

УДК 629.033

КОМПЛЕКСНОЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ЦИЛИНДРОПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

*д-р техн. наук, проф. В.П. ИВАНОВ, А.Н. ВАСЬКОВИЧ, Г.А. УВАРОВ
(Полоцкий государственный университет)*

Демонстрируются результаты разработки метода диагностирования двигателей по давлению прорвавшихся в картер газов. Изложено содержание метода. Описано оборудование, используемое для проведения исследований. Представлены методика комплексного диагностирования двигателей, а также результаты оценки диагностирования двигателей. Определены направления развития предложенного метода диагностирования.

Введение. Состояние отечественного автотранспортного комплекса характеризуется ростом количества транспортных средств и недостаточным развитием систем их сервисного обслуживания. Организация технической эксплуатации подвижного состава должна обеспечить высокую эффективность его использования с экономией топливно-энергетических ресурсов и снижением негативного влияния на окружающую среду в части уменьшения токсичности отработавших газов. Ведущее место в технической эксплуатации автомобилей принадлежит системе технического обслуживания и ремонта, ее научной обоснованности и совершенству. Неотъемлемой частью указанной системы является техническая диагностика.

Существуют различные методы диагностирования двигателей внутреннего сгорания, каждый из которых имеет свои недостатки: одни методы не универсальны; другие – трудоемки; третьи – сложны и требуют применения дорогостоящего технологического оборудования. При проведении диагностирования двигателей техническое состояние цилиндропоршневой 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 большинстве случаев измерения дают противоречивые результаты. Отсюда возникает необходимость в получении дополнительной информации, что возможно, осуществляя измерение давления газов, прорвавшихся в картер двигателя [1].

Диагностирование двигателей по давлению газов в картере. Работоспособность ЦПГ в основном определяется зазором между поршнем и гильзой, износом компрессионных и маслосъемных колец. Указанные параметры достаточно тесно коррелируют с расходом газов, прорывающихся в картер. Увеличение неплотностей ЦПГ двигателя вызывает повышение расхода этих газов, а также давления в картере [2].

Увеличение количества прорвавшихся газов в картер инициирует негативные процессы: снижение мощности двигателя; повышение удельного расхода топлива и температуры деталей ЦПГ; потерю упругости колец; повышенный износ цилиндров и колец; загрязнение масла с образованием отложений на деталях; коксование масла в канавках поршней 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.

При диагностировании ЦПГ по давлению газов в картере в маслосливную горловину или в трубку щупа для измерения уровня масла устанавливают датчик пульсаций давления газов. 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, задиров или царапин на них и др.). Осциллограммы пульсаций давления газов, прорывающихся в картер четырехцилиндрового двигателя при нормальном техническом состоянии ЦПГ и при неплотностях, имеющихся, например, в третьем цилиндре, приведены на рисунке 1.

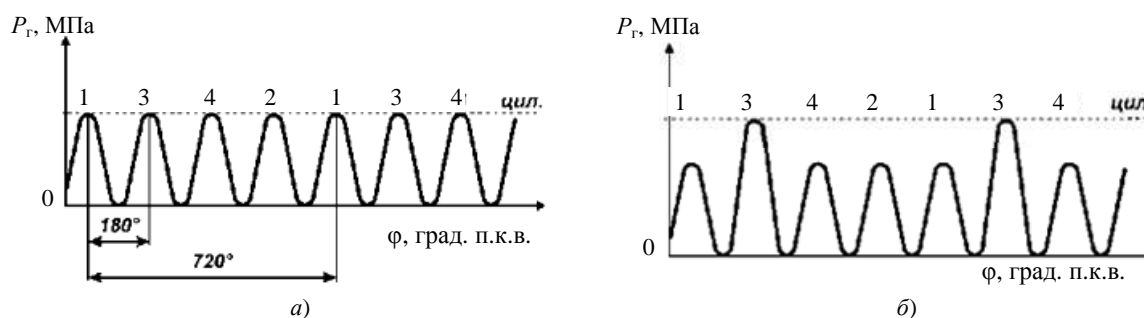


Рис. 1. Осциллограммы давления p_r газов, прорывающихся в картер двигателя, в зависимости от угла поворота коленчатого вала φ :

a – при исправном техническом состоянии ЦПГ; *б* – при нарушении герметичности в третьем цилиндре

При анализе необходимо учитывать особенности кинематики кривошипно-шатунного механизма, а именно различие в скоростях поршней, движущихся от верхней мертвой точки (ВМТ) к нижней мертвой точке (НМТ), которые создают в картере пульсации давления газов (так называемый газодинамический фон) независимо от прорыва газов в картер. Поэтому осциллограммы давления дают суммарную характеристику – газодинамический фон, на который накладываются амплитуды давления, возникающие от прорыва газов. На рисунке 2 показаны осциллограммы пульсаций давления газов в картере при выключенных втором и четвертом цилиндрах соответственно. У этих цилиндров наблюдается только газодинамический фон [3].

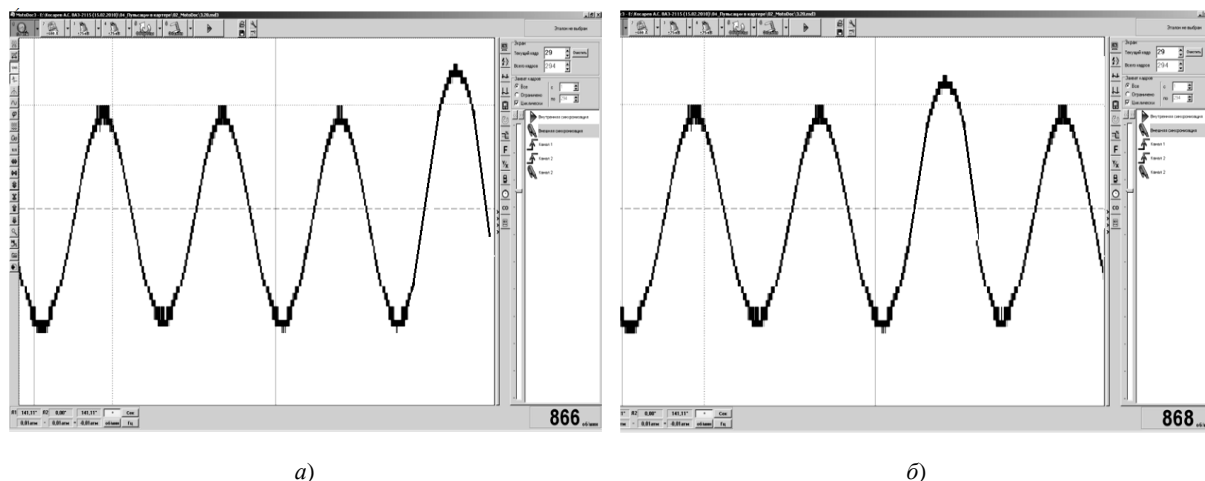


Рис. 2. Осциллограммы пульсаций давления газов в картере:
а – при выключенном втором цилиндре; б – при выключенном четвертом цилиндре

Оборудование для исследований. Оборудование, используемое для диагностирования двигателей: мотор-тестер MotoDoc III; аналого-цифровой преобразователь ZET 210 Sigma USB; усилитель ZET 411; датчик давления наддува воздуха 47.3829; преобразователь тока APPA-32; компрессометр; пневмотестер; газоанализатор и ноутбук.



Рис. 3. Датчик давления наддува воздуха 47.3829

Для измерения давления в картере двигателя использовался датчик давления наддува воздуха 47.3829, серийно выпускаемый ОАО «Автоэлектроника», который 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, сила потребляемого тока составляет 6...10 мА, диапазон измерения абсолютного давления – от 0,25 до 2,4 бар, выходное напряжение – от 0,5 до 4,5 В.

Порядок работы цилиндров 1–3–4–2. Датчик давления наддува воздуха (рис. 3) имеет встроенный усилитель выходного сигнала и обладает высоким быстродействием. Результаты испытаний датчика на различных двигателях позволяют использовать его для практического применения в диагностической практике.

Методика комплексного диагностирования двигателей. Для оценки возможности диагностирования двигателей по давлению газов в картере была разработана методика, которая включает в себя следующие работы.

Проверяют состояние системы зажигания, анализируют осциллограммы напряжения в ее вторичной цепи (в том числе напряжение пробоя искрового промежутка свечи, время накопления катушкой энергии, длительность горения дуги и др.). Чем ниже компрессия в цилиндре, тем ниже при прочих равных условиях напряжение пробоя искрового промежутка свечи зажигания.

Пример осциллограммы вторичного напряжения показан на рисунке 4 (причина пониженного напряжения пробоя – плохая герметичность камеры сгорания).

В четвертом цилиндре с низкой компрессией напряжение пробоя занижено.

Оценивают состояние двигателя по силе тока, потребляемого стартером при прокрутке двигателя (без его запуска). Чем герметичнее надпоршневое пространство цилиндра, тем больше давление сжимаемо-

го при прокрутке двигателя стартером воздуха (смеси), тем больше сопротивление вращению коленчатого вала, когда данный цилиндр находится в такте сжатия, тем большую силу тока потребляет стартер.

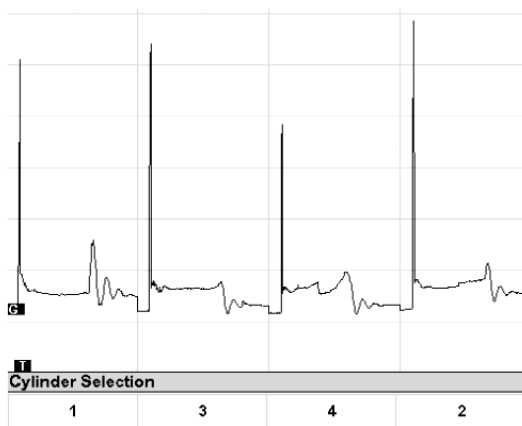


Рис. 4. Осциллограмма вторичного напряжения

Для цилиндров двигателя с одинаковой компрессией характерна одинаковая амплитуда пульсаций стартерного тока. При снижении компрессии в отдельных цилиндрах наблюдается соответствующее уменьшение амплитуды пульсаций силы тока. Измерение силы тока производится с помощью преобразователя тока. Осциллограмма силы тока, потребляемого стартером при прокрутке двигателя, представлена на рисунке 5.

Кроме измерения силы тока, потребляемого стартером, регистрируют падение напряжения на клеммах аккумуляторной батареи при прокрутке двигателя. Осциллограммы пульсаций напряжения с нормальной и уменьшенной компрессией, например, в первом, втором, пятом и шестом цилиндрах шестцилиндрового двигателя приведены на рисунке 6.

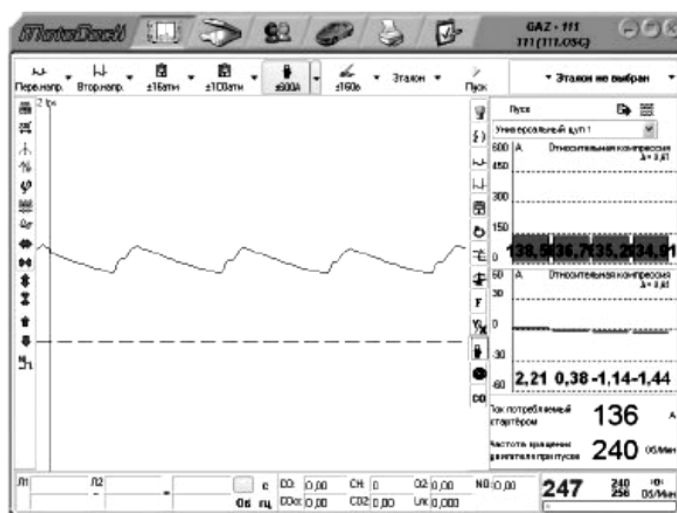


Рис. 5. Осциллограмма силы тока, потребляемого стартером при прокрутке двигателя

В отработавших газах определяют содержание оксидов углерода CO, диоксида углерода CO₂, углеводородов CH и кислорода O₂. Оксид углерода CO – основной показатель состава смеси, чем выше его концентрация, тем богаче смесь. Диоксид углерода CO₂ является индикатором эффективности сгорания, содержание CO₂ достигает максимума при коэффициенте избытка воздуха, равном примерно единице, и уменьшается при бедных или богатых смесях. Углеводородные соединения CH содержатся в отработавших газах в виде продуктов неполного окисления и разложения топлива и 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 и использования нейтрализатора. Высокое содержание CH часто вызвано проблемами в системе зажигания [4]. При оптимальных условиях работы двигателя содержание кислорода, присутствующего в выхлопных газах, должно быть ниже 2 %. Высокое содержание O₂ обусловлено нарушением герметичности камеры сгорания и неисправностями в системе зажигания. Таким образом, на основе анализа содержания различных компонентов в отработавших газах можно сделать заключение о состоянии двигателя, процессах смесеобразования и сгорания.

Проверяют компрессию с использованием компрессометра, герметичность камеры сгорания – пневмотестером. Измеряют давление газа в цилиндре при работе двигателя на холостом ходу и на повышенной частоте вращения коленчатого вала (2500 мин⁻¹) с использованием датчика с пределом измерения давления до 16 бар, который устанавливают вместо свечи зажигания проверяемого цилиндра. Пример осциллограммы давления газов в цилиндре показан на рисунке 7.

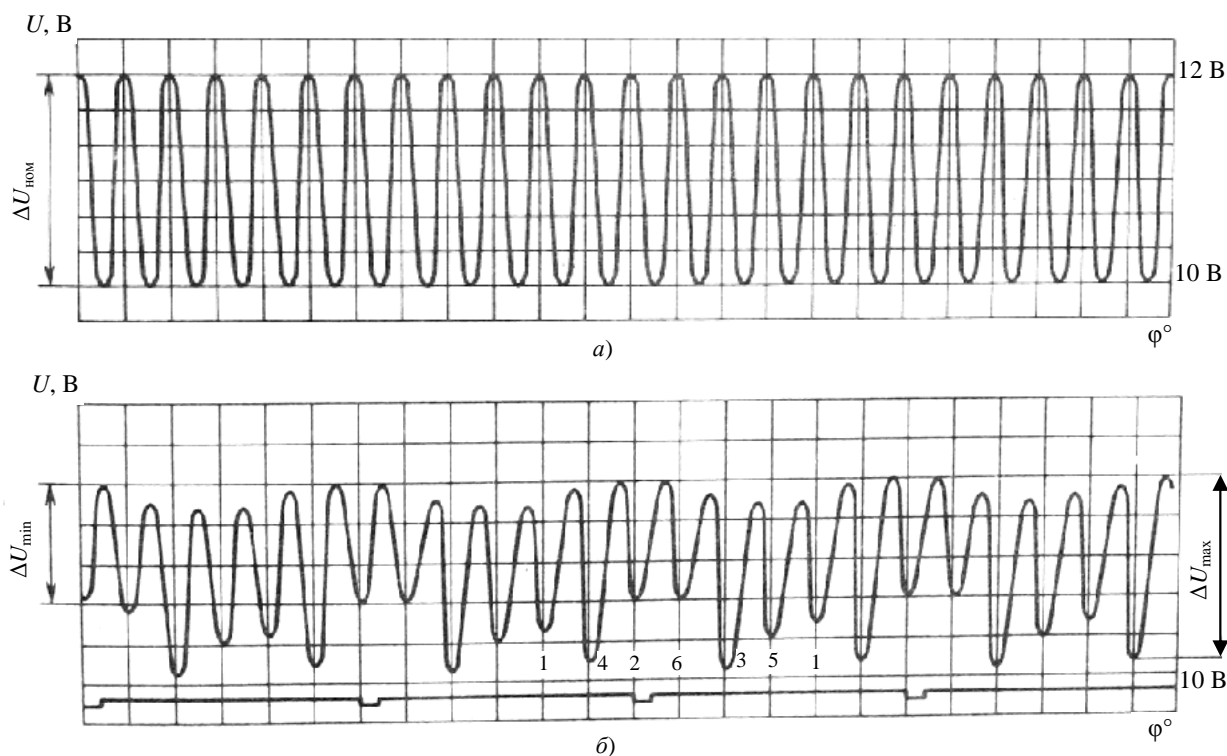


Рис. 6. Осциллограммы пульсаций напряжения U на клеммах аккумуляторной батареи при прокрутке двигателя стартером: a – при нормальной компрессии в цилиндрах; b – при уменьшенной компрессии в 1, 2, 5 и 6-м цилиндрах; φ – угол поворота коленчатого вала; $\Delta U_{\text{ном}}$, ΔU_{min} и ΔU_{max} – размахи напряжения номинальный, минимальный и максимальный, соответственно

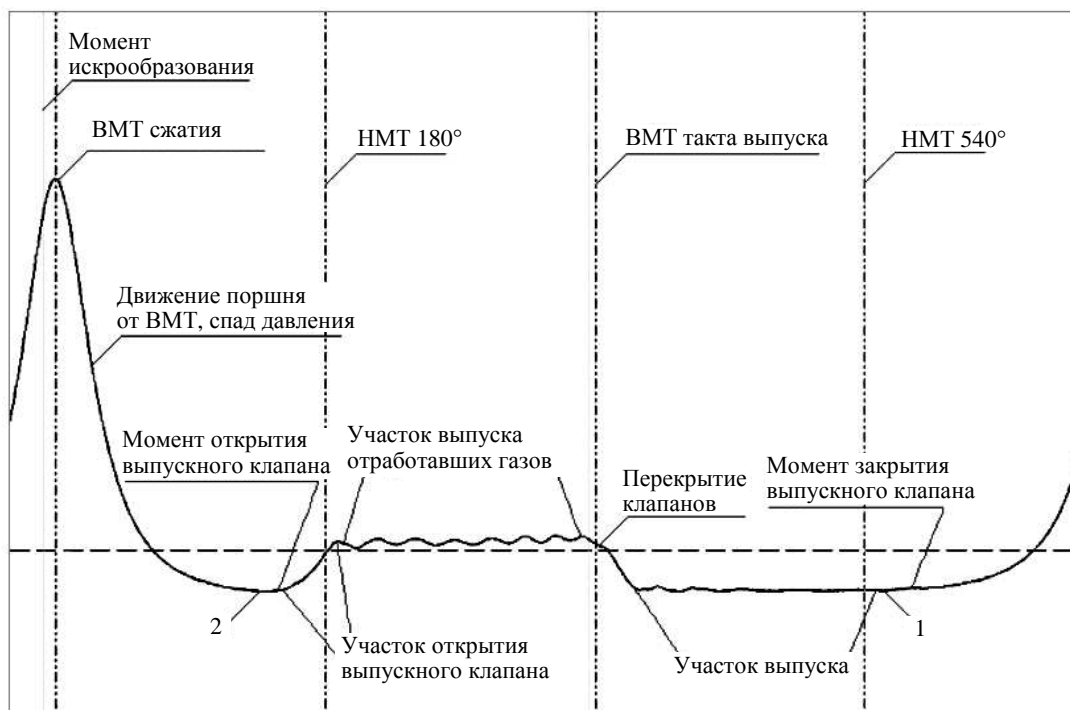


Рис. 7. Осциллограмма давления газов в цилиндре двигателя

Осциллограмма давления газа в цилиндре позволяет определить угол опережения зажигания, состояние механической части двигателя, правильность установки распределительных валов, управляющими впускными и выпускными клапанами, проходимость выпускной системы, разрежение во впускном коллекторе на такте впуска и др. [5].

Измеряют пульсации давления газов в картере с помощью датчика давления (см. рис. 3). Режимы проверки при измерении давления в картере включают следующие способы измерений: на холостом ходу; на холостом ходу с дополнительной нагрузкой (обогрев заднего стекла, дальний свет фар); на повышенной частоте вращения коленчатого вала (1300, 1800, 2200 и 2700 мин⁻¹). Затем поочередно отключают каждый из цилиндров и измеряют давление в картере на режимах холостого хода и повышенной частоте вращения коленчатого вала (2500 мин⁻¹).

Целью представленной методики диагностирования двигателей является всесторонняя оценка герметичности камеры сгорания, оценка состояния ЦПГ, плотности прилегания клапанов, правильности сгорания смеси. Все данные анализируют в совокупности и сопоставляют с давлением газов в картере.

Порядок обработки полученных данных. Анализ осциллограммы давления газов в картере заключается в следующем. Первоначально осциллограмму давления подвергают осреднению в виде определения среднего арифметического всех значений. По осредненной осциллограмме определяют максимумы давлений от прорыва газов из каждого цилиндра (рис. 8). Полученные значения разбиваются на циклы в соответствии с количеством цилиндров и порядком их работы.

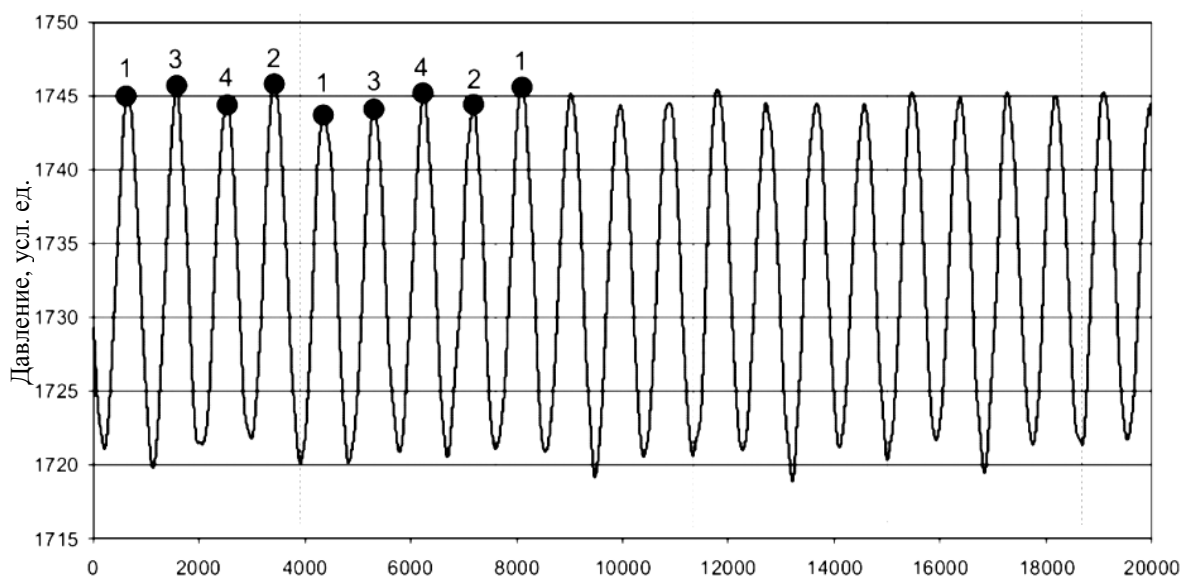


Рис. 8. Осредненная осциллограмма давления в картере.
Порядок работы цилиндров 1–3–4–2

Аналогично обрабатывают осциллограммы давления в картере при отключенных по очереди цилиндрах. Всю обработку осциллограмм давления газа в картере производят с использованием разработанного программного обеспечения.

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

Производят сравнение падения давления при отключении того или иного цилиндра от давления, полученного при работе всех цилиндров. Как видно из графика, представленного на рисунке 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 свидетельствует о том, что в данном цилиндре значение компрессии составляет около 8,3 бар (у остальных цилиндров – 12,6...13,2 бар), показания пневмотестера составили 60 %.

Таким образом, при отключении одного из цилиндров среднее давление газа в картере снизится 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) указывает на неисправность системы вентиляции картера (например, ее загрязнение). Если показания компрессометра занижены, а амплитуда пульсаций давления в картере находится в норме, то это свидетельствует о проблемах с деталями газораспределительного механизма, прокладки головки цилиндров и др.

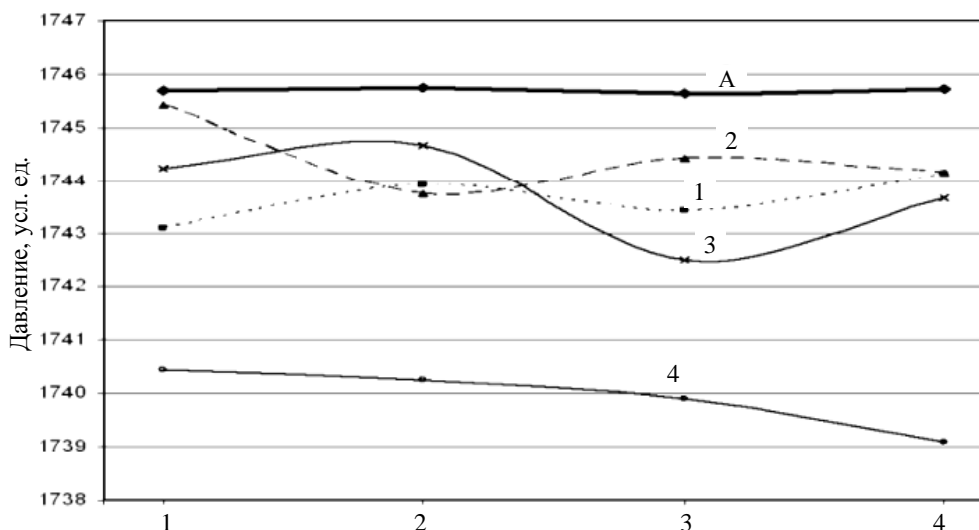


Рис. 9. Изменение давления в картере при всех работающих цилиндрах (А) и при их последовательном отключении (1–4 – номер отключенного цилиндра)

Заключение. В процессе работы было проверено 20 автомобилей различных марок и с различным пробегом. Первоначальные результаты оценки метода диагностирования двигателей по давлению в картере свидетельствуют о возможности его применения в практике. *Достоинствами* данного метода являются: *универсальность* (метод позволяет проводить проверку как для двигателей с искровым зажиганием, так и для дизельных двигателей); *простота реализации* (не требуются разборочные работы); *экономия времени* при определении состояния деталей ЦПГ (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.

Недостатки метода (на данной стадии исследования) – *сложность оценки состояния двигателя* при различных неисправностях в различных цилиндрах (в случаях, если имеются проблемы как с деталями ЦПГ, так и деталями газораспределительного механизма).

Дальнейшая работа должна проводиться в следующих направлениях: сбор и обработка статистических данных о давлении газов в картере для различных двигателей с различным пробегом и состоянием ЦПГ; подбор более чувствительной аппаратуры для измерения давления газов в картере; регистрация осциллограмм давления газов в картере на различных скоростных и нагрузочных режимах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ярошевич, В.К. Технология производства и ремонта автомобилей / В.К. Ярошевич, А.С. Савич, В.П. Иванов. – Минск: Адукацыя і выхаванне, 2011. – 589 с.
2. Клюев, В.В. Технические средства диагностирования / В.В. Клюев, П.П. Пархоменко, В.Е. Абрамчук. – М.: Машиностроение, 1989. – 672 с.
3. Стрельцов, В.В. Ресурсосберегающая ускоренная обкатка отремонтированных двигателей / В.В. Стрельцов. – 2-е стер. изд. – М.: Колос, 1995. – 170 с.
4. Мирошников, Л.В. Диагностирование технического состояния автомобилей на автотранспортных предприятиях / Л.В. Мирошников, А.П. Болдин, В.И. Пал. – М.: Транспорт, 1977. – 263 с.
5. Беднарский, В.В. Организация капитального ремонта автомобилей / В.В. Беднарский. – Ростов н/Д: Феникс, 2005. – 592 с.

Поступила 06.07.2015

DEVELOPMENT OF THE TECHNIQUE OF COMPLEX DIAGNOSING OF TECHNICAL CONDITION OF PISTON GROUP OF THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE

V. IVANOV, A. VASKOVICH, G. UVAROV

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.