

## ЦИФРОВАЯ ДИАГНОСТИКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ КАМЕРЫ СГОРАНИЯ ДВИГАТЕЛЯ АВТОМОБИЛЯ

Сараева И. Ю.<sup>1</sup>, Хрулев А.Э.<sup>2</sup>, Воробьев А. Н.<sup>1</sup>, Себко Д. П.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

<sup>2</sup>Международное моторное бюро

**Аннотация.** Работа направлена на повышение достоверности, точности, информативности и углубленности процесса диагностирования цилиндро-поршневой группы двигателя. Для этого разработана автоматизированная система диагностирования, которая включает в себя системный блок с монитором, специальное программное обеспечение для измерения и обработки информации, измерительный аналогово-цифровой модуль, адаптеры для подключения к двигателю. Диагностическая система позволяет фиксировать изменение давления в цилиндре при каждом градусе поворота коленчатого вала с погрешностью, которая не превышает 1,7%. Также система позволяет сохранять, воспроизводить и передавать диагностическую информацию в цифровом, графическом и текстовом виде. Может использоваться при экспертных исследованиях технического состояния механизмов двигателя.

**Ключевые слова:** автомобиль, двигатель, диагностика, стенд, измерение, параметр, неисправность, герметичность, камера сгорания, давление.

### Введение

Известные способы диагностирования цилиндро-поршневой группы (ЦПГ) двигателя позволяют осуществлять процесс контроля как с помощью манометрических приборов, так и с помощью электронных средств измерений. Применение последних подразумевает наличие определенных датчиков, аналоговых и цифровых средств обработки информации с последующим получением диагностического заключения. Поэтому при разработке средств диагностирования необходимо в первую очередь определить условия, соответствующие требованиям разрабатываемого процесса диагностирования.

В качестве первичного элемента получения диагностической информации можно использовать как аналоговые, так и дискретные датчики. Стоимость дискретных датчиков на порядок выше, а разрешающая способность частотного опроса на порядок ниже, чем у аналоговых датчиков. В связи с этим дискретные датчики пока не получили широкого распространения на автомобилях и в системах диагностирования, но способность дискретных датчиков передавать информацию в цифровом виде, без использования дополнительного аналого-цифрового преобразователя (АЦП) значительно упрощает конструкцию системного блока диагностирования.

Особенностью процесса диагностирова-

ния ЦПГ двигателя является то, что результаты диагностических замеров одного и того же двигателя желательно сравнивать, например, до обслуживания и ремонта, и после регулировки и ремонта, а также на протяжении всего срока службы двигателя. Задача эта усложняется и неограниченным числом автомобилей, для которых потребуется проведение диагностических работ. Следовательно, проектируемая диагностическая система должна обладать способностью к запоминанию большого количества информации. С помощью портативных электронных приборов такую задачу длительного хранения и воспроизведения информации решить затруднительно. Поэтому возникает необходимость в применении при разработке системы диагностики ЦПГ двигателя электронных средств, обладающих большим объемом памяти, например, персональных компьютеров. Помимо постоянной памяти для хранения информации диагностическая система должна обладать достаточно высокой оперативной памятью для работы в среде современных операционных систем и языков программирования.

### Анализ публикаций

В настоящее время совершенствование диагностических систем автомобиля идет по пути создания и развития автоматизированных цифровых систем с возможностью всестороннего

анализа полученных диагностических сигналов [1]. Такое диагностирование возможно проводить дистанционно путем использования информационной модели [2] либо более углубленно на сервисной станции [3].

Для экспресс-диагностирования ЦПГ могут использоваться различные методы и способы. Наиболее универсальным и современным способом диагностирования ЦПГ является применение мотор-тестера. В основу диагностирования ЦПГ с помощью мотор-тестера положены методы электрических измерений прямых и косвенных (непрямых) параметров. Например, мотор-тестер Bosch FSA 740 позволяет по сопротивлению прокручиванию коленчатого вала с помощью стартера оценить техническое состояние ЦПГ. Такой метод диагностирования ЦПГ имеет ряд преимуществ: измерения проводятся одновременно для всех цилиндров двигателя при одинаковом тепловом и нагрузочном режиме; результаты измерений наглядные и отражают полную картину диагностирования; наличие эталонного коридора минимальных и максимально значений измеряемой величины; возможность быстрого диагностирования многоцилиндровых двигателей. В качестве недостатка используемого метода можно отметить отсутствие углубленной диагностики деталей ЦПГ.

Условия процесса диагностирования ЦПГ определяют требования, которые необходимо предъявлять к выбору датчика, как к первичному элементу получения диагностической информации. Прежде всего, у датчика должны быть малые габаритные размеры, которые позволили бы установить датчик в непосредственной близости от цилиндра двигателя. Для этого размеры датчика не должны превышать размеры свечи зажигания иначе монтировать датчик будет затруднительно в ограниченном пространстве под капотом автомобиля. Измерительная часть датчика должна быть устойчива к агрессивным средам, таким как бензин и его производные, масло и газы.

Измерение давления в цилиндрах проводится в тестовом режиме, когда нет воспламенения горючей смеси в цилиндрах и температура измеряемой среды не превышает рабочую температуру двигателя – 80°-100°С. Этой температуре соответствует и температура картерных газов. Поэтому температурный диапазон датчика должен находиться в пределах от 0° до 100°.

Необходимость постоянного монтажа датчика определяет его устойчивость к механическим воздействиям. При поломке датчика должна иметься возможность его замены, т.е. датчик должен быть серийного производства.

Величина давления в цилиндре бензиновых двигателей за один рабочий цикл изменяется в пределах 0 – 1,6 МПа, следовательно, этому диапазону должна соответствовать манометрическая характеристика датчика. Чтобы стоимость диагностической системы, а, следовательно, и стоимость проведения диагностических работ были доступны, цена датчика должна быть соизмерима с ценой основных элементов системы и трудоемкостью проведения работ.

Фирмой «Siemens» предложена конструкция пьезоэлектрического датчика давления для оценки качества процесса сгорания в двигателе [4]. Такой датчик легко монтируется на головке цилиндров двигателя без демонтажа деталей. Наряду с простотой процесса диагностирования отсутствует возможность непосредственного измерения давления и локализации неисправности в пределах одного цилиндра.

Институтом «AVL» разработан новый миниатюрный пьезокварцевый датчик давления, модель QC31D, с водяным охлаждением и повышенной точностью, предназначенный для построения индикаторной диаграммы двигателя внутреннего сгорания (ДВС) [5]. Компенсационная мембрана датчика с покрытием из нитрида и титана надежно защищает измерительный элемент от тепловых нагрузок с максимальной температурой 2500°С, воздействия агрессивных компонентов топлива и газов, от загрязнения частицами сажи. Предусмотренные в головке датчика направляющие элементы для воды создают условия для ее интенсивного и равномерного охлаждения. Датчик выгодно обеспечивает процесс диагностирования в функциональном режиме двигателя, но при этом на изменение индикаторного давления наряду с техническим состоянием ЦПГ влияет множество других факторов: производительность форсунок, работа свечей зажигания, что, несомненно, затрудняет постановку точного диагноза.

В работе [6] рассмотрена проблематика измерения давления в камере сгорания ДВС. Дана оценка двум методам измерения: косвенного, предусматривающего измерения ускорения, вибрации и деформации деталей

головки цилиндра, и прямого - путем измерения давления газа в камере с помощью охлажденного водой кварцевого датчика. Предложена новая конструкция пьезокерамического датчика, который устанавливается вне камеры сгорания. Пьезоэлектрическая постоянная примененной пьеза керамики позволяет повысить точность измерений, но не позволяет решить существующие проблемы аналогов, которые связаны с трудностями постановки диагноза в отношении ЦПГ и герметичности клапанов двигателя.

На другом принципе основано действие оптического датчика, который представляет собой цилиндрическую трубку, заполненную светопроводящим веществом и закрытую снизу тонкой мембраной [7]. Датчик устанавливается в отверстие свечи зажигания. Сверху к трубке примыкает световой канал. По изменению интенсивности света, проходящего через трубку, вследствие изменения отражающих свойств мембраны оценивается величина давления под мембраной и в камере сгорания ДВС. На показания оптического датчика, в отличие от электрического датчика, не влияет магнитное поле от искровой свечи зажигания. Датчик нечувствителен также к усилию затяжки прокладки свечи. Нетрадиционный способ измерения давления с помощью оптического датчика требует использование дополнительного оборудования для преобразования первичного сигнала от датчика в аналоговый сигнал. Поэтому прибор не пошел в серийное производство.

Заслуживают интерес разработки в области тензометрии [8]. Тензометрический датчик обеспечивает измерение давления газов в цилиндре ДВС и состоит из цилиндрического корпуса с тонким плоским дном, на котором наклеены тензометрические резисторы. Преимуществами такого датчика являются: недорогая и простая конструкция, аналоговый сигнал на выходе, подготовленный для АЦП. Применение одно-мембранной конструкции с одной стороны повышает чувствительность датчика, с другой – снижает надежность и долговечность прибора в целом.

По пути развития интегральных датчиков давления на основе эффекта пьезометрического сопротивления в кристаллах кремния пошли английские ученые [9, 10]. Датчики этого типа представляют собой цилиндр, ввертываемый в отверстие головки двигателя. Выступающий в камеру сгорания конец датчика выполнен в виде колпачка, дно которого представляет собой диафрагму. Уси-

лие, действующие на диафрагму, передается через шток к кремниевому элементу, при деформации которого возникает электрический сигнал. Для предохранения колпачка от разрушения под действием давления внутри него расположена медная втулка с отверстием для прохода штока. Это снижает чувствительность датчика и вызывает увеличение нелинейности измерения.

Ряд интересных предложений сделаны совместно японскими и американскими учеными [11-15]. Разработаны конструктивные модификации чувствительных элементов, исследована возможность компьютеризации датчиков давления, изготовленных по технологии “кремний на изоляторе”. Рассмотрены проблемы миниатюризации датчиков [16], когда пьезоэлектрический датчик конструктивно выполнен в виде кольца, устанавливаемого под свечой зажигания. Существенным недостатком датчиков для косвенного измерения давления в цилиндре остается тот факт, что погрешность такого метода измерения превышает погрешность средств измерений.

#### **Цель и постановка задачи**

Цель работы – разработать и усовершенствовать цифровой стенд для диагностики герметичности камеры сгорания двигателя автомобиля.

Задачи: анализ конструктивных особенностей существующих способов и методов измерения давления в цилиндре двигателя; разработка измерительного стенда; исследования диагностических параметров и правил технической эксплуатации двигателя.

#### **Реализации диагностической системы с помощью цифровых технологий**

Первичный анализ возможных способов реализации современной диагностической системы позволяет выстроить дифференциальную цепочку для выбора возможной функциональной схемы процесса диагностирования ЦПГ двигателя (рис. 1).

Датчик давления последовательно подключается к местам измерения. Информация передается через аналогово-цифровой преобразователь в микропроцессор и отображается на мониторе. После чего записывается в память компьютера для дальнейшего хранения и воспроизведения. Прикладное программное обеспечение обрабатывает всю поступившую информацию согласно диагностической модели, после чего делается заключение о техническом состоянии объекта. Диагно-

стическое заключение выводится на экран монитора или печатающее устройство, мо-

жет сохраняться в электронном виде и передаваться по сети Internet.



Рис. 1. Схема получения и обработки диагностической информации

Таким образом, возможно несколько способов реализации диагностической модели ЦПГ – это диагностирование с помощью манометрических датчиков и диагностирование с использованием электронных средств получения и обработки информации. Датчики могут быть аналогового или дискретного типа. Достаточным условием получения первичной диагностической информации является последовательное использование одного аналогового датчика совместно с АЦП. Для обработки, хранения и демонстрации результатов диагностирования необходимым условием является наличие системного блока компьютера, программного обеспечения, дисплея и принтера.

Условия процесса диагностирования ЦПГ определяют требования, которые необходимо предъявлять к выбору датчика, как к первичному элементу получения диагностической информации. Прежде всего, у датчика должны быть малые габаритные размеры, которые позволили бы установить датчик в непосредственной близости от цилиндра двигателя. Для этого размеры датчика не должны превышать размеры свечи зажигания. Измерительная часть датчика должна быть устойчива к агрессивным средам, таким как бензин и его производные, масло и газы.

Измерение давления в цилиндрах проводится в тестовом режиме, когда нет воспламенения горючей смеси в цилиндрах и температура измеряемой среды не превышает рабочую температуру двигателя – 80°-100°С.

Этой температуре соответствует и температура картерных газов. Поэтому температурный диапазон датчика должен находиться в пределах от 0° до 100°.

Необходимость постоянного монтажа датчика определяет его устойчивость к механическим воздействиям. При поломке датчика должна иметься возможность его замены, т.е. датчик должен быть серийного производства.

Величина давления в цилиндре бензиновых двигателей за один рабочий цикл изменяется в пределах 0 – 1,6 МПа, следовательно, этому диапазону должна соответствовать манометрическая характеристика датчика.

На основании выполненного анализа выбран датчик серии МД10-В, который применяется в системах контроля газонефтепроводов. Габаритные размеры и характеристика этого датчика в полной мере удовлетворяют условиям проведения работ по диагностированию ЦПГ (рис. 2).

Мембрана датчика, воспринимающая давление, изготовлена из титанового сплава ВТ-9. Диапазон измеряемых давлений от 0 до 1,6 МПа. Диапазон рабочих температур от – 50° до +120° С. Сопротивление моста 4,5 кОм. Погрешность нелинейности измерений до 0,2%. Начальное значение выходного сигнала ±15 мВ. Диапазон выходного сигнала при номинальной нагрузке 100-200 мВ. Контролируемые среды: углекислый газ, бензин, масло и прочие.

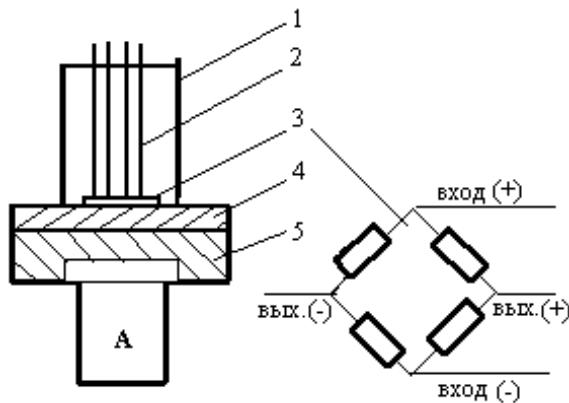


Рис. 2. Датчик МД10-В: 1 – корпус; 2 – контактная группа; 3 – тензочувствительный элемент (мост Уитстона); 4 – сапфировая мембрана; 5 – титановая мембрана; А – полость давления

Начальный разбаланс мостовой схемы связан с разбросом сопротивлений тензорезисторов, проводов и контактных соединений. Под действием давления измеряемой среды в полости А, титановая 5 и сапфировая 4 мембраны прогибаются. Тензорезисторы 3, выполненные на сапфировой мембране 4, меняют свое сопротивление, что приводит к разбалансу моста Уитстона. Разбаланс пропорционален измеряемому давлению. Условие равновесия моста следующее:

$$R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_4. \quad (1)$$

Тензодатчик обеспечивает пропорциональное преобразование давления в электрический сигнал. Коэффициент тензочувствительности такого преобразования равен:

$$k = \frac{l \cdot \Delta R}{R \cdot \Delta l}, \quad (2)$$

где  $\Delta R$  – изменение сопротивления тензорезистора;

$R$  – номинальное сопротивление тензорезистора;

$\Delta l$  – упругая деформация на длине тензорезистора;

$l$  – база тензорезистора.

Связь упругих деформаций с напряжениями в деталях определяется законом Гука. В случае одноосного напряженного состояния имеем зависимость:

$$\sigma = \varepsilon E = \frac{\Delta l}{l} E, \quad (3)$$

где  $\sigma$  – напряжение;

$\varepsilon$  – относительная деформация;

$E$  – модуль упругости.

Выразив из выражения (2) относительную деформацию через соотношение величин сопротивления тензорезистора получим выражение, которое определяет характеристику работы тензодатчика:

$$\sigma = \frac{\Delta R}{kR} E. \quad (4)$$

Процесс преобразования между аналоговыми и цифровыми величинами является основной операцией в вычислительных и управляющих системах. Путем преобразования в цифровую информацию с помощью АЦП таких физических параметров, как давление, усилие, перемещение, температура и многих других реализуются высокоскоростные, устойчивые и относительно недорогие системы измерения и передачи данных. Сравнительный анализ существующих технических характеристик АЦП ведущих зарубежных фирм, таких как: Fastwel, Advantech, Dataforth, Diamond Systems, ADDI-DATA, – позволяет сделать заключение, что на современном этапе технического развития получили широкое применение многоразрядные преобразователи, имеющие дифференциальные и потенциальные входы и частоту дискретизации 100 кГц и выше.

Для разрабатываемого диагностического комплекса основными критериями при выборе АЦП являются следующие условия: конструктивная совместимость АЦП с системным блоком компьютера; способность выполнять опрос датчика с высокой степенью дискретизации, обеспечивающей измерение давления в цилиндре двигателя при каждом градусе поворота коленчатого вала; удовлетворительные точностные характеристики; стоимость АЦП должна быть соизмерима со стоимостью системного блока.

Совместимость АЦП с системным блоком компьютера определяется, во-первых, возможностью их подключения по имеющимся каналам связи, во-вторых, возможностью обмена информацией между операционными системами АЦП и процессором.

Разрешающую способность АЦП по частоте опроса датчика можно определить исходя из необходимого количества измерений за один оборот коленчатого вала с учетом заданной частоты вращения коленчатого вала:

$$v_d = q \frac{n_b}{60}, \quad (5)$$

где  $q$  – количество измерений величины давления в цилиндре за один оборот коленчатого вала;

$n_b$  – частота вращения коленчатого вала.

Для научных исследований интерес представляет изменение давления в цилиндре при различных углах положения коленчатого вала. Идеальный случай, когда давление в цилиндре будет измеряться при каждом градусе поворота коленчатого вала, т.е. не менее 360 раз за один оборот коленчатого вала. Максимальная частота вращения коленчатого вала, приводимого стартером, может достигать 350-450 мин<sup>-1</sup>. При таких условиях разрешающая частота дискретизации АЦП должна составлять не менее 2100-2700 Гц.

Точностные параметры АЦП характеризуют статическая и динамическая составляющие процесса преобразования. При подаче на вход АЦП линейно изменяющегося напряжения на выходе из него наблюдается последовательное изменение кодов. Округленный до целого числа двоичный логарифм номинального числа значений выходного кода определяет разрядность АЦП [17]:

$$b = \log_2 N, \quad (6)$$

где  $N$  – число значений выходного кода.

Для идеального АЦП напряжение межкодовых переходов соответствует опорным напряжениям, формируемых делителем опорных напряжений (рис. 3).

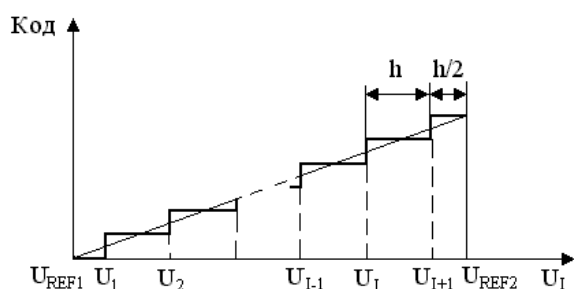


Рис. 3. Характеристика преобразования идеального АЦП [17]

Разность значений напряжений межкодового перехода определяет шаг квантования АЦП. Для того чтобы прямая, проведенная через точки, соответствующие опорным напряжениям  $U_{REF1}$  и  $U_{REF2}$ , прошла через центры всех ступеней характеристики преоб-

разования идеального АЦП, напряжение первого межкодового перехода  $U_1$  должно отстоять от опорного напряжения  $U_{REF1}$  на величину, равную половине шага квантования. Аналогично напряжение последнего межкодового перехода  $U_{i+1}$  должно отличаться от опорного напряжения  $U_{REF2}$  также на половину шага квантования. Для идеального АЦП ширина ступеньки, равная шагу квантования, будет определяться, как [17]:

$$h = \frac{(U_{REF2} - U_{REF1})}{2^{b-1}}. \quad (7)$$

Несоответствие идеальной и действительной характеристик преобразования определяет точностные параметры АЦП. В полной мере условиям процесса диагностирования ЦПГ двигателя удовлетворяет АЦП, который изготавливается в климатическом исполнении УХЛ категории 4.2 по ГОСТ 15150-69. По электробезопасности аппаратура соответствует классу защиты II, тип защиты ВФ согласно ГОСТ 12.2.025-76. В аппаратуре применяются комплектующие изделия общепромышленного производства, материалы и покрытия которых не являются токсичными. Устройства предназначены для работы в помещении при температуре окружающей среды  $0 \sim \dots 55 \sim \text{C}$ . Система обеспечивает коммутацию и аналогово-цифровое преобразование сигналов, установку коэффициента усиления по каждому из 6/12 каналов, программную установку частоты дискретизации сигнала, управление режимами работы и калибровку усилителя.

АЦП может осуществлять одновременную передачу информации по 8 каналам с частотой дискретизации 400Гц, либо передачу информации по одному каналу с частотой 3,2 кГц (переключение частоты дискретизации программное). Разрядность преобразования аналог-цифра 8/10, диапазон входных сигналов 0,2...2В (регулируется потенциометром при настройке АЦП). Коэффициент передачи входных сигналов программно управляем (независимо в каждом канале) относительно заданного при настройке исходного уровня. Постоянная составляющая по любому каналу не хуже  $\pm 1$  ед. мл. разряда. Уровень шумовых ошибок не хуже  $\pm 1$  ед. мл. разряда. Нелинейность амплитудной характеристики может составлять не более 1,5% и дополнительно 0,05% на 1<sup>o</sup>C. Погрешность измерения интер-

валов времени составляет 0,1% от измеренной величины. Эта погрешность обусловлена нестабильностью частоты задающего генератора процессора и учитывается при расчете погрешностей определяемых величин. Относительная погрешность измерительного канала с учетом погрешностей АЦП, датчика давления, измерения времени и температурной вариации составит 1,67%.

В настоящее время цифровая техника обновляется очень быстро, в течение 2-3 лет. Поэтому задача выбора архитектуры компь-

ютера заключается в подборе таких составляющих системного блока, которые обеспечили бы диагностическому стенду более длительное использование как в научных исследованиях, так и в производственной сфере технического обслуживания автомобилей.

Программное обеспечение диагностической системы включает базовую встроенную систему ввода-вывода, операционную систему, прикладные программы и языки программирования (рис. 4).

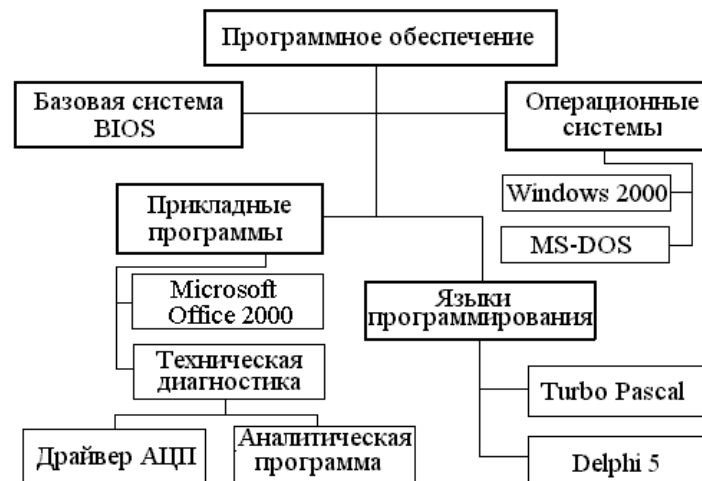


Рис. 5. Классификация программного обеспечения диагностического компьютера

Встроенная базовая система ввода-вывода (BIOS) хранится в постоянной памяти компьютера и осуществляет начальную загрузку операционной системы с жесткого диска компьютера. Диагностический компьютер использует две операционные системы MS-DOS и Windows. Операционная система Windows загружается при каждом включении компьютера и запускает прикладные программы. Преимущества этой современной операционной системы заключаются в том, что она имеет встроенную программную оболочку, которая максимально упрощает диалог оператора с компьютером. Получение первичной диагностической информации от датчика осуществляется, когда диагностический компьютер работает в режиме MS-DOS, что позволяет установить программную связь между процессором компьютера и АЦП.

Разработанный пакет диагностических программ имеет дружественный интерфейс с установленными операционными системами и прикладными программами. В качестве

прикладных программ использован стандартный пакет Microsoft Office, который ориентирован на работу со связью с Интернет. Программы интерактивных баз данных по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей позволяют определить номенклатуру запасных частей и их стоимость, если в результате диагностирования выявляются какие-либо неисправности.

Пакет диагностических программ состоит из программы-драйвера для АЦП и программы для обработки цифровой информации. Программа-драйвер написана на языке Turbo Pascal и позволяет управлять процессом измерения диагностических параметров, отображать этот процесс на мониторе, а также записывать полученную информацию в цифровом виде на жестком диске компьютера. Процесс обработки информации можно представить в виде двух последовательных алгоритмов, которые обеспечивают математическую обработку и графическое отображение информации (рис. 6).

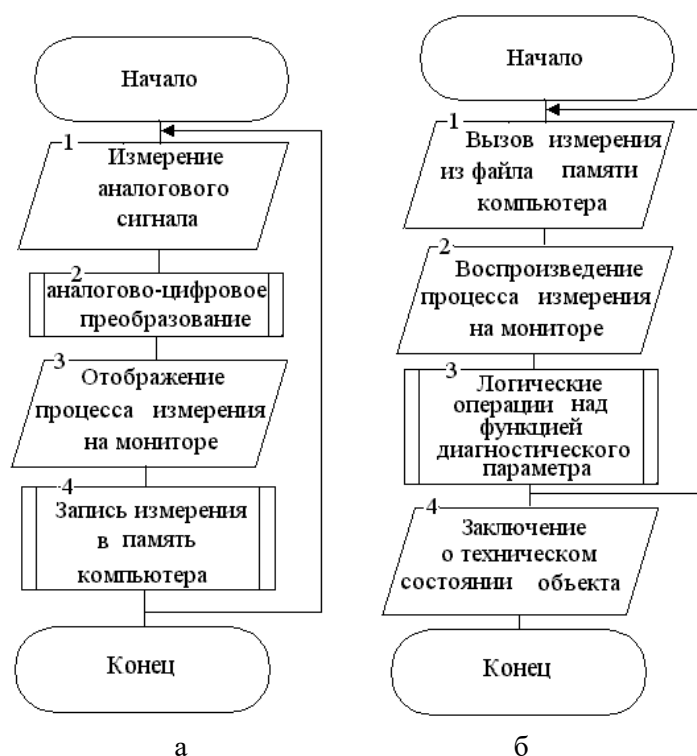


Рис. 6. Схемы общих алгоритмов функционирования диагностической системы: а – получение диагностической информации; б – цифровая обработка данных

#### Результаты цифровой диагностики герметичности камеры сгорания двигателя

Математическая обработка диагностической информации позволяет установить значения диагностических параметров и выполнить те логические операции, которые необходимы для объективного формирования диагностического заключения [18, 19]. Программа для обработки цифровой информации написана на современном языке Delphi, что позволяет обрабатывать большие массивы первичной информации в среде Windows и воспроизводить выполненные измерения, хранящиеся в памяти компьютера [20, 21]. Программа обеспечивает воспроизведение кривой изменения давления в цилиндре от времени (рис. 7, а) [22].

Поскольку выбранный датчик и АЦП обеспечивают линейное преобразование давления в аналогово-цифровой сигнал, обратный процесс преобразования цифрового сигнала в физическую величину описывается линейной функцией вида:

$$y = ax_c + v, \quad (8)$$

где  $x_c$  – цифровой сигнал (аргумент);

$a$  – коэффициент, задающий угол наклона линейной характеристики датчика;

$v$  – коэффициент, позволяющий совместить показания датчика при атмосферном давлении с началом отсчета в прямоугольной системе координат.

Для того чтобы свести к минимуму влияние технического состояния приборов электрооборудования, аккумулятора и стартера на процесс диагностирования ЦПГ в тестовом режиме программа отслеживает в автоматическом режиме изменение частоты оборотов коленчатого вала. С учетом того, что рабочий цикл двигателя происходит за два оборота коленчатого вала, можно принять с большой долей вероятности допущение, что экстремумы величины компрессии в цилиндре отмечаются через каждые два оборота коленчатого вала. Это положение подтверждается экспериментально графическим воспроизведением процесса измерения давления в цилиндре по углу поворота коленчатого вала (рис. 7, б).



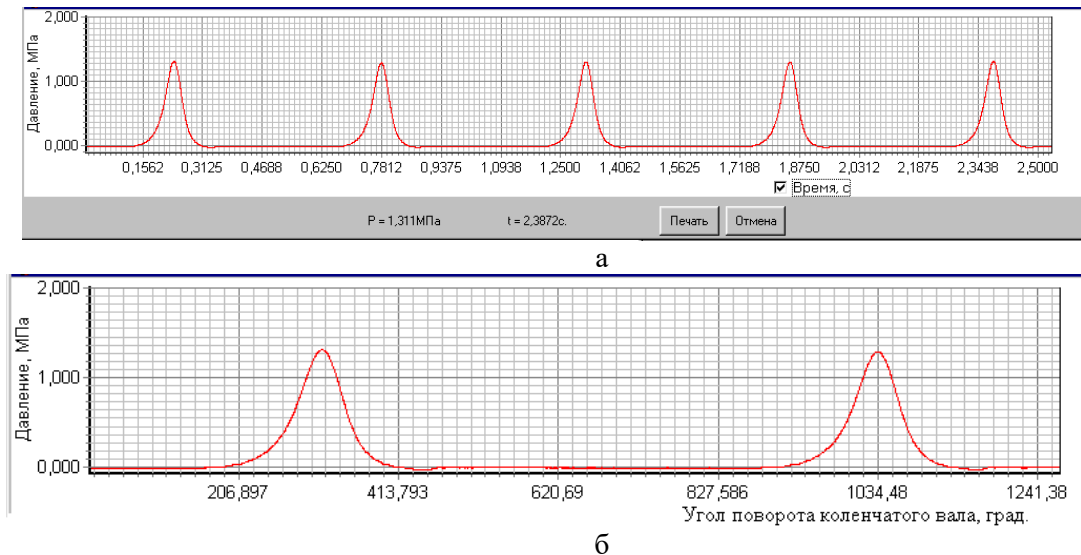


Рис. 7. Графическое воспроизведение процесса изменения давления в цилиндре двигателя: а – от времени; б – от угла поворота коленчатого вала

Зная интервал между двумя экстремумами величины давления, представляется возможным определить частоту вращения коленчатого вала по формуле,  $\text{мин}^{-1}$ :

$$n_{p.ц} = \frac{120}{t_{ц}}, \quad (9)$$

где  $t_{ц}$  – время одного рабочего цикла двигателя (два оборота коленчатого вала), с.

Диагностическая система нормально функционирует при температуре окружающего воздуха от  $5^{\circ}\text{C}$  до  $35^{\circ}\text{C}$  и относительной влажности воздуха от 5 до 95% без конденсации влаги и обеспечивает выполнение следующих операций:

- представление диагностической информации выводится на монитор в цифровом и графическом виде;

- осуществляет ввод и корректировку настроечных коэффициентов измеряемых параметров;

- представляет калибровку датчика;

- выполняет логические операции и расчеты по заданным функциям;

- производит построение отдельных графиков по каждой функции;

- формирует и выдаёт (по команде оператора) диагностическое заключение;

- обеспечивает длительное хранение и просмотр диагностической информации.

Установка датчика в необходимые точки измерения может быть труднодоступна в связи с конструктивными особенностями расположением деталей двигателя, например, глубокой посадкой свечей зажигания в

головке двигателя, у которого на каждый цилиндр приходится по четыре – пять клапанов. Чтобы обеспечить подключение датчика к местам диагностирования возникает необходимость в использовании специального адаптера (рис. 8) [22].

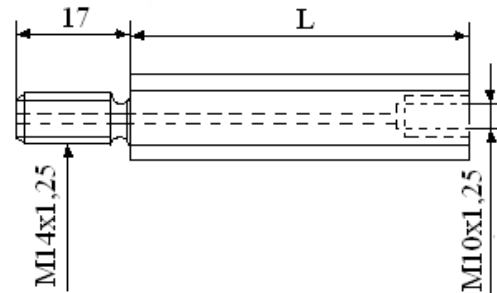


Рис. 8. Адаптер, который предназначен для подключения датчика к цилиндру двигателя

С учетом особенностей конструкции большинства автомобильных двигателя разработан специальный типоразмер адаптера для подключения датчика к цилиндрам (табл. 1).

Табл. 1 – Типоразмер адаптера, который предназначен для подключения датчика

Длина переходника, L (мм)	Тип двигателя
30	Рядное расположение цилиндров, два клапана на цилиндр
60	V-образное расположение цилиндров
120	4 и 5 клапанов на цилиндр

### Экспертные исследования технического состояния двигателя

Также выполнялись исследования по оценке герметичности камеры сгорания в рамках проведения автотехнической экспертизы технического состояния двигателя. Так, например, было установлено, что у нового автомобиля AUDI-A6 на пробеге всего 450 км в цилиндрах 2 и 4 произошел отказ системы регулирования фаз – по одному впускному клапану в этих цилиндрах зависло на малом открытии (1 мм), что привело к перегреву этих впускных клапанов и потере компрессии в этих цилиндрах из-за потери ими контакта с седлами. По приезду на СТО дилера (лампа Check, неустойчивая работа, потеря мощности) была выполнена мойка форсунок специальной жидкостью, в результате которой сгорели все свечи, а обломки изоляторов повредили поршни и цилиндры (рис. 9).



Рис. 9. Поврежденные детали двигателя AUDI-A6

Путем измерений было установлено, что потеря компрессии в цилиндрах 2 и 4 связана с клапанной группой, а результаты измерений в остальных цилиндрах отражают характер повреждения ЦПГ (табл. 2), при котором поступление значительного количества масла вызвало повышение компрессии.

Табл. 2 – Результаты измерения компрессии в неисправном двигателе AUDI-A6

№ цилиндра	1	2	3	4	5	6
Компрессия, Bar	19,4	0	17,9	0	17,5	17,9

### Выводы

Разработана система диагностирования ЦПГ и герметичности клапанов двигателя, которая включает в себя современный аналогово-цифровой диагностический стенд; методику, которая охватывает весь процесс от подключения датчика до обработки и получения диагностической информации и является универсальной по отношению к различным маркам двигателей автомобилей.

Система обеспечивает более быстрый процесс диагностирования ЦПГ и герметичности клапанов двигателя в течение 20-30 мин. При этом погрешность измеряемой величины давления не превышает 1,7%, что на 0,3-1,3% меньше чем у известных аналогов.

С использованием разработанной диагностической системы выполнены экспериментальные исследования по оценке изменения давления в цилиндрах двигателя. Установлено, что значительные неисправности двигателя с выходом из строя сразу нескольких деталей его основных механизмов сопровождается выходом за пределы допустимого одновременно двух и более диагностических параметров – это падение величины компрессии и увеличение ее разности между цилиндрами двигателя.

### Литература

1. Golovan A., Rudenko S., Gritsuk I. et al. Improving the Process of Vehicle Units Diagnosis by Applying Harmonic Analysis to the Processing of Discrete Signals / SAE Technical Paper, 2018.
2. Gritsuk I. V., EY E. Z., Bulgakov N. et al. The complex application of monitoring and express diagnosing for searching failures on common rail system units / SAE Technical Paper, 2018.
3. Gritsuk I. V., Volkov V., Mateichyk V., et al. Information model of V2I system of the vehicle technical condition remote monitoring and control in operation conditions / SAE Technical Paper, 2018.
4. Capteur de cliquetis pur un vehicule automobile. Application 2762646 France, IPC F02B77 / 08 / Harbinger Eve; Semen's Automotive SA -№ 9705523; Statement 29.4.97; Posted by 30.10.98.
5. Druckmessunog in Verbrennungsmotoren. Maschinenwelt - Elektrotechn. – 1992-47, № 3. С. 93 (Deutsch).
6. Klopfdrucksensor für Otto-Motoren. Messen und Prüfen-1992-28 , № 5, С.18-19 (Deutsch).
7. Sensoreinrichtung in Brennkraftmaschinen: Application 3934118 Germany, MKI G 01 L 23/24. Fisher Gregor, Bayerische Motoren Werke AG.-No. 3934118.6; Statement 12.10.89; Posted by 18.04.91.
8. Druckaufnehmer : Application 4016872 Germany, MKI5 G01L23 / 18, G01L23 / 22; Neubeck

- Kurt, Müller Werner, Heller Heinz, Roth Alfred, Alexander Wiegand GmbH No. 4016872.7; Application 05.26.90; Posted by 28.11.91.
9. High pressure sensor: Application 2244335 United Kingdom, MKI5 G01L23 / 08 / Glanfield Simon Kevin, STC plc-No 011694.8; Application on 05.24.90; Posted by 27.11.91.
  10. Sensoreinrichtung in Brennkraftmaschinen: Application 3934118 Germany. Baskett Ira, Frank Randy, Slocum Dan. Sensors – 1991-8 № 3. P. 32,34-38,40.
  11. Cylinder pressure sensor for an internal combustion engine: U.S. Patent 5038069, MKI5 H01L41/08/ Lukasiewicz Stanley, Anastasia Charles M., Cooper Lawrence E., Pestana Gregg W.; Texas Instruments Inc. - No. 118374; Statement 11/09/87; Posted on 08/06/91 NKI 310/338.
  12. Pressure sensor having baffing means. U.S. Patent 4,920,805, MKI 5 G01L7 / 08 / Yajima Yasuhito, Watanabe Yasushi, Shibata Kazuyoshi: NGK Insulators-No. 268278; Statement 07.11.88; Published on May 1, 90; NKI 73/706.
  13. Japan Kinchi Mitsuhiro, Yuatsuto Kukiatsu – 1992-23. № 26 – P. 636-640.
  14. MKI4 G 01 L 23/22 / Takeuchi Kiyoshi, Nissan Jidosia No. 63-143176, Statement 10.6.88 Published 18, 89. Kokai tokkekho. Ser. 1989. 6 (1) 192. P. 235-241.
  15. Araki T., Takahashi J., Kobayashi E., Sakamoto S., Tads J. Mitsubishi Danki. -1991-65-No. 9- P. 80-83.
  16. Application 121353, MKI4 G01L23/10/ Iwata Toshio: Mitsubishi Danki KK No. 63-39910; Statement 22.2.88; Posted on 28.8.89. Kokai Tokke Koho. Series 6(1) – 1989-133. – P. 247-251.
  17. Марцинкявичюс А.-Й. К., Багданскис Э.-А. К., Пошюнас Р. Л. Быстродействующие интегральные микросхемы ЦАП и АЦП и измерение их параметров: Радио и связь, 1988. – 224с.
  18. Сараева И.Ю. Регрессионны анализ случайно величины компрессии. Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии: сб. науч. тр. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 2011. Вып. 51. – С. 105-110.
  19. Сараева И.Ю., Дибров В.К. Закономерность распределения случайной величины компрессии в двигателях внутреннего сгорания. Scientific discussion. №38. Praha, Czech Republic. - 2019. С 48-52.
  20. Сараева І. Метод діагностики герметичності камери згорання бензинового двигуна автомобіля. Монографія под редакція naukowa Kazimierza Lejdy – Pzeszow, 2017. С. 85-93.
  21. Сараева И. Ю., Цапко С.С. Определение предельно-допустимых значений технического состояния цилиндра и поршня эмпирическим способом на автомобиле. Slovak international scientific journal №36, Bratislava, Slovakia. – 2019. С 36-43.
  22. Saraiev, O., Saraieva, I., Gritsuk, I., Volkov, V. et al. Automated Diagnostic System for Engine Cylinder-Piston Group. SAE Technical Paper 2020-01-2022. 2020.

### References

1. Golovan A., Rudenko S., Gritsuk I. et al. (2018) Improving the Process of Vehicle Units Diagnosis by Applying Harmonic Analysis to the Processing of Discrete Signals. SAE Technical Paper.
2. Gritsuk I. V., EY E. Z., Bulgakov N. et al. (2018) The complex application of monitoring and express diagnosing for searching failures on common rail system units / SAE Technical Paper.
3. Gritsuk I. V., Volkov V., Mateichyk V., et al. (2018) Information model of V2I system of the vehicle technical condition remote monitoring and control in operation conditions. SAE Technical Paper.
4. Capteur de cliquetis pur un vehicule automobile. Application 2762646 France, IPC F02B77 / 08 / Harbinger Eve; Semen's Automotive SA 9705523; Statement 29.4.97; Posted by 30.10.98.
5. Druckmessung in Verbrennungsmotoren. Maschinenwelt - Elektrotechn. 1992. 47 (3). 93.
6. Klopfdrucksensor für Otto-Motoren. Messen und Prüfen-1992-28, № 5, С.18-19 (Deutsch).
7. Sensoreinrichtung in Brennkraftmaschinen: Application 3934118 Germany, MKI G 01 L 23/24. Fisher Gregor, Bayerische Motoren Werke AG.- No. 3934118.6; Statement 12.10.89; Posted by 18.04.91.
8. Druckaufnehmer : Application 4016872 Germany, MKI5 G01L23 / 18, G01L23 / 22; Neubeck Kurt, Müller Werner, Heller Heinz, Roth Alfred, Alexander Wiegand GmbH No. 4016872.7; Application 05.26.90; Posted by 28.11.91.
9. High pressure sensor: Application 2244335 United Kingdom, MKI5 G01L23 / 08 / Glanfield Simon Kevin, STC plc-No 011694.8; Application on 05.24.90; Posted by 27.11.91.
10. Sensoreinrichtung in Brennkraftmaschinen: Application 3934118 Germany. Baskett Ira, Frank Randy, Slocum Dan. Sensors. 1991. 8 (3). 32,34-38,40.
11. Cylinder pressure sensor for an internal combustion engine: U.S. Patent 5038069, MKI5 H01L41/08/ Lukasiewicz Stanley, Anastasia Charles M., Cooper Lawrence E., Pestana Gregg W.; Texas Instruments Inc. - No. 118374; Statement 11/09/87; Posted on 08/06/91 NKI 310/338.
12. Pressure sensor having baffing means. U.S. Patent 4,920,805, MKI 5 G01L7 / 08 / Yajima Yasuhito, Watanabe Yasushi, Shibata Kazuyoshi: NGK Insulators-No. 268278; Statement 07.11.88; Published on May 1, 90; NKI 73/706.
13. Japan Kinchi Mitsuhiro, Yuatsuto Kukiatsu – 1992-23. 26. 636-640.
14. MKI4 G 01 L 23/22 / Takeuchi Kiyoshi, Nissan Jidosia No. 63-143176, Statement 10.6.88 Published 18, 89. Kokai tokkekho. Ser. 1989. 6 (1) 192. 235-241.

15. Araki T., Takahashi J., Kobayashi E., Sakamoto S., Tads J. (1991) Mitsubishi Danki. 9. 80-83.
16. Application 121353, MKI4 G01L23/10/ Iwata Toshio: Mitsubishi Danki KK No. 63-39910; Statement 22.2.88; Posted on 28.8.89. Kokai Tokke Koho. Series 6(1) 1989.133. 247-251.
17. Martsinkyavichyus A.-Y. K., Bagdanskis E.-A. K., Poshyunas R. L. (1988) By-istroydeystvuyushchie integralnyie mikroshemyi TsAP i ATsP i izmerenie ih parametrov [High-speed integrated circuits DAC and ADC and measurement of their parameters] Radio i svyaz [in Russian].
18. Saraeva I. Yu. (2011) Regressionnyi analiz sluchayno velichinyi kompressii. [Regression analysis of random compression magnitude.] Otkryitiye informatsionnyie i kompyuternyye integrovannyye tehnologii: sb. nauch. tr. Harkov: Nats. aerokosm. un-t «HAL», 51. 105-110 [in Russian].
19. Saraeva I. Yu., Dibrov V. K. (2019) Zakonomernost raspredeleniya sluchayno velichinyi kompressii v dvigatelyah vnutrennego sgoraniya. [Regularity of distribution of a random variable of compression in internal combustion engines] Scientific discussion. Praha, Czech Republic. 28. 48-52 [in Russian].
20. Saraeva I. (2017) Metod diahnostryky hermetychnosti kamery zghorannia benzynovoho dvyhuna avtomobilia. [Method of diagnostics of tightness of the combustion chamber of the gasoline engine of the car] Monografia pod redakcja naukowa Kazimierza Lejdy. Pzeszow. 85-93 [in Ukrainian].
21. Saraeva I. Yu., Tsapko S. S. (2019) Opredelenie predelno-dopustimyih znacheniy tehnicheskogo sostoyaniya tsilindra i porshnya empiricheskim sposobom na avtomobile. [Determination of the maximum permissible values of the technical state of the cylinder and piston empirically on a car] Slovak international scientific journal. Bratislava, Slovakia. 36. 36-43 [in Russian].
22. Saraiev, O., Saraeva, I., Gritsuk, I., Volkov, V. et al. (2020) Automated Diagnostic System for Engine Cylinder-Piston Group. SAE Technical Paper 2020-01-2022.

**Сараева Ирина Юрьевна**<sup>1</sup>, к.т.н., доцент, тел. +38 050-64-00-787, e-mail: sarayeva9@gmail.com.

**Хрулев Александр Эдуардович**<sup>2</sup>, к.т.н., с.н.с., судебный эксперт по специальности 10.2 "Исследование технического состояния транспортных средств", alo.engine@gmail.com, тел. +380961632183

**Воробьев Александр Николаевич**<sup>1</sup>, аспирант, тел. +38 093-47-76-660, sanechek007@icloud.com.

**Сибко Дмитрий Павлович**<sup>1</sup>, аспирант, тел. +38 099-107-22-82, e-mail: dsebko@gmail.com

<sup>1</sup>Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, 61002, Украина, г. Харьков, ул. Ярослава Мудрого, 25.

<sup>2</sup>Международное моторное бюро, ул. Школьная, д.15, пгт. Немешаево, Бородинский район, Киевская область, 07853, Украина.

### Digital diagnostics for determining the tightness of the combustion camera of the car engine

**Annotation. Problem.** The work is aimed at increasing the reliability, accuracy, information content and depth of the process of diagnosing the cylinder-piston group of the engine. For this, an automated diagnostics system has been developed, which includes a system unit with a monitor, special software for measuring and processing information, a measuring analog-digital module, adapters for connecting to the engine. The diagnostic system allows you to record the change in pressure in the cylinder with each degree of crankshaft rotation with an error that does not exceed 1.7%. The system also allows you to save, reproduce and transfer diagnostic information in digital, graphic and text form. It can be used for expert studies of the technical condition of engine mechanisms. **Purpose.** The purpose is to develop and improve a digital stand for diagnostics of the tightness of a car engine combustion chamber. **Methodology.** The complex process of diagnostics of mechanisms ensuring the tightness of its chambers is considered. The current digital technology is used to measure the pressure in the camera. To improve the accuracy of diagnostics, a digital system of rejection of diagnostic information is thoroughly implemented. Experimental tests are conducted, as well as an expert advice on the technical definition of the engine, its mechanics and details. **Results.** The system for diagnosing the tightness of the combustion chamber has been developed and tested, which includes a modern analog-digital diagnostic stand and a technique that will allow the whole process of connecting the sensor to the processing of the form of diagnostics to the vehicle. The system will secure a faster process of diagnostics of an engine during 20-30 min. At the same time, the decrease in the size of the grip does not exceed 1.7%, which is 0.3-1.3% less than with the known analogs. **Originality.** Thanks to a more advanced digital system for measuring the pressure in the engine cylinders in the work the curves of changes in this pressure at each degree of rotation of the crankshaft and at different speeds of its rotation are obtained. **Practical value.** Developed and improved digital stand and method of measuring the pressure in the cylinders of the engine can be used for diagnostic work at car service stations, as well as for automotive research (expertise) to determine the development of fault mechanisms engine.

**Keywords:** car, engine, diagnostics, stand, dimension, parameter, incompatibility, airtightness, combustion chamber, pressure.

**Saraeva Irina**<sup>1</sup>, Ph.D., Assoc. Prof., tel. +38 050-64-00-787, e-mail: sarayeva9@gmail.com.

**Khrulev Alexander E.**<sup>2</sup>, Ph.D., Senior Researcher, forensic expert on specialty 10.2 "Study of the vehicles technical condition", alo.engine@gmail.com, tel. +38 096 616 183

**Vorobiov Oleksandr M.**<sup>1</sup>, P.G., tel. +38 093-47-76-660, e-mail: sanechek007@icloud.com.

**Sebko Dmytro**<sup>1</sup>, P.G., +38 099-107-22-82, e-mail: dsebko@gmail.com

<sup>1</sup>Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslav Mudry street, Kharkiv, 61002, Ukraine.

<sup>1</sup>International Motor Bureau, Shkolnaya str., 15, Nemeshaevo, Borodyansky district, Kiev region, 07853, Ukraine.

### **Цифрова діагностика для визначення герметичності камери згоряння двигуна автомобіля**

**Анотація.** Робота спрямована на підвищення достовірності, точності, інформативності і заглибленості процесу діагностування циліндро-поршневої групи двигуна. Для цього розроблена автоматизована система діагностування, яка включає в себе системний блок з монітором, спеціальне програмне забезпечення для вимірювання і обробки інформації, вимірювальний аналогово-цифровий модуль, адаптери для підключення до двигуна. Діагностична система дозволяє фіксувати зміну тиску в циліндрі при кожному градусі повороту колінчастого вала з похибкою, яка не перевищує 1,7%. Також система дозволяє зберігати, відтворювати і передавати діагностичну інформацію в цифровому, графічному і текстовому вигляді. Може використовуватися при експертних дослідженнях технічного стану механізмів двигуна. **Мета.** Розробити та вдосконалити цифровий стенд для діагностики герметичності камери згоряння двигуна автомобіля. **Методологія.** Розглянутий складний процес діагностування механізмів двигуна, що забезпечують герметичність його камер згоряння. Застосовані сучасні цифрові технології вимірювання тиску в камері згоряння двигуна. Для покращення точності діагностування вдосконалені цифрова система отримання діагностичної інформації. Проведенні експериментальні випробування, а також експертні дослідження з визначення технічного стану двигуна, його механізмів та деталей. **Результати.** Розроблено

та апробовано систему діагностування герметичності камери згоряння двигуна, яка включає в себе сучасний аналогово-цифровий діагностичний стенд та методику, що охоплює весь процес від підключення датчика до обробки і отримання діагностичної інформації і є універсальною по відношенню до різних марок двигунів автомобілів. Система забезпечує більш швидкий процес діагностування двигуна протягом 20-30 хв. При цьому похибка вимірюваної величини тиску не перевищує 1,7%, що на 0,3-1,3% менше ніж у відомих аналогів. **Оригінальність.** Завдяки більш вдосконаленій цифровій системі вимірювання тиску в циліндрах двигуна в роботі отримані криві зміни цього тиску при кожному градусі оберту колінчастого вала і при різних швидкостях його обертання. **Практична цінність.** Розроблені та удосконалені у роботі цифровий стенд та методику вимірювання тиску в циліндрах двигуна можна застосовувати при проведенні діагностичних робіт на станціях технічного обслуговування автомобілів, а також при проведенні автотехнічних досліджень (експертиз) з визначення розвитку механізмів несправності двигуна.

**Ключові слова:** автомобіль, двигун, діагностика, стенд, вимір, параметр, несправність, герметичність, камера згоряння, тиск.

**Сарасва Ірина Юрївна**<sup>1</sup>, к.т.н., доцент, тел. +38 050-64-00-787, e-mail: sarayeva9@gmail.com.

**Хрулев Олександр Едуардович**<sup>2</sup>, к.т.н., с.н.с., судовий експерт за фахом 10.2 «Дослідження технічного стану транспортних засобів», alo.engine@gmail.com, тел. +380961632183

**Воробйов Олександр Миколайович**<sup>1</sup>, аспірант, e-mail: sanechek007@icloud.com, тел. +38 093-47-76-660

**Себко Дмитро Павлович**<sup>1</sup>, аспірант, тел. +38 099-107-22-82, e-mail: dsebko@gmail.com

<sup>1</sup>Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25.

<sup>2</sup>Міжнародне моторне бюро, вул. Шкільна, д.15, смт. Немішаєве, Бородянський район, Київська область, 07853, Україна.