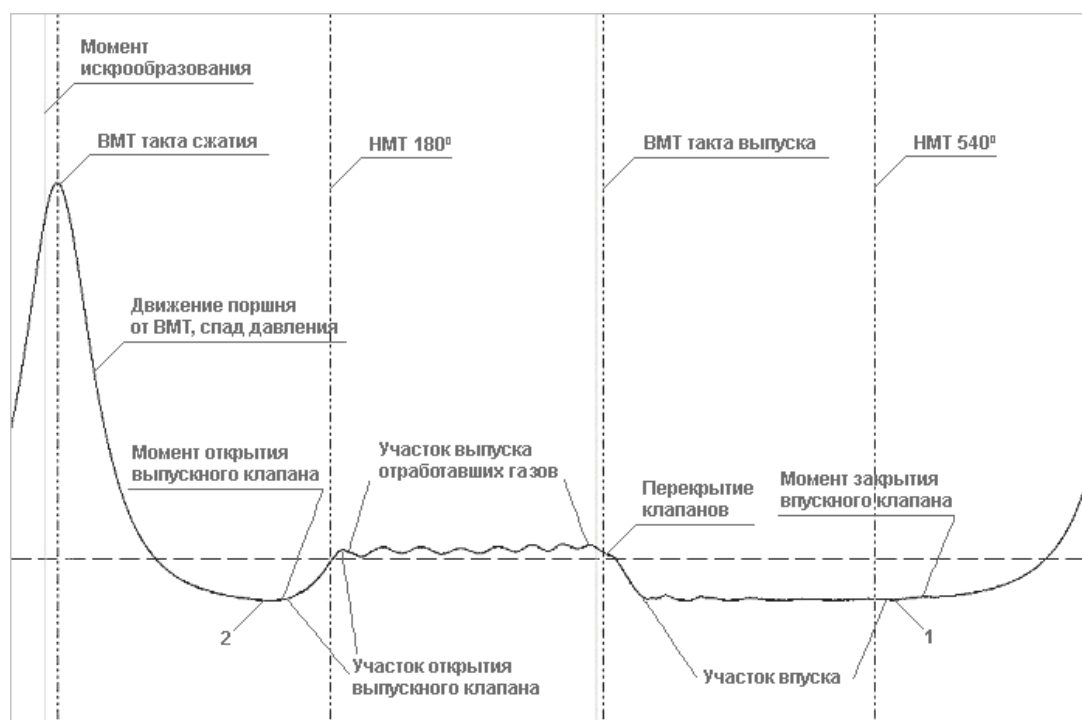


Рис. 6. Осциллограмма давления в цилиндре двигателя

Углеводородные соединения СН содержатся в выпускных газах в виде продуктов неполного окисления и разложения топлива и в виде паров топлива при всех режимах работы двигателя, включая режимы его наилучшей экономичности. Уменьшение количества углеводородов может быть достигнуто посредством: правильного сгорания топлива в камере сгорания; правильной регулировки угла опережения зажигания; использования нейтрализатора. Высокое содержание СН часто вызвано проблемами в системе зажигания.

Кислород O_2 отражает количество газа, остающегося в выхлопном тракте после того, как произошел процесс сгорания. При оптимальных условиях работы двигателя процент кислорода, присутствующего в выхлопных газах, должен быть ниже 2 %. Высокое содержание O_2 обусловлено нарушением герметичности камеры сгорания, неисправностями в системе зажигания и др.

Таким образом, проведя анализ количества различных компонентов в отработавших газах можно сделать общее заключение о состоянии двигателя, процессах смесеобразования и сгорания.

5) Производится проверка компрессии с использованием компрессометра.

6) Производится проверка герметичности камеры сгорания с использованием пневмотестера.

7) Производится измерение давления в цилиндре при работе двигателя на холостом ходу и на повышенной частоте вращения (2500 об/мин) с использованием датчика давления 16 атм, который устанавливается вместо свечи зажигания проверяемого цилиндра. Пример осциллограммы давления в цилиндре показан на рис. 6.

Осциллограмма давления в цилиндре позволяет определить реальный угол опережения зажигания, состояние механической части двигателя, правильность установки распределительных валов впускных и выпускных клапанов, проходимость выпускной системы, значение разрежения во впускном коллекторе на такте впуска и др.

8) Производится измерение пульсаций давления в картере. Датчик давления подключается вместо щупа для измерения уровня масла. Режимы проверки при измерении давления в картере включают в себя измерения на холостом ходу, на холостом ходу с дополнительной нагрузкой (обогрев заднего стекла, дальний свет фар), измерение на повышенной частоте вращения (1300 об/мин, 1800 об/мин, 2200 об/мин, 2700 об/мин).

Затем производится поочередное отключение каждого из цилиндров и измерение давления в картере на режимах холостого хода и повышенной частоте вращения (2500 об/мин).

Целью представленной методики диагностирования двигателей является всесторонняя оценка герметичности камеры сгорания, оценка состояния ЦПП, плотности прилегания клапанов, правильности процесса сгорания смеси. Все данные анализировались в совокупности и сопоставлялись с давлением в картере.

4. Оборудование, используемое для проведения исследований

Оборудование, используемое при проверке, включает в себя: мотор-тестер MotoDoc III; аналого-цифровой преобразователь ZET 210 Sigma USB; усилитель ZET 411; датчик давления наддува воздуха 47.3829; преобразователь тока АРРА-32; компрессометр; пневмотестер; газоанализатор; ноутбук и др.

Для измерения давления в картере двигателя использовался датчик давления наддува воздуха 47.3829, серийно выпускаемый ОАО "Автоэлектроника" (рис. 7). Этот датчик используется в составе системы управления двигателями на автомобилях ГАЗ-3110 с дизельными двигателями STEYR (двигатель ГАЗ-560). Для питания датчика давления наддува воздуха необходимо стабилизированное напряжение +5 В; потребляемый ток $6 \div 10$ мА; диапазон измерения величины абсолютного давления составляет от 0,25 до 2,4 бар; выходное напряжение от 0,5 до 4,5 В.

Датчик давления наддува воздуха имеет встроенный усилитель выходного сигнала и обладает достаточно высоким быстродействием. Результаты испытаний датчика на различных автомобилях позволяют использовать его для практического применения в диагностической практике¹.



Рис. 7. Датчик давления наддува воздуха 47.3829

5. Порядок обработки данных, получаемых с использованием разработанного устройства

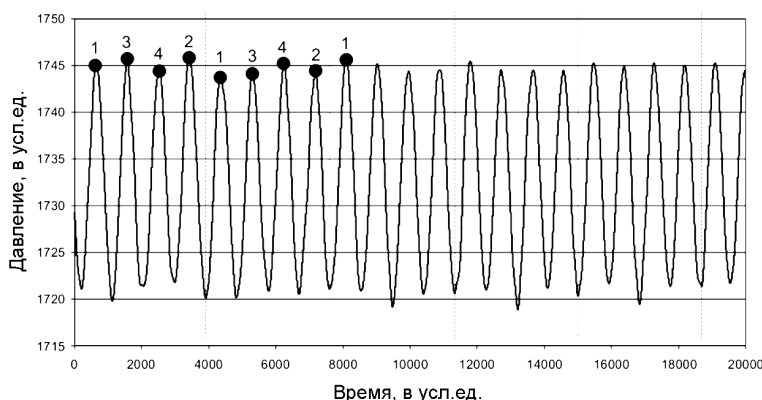
Анализ осциллограммы давления в картере заключается в следующем. Первоначально осциллограмма давления подвергается осреднению. По осредненной осциллограмме определяются максимумы от каждого цилиндра, которые есть давление от прорыва газов в соответствующем цилиндре (рис. 8). Полученные значения разбиваются на циклы в соответствии с количеством цилиндров и порядком их работы; производится осреднение полученных данных как среднее арифметическое всех значений.

Аналогично обрабатываются осциллограммы давления в картере при отключенных по очереди цилиндрах. Вся обработка осциллограмм давления в картере производится с использованием разработанного программного обеспечения.

Таким образом, имеются максимумы давления в картере при всех работающих цилиндрах и при отключении каждого из цилиндров по очереди. Среднее арифметическое всех значений максимумов осредненной кривой давления в картере при работающих цилиндрах и при выключении одного из цилиндров показано на рис. 9 (на примере автомобиля ВАЗ-2112 с двигателем ВАЗ-2112).

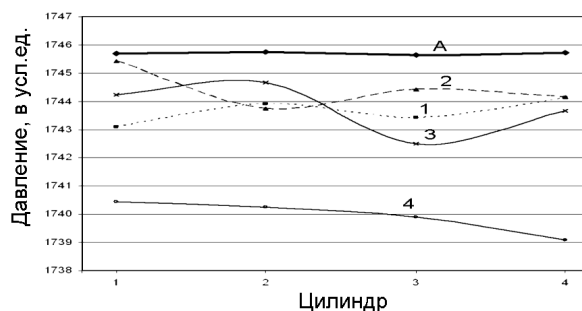
Производится сравнение падения давления при отключении того или иного цилиндра от давления, при работе всех цилиндров. Как видно из графика (см. рис. 9) при отключении четвертого цилиндра среднее давление в картере уменьшается намного больше, чем при отключении первого, второго и третьего цилиндров. Это говорит о неисправности в четвертом цилиндре. Проверка в соответствии с вышеуказанной методикой показала, что в данном цилиндре значение компрессии составляет около 8,3 бар (у остальных цилиндров – $12,6 \div 13,2$ бар), показания пневмотестера составили 60 %.

Рис. 8. Осредненная осциллограмма давления в картере (порядок работы цилиндров 1-3-4-2)



¹ Датчик давления наддува воздуха [Электрон. ресурс]. – <http://www.ancelab.ru/dep.auto/article.070712.001.php/>; Диагностика автомобилей: диагностика при помощи датчика разрежения [Электрон. ресурс]. – http://www.autodiagnos.com.ua/Diagnos/diagnos_vacuum_usb.htm.

Рис. 9. Изменение давления в картере при всех работающих цилиндрах (А) и при их последовательном отключении (1-4 – номер отключенного цилиндра)



Таким образом, при отключении одного из цилиндров среднее давление в картере понизится тем больше, чем больше прорыв газов от данного цилиндра. При одинаковом состоянии герметичности камер сгорания всех цилиндров падение давления будет одинаковым.

Повышенное давление в картере, при нормальном состоянии ЦПГ (определенное с использованием компрессометра, пневмотестера и других методов) свидетельствует о неисправности системы вентиляции картера (загрязненной системе вентиляции картера). Если показания компрессометра занижены, а амплитуда пульсаций давления в картере находится в норме, то это свидетельствует, скорее всего, о проблемах с деталями газораспределительного механизма, прокладки головки блока и др.

6. Заключение

В процессе работы было проверено 20 автомобилей различных марок и с различным пробегом.

Первоначальные результаты оценки метода диагностирования двигателей по давлению в картере говорят о возможности его применения в практике.

Плюсами данного метода являются:

- универсальность (метод позволяет проводить проверку как для двигателей с искровым зажиганием, так и для дизельных двигателей);
- простота реализации (не требуется проводить никаких разборочных работ);
- экономия времени при определении состояния деталей цилиндро-поршневой группы (для некоторых двигателей проверка с использованием компрессометра и пневмотестера является трудоемкой);
- полученная с использованием данного метода информация может быть использована для подтверждения или опровержения диагноза, поставленного с использованием других методов диагностирования.

Недостатками данного метода (на данном этапе исследования) является сложность оценки состояния двигателя при различных неисправностях в различных цилиндрах (в случаях, если имеются проблемы как с деталями цилиндро-поршневой группы, так и деталями газораспределительного механизма).

Дальнейшая работа должна проводиться в следующих направлениях:

- необходим сбор статистических данных давления в картере для различных автомобилей с различным пробегом и состоянием ЦПГ;
- подбор более чувствительной аппаратуры для измерения давления в картере;
- необходима регистрация осциллограмм давления в картере на различных скоростных и нагрузочных режимах;
- необходимо проводить измерение количества газов, прорвавшихся в картер.

Литература

Клюев В.В., Пархоменко П.П., Абрамчук В.Е. Технические средства диагностирования. Справочник. М., Машиностроение, 672 с., 1989.

Мирошников Л.В., Болдин А.П., Пал В.И. Диагностирование технического состояния автомобилей на автотранспортных предприятиях. М., Транспорт, 263 с., 1977.