

УДК 621.43.068/.431

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЦИЛИНДРОПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Аталиков А.Н.

ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», Оренбург,
e-mail: amir_056.1993@mail.ru

В статье проведён анализ и оценка применимости методов диагностирования цилиндропоршневой группы двигателей автомобилей. Проведено сравнение стандартизованных прямых и косвенных диагностических параметров цилиндропоршневой группы. Дана краткая характеристика косвенных методов оценки технического состояния цилиндропоршневой группы двигателя по характеристикам вибрации; количеству газов, прорывающихся в картер; давлению сжатого воздуха, подаваемого в цилиндры; расходу моторного масла на угар; содержанию оксида углерода, углеводородов и дымности в отработавших газах; составу элементов износа в масле. Обоснована перспективность проведения диагностирования технического состояния двигателя внутреннего сгорания по составу и концентрациям твердых частиц металлов в отработавших газах. Определены перспективы дальнейшего исследования и развития предлагаемого метода для установления закономерностей между концентрациями металлических частиц и степенью изнашивания элементов цилиндропоршневой группы.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, техническое состояние, цилиндропоршневая группа, диагностирование, прямые и косвенные диагностические параметры, отработавшие газы, концентрации твердых частиц

ANALYSIS OF METHODS OF DIAGNOSTICS OF THE CYLINDER-PISTON GROUP FOR ESTIMATION OF THE TECHNICAL CONDITION OF THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE

Atalikov A.N.

Federal State Budget Educational Establishment of Higher Education «Orenburg State University»,
Orenburg, e-mail: amir_056.1993@mail.ru

The article analyzes and assesses the applicability of the methods for diagnosing the cylinder-piston group of car engines. The standardized direct and indirect diagnostic parameters of the cylinder piston group are compared. A brief description of indirect methods for assessing the technical condition of the cylinder-piston engine group according to vibration characteristics is given; number of gases bursting into the crankcase; pressure of compressed air supplied to the cylinders; consumption of engine oil in the event of a burn; the content of carbon monoxide, hydrocarbons and smokiness in the exhaust gases; composition of wear elements in oil. The prospects for diagnosing the technical state of the internal combustion engine based on the composition and concentrations of solid metal particles in the exhaust gases are justified. The prospects of further research and development of the proposed method for determining the regularities between the concentrations of metal particles and the degree of wear of the elements of the cylinder-piston group are determined.

Keywords: Internal combustion engine, technical condition, cylinder piston group, diagnosis, direct and indirect diagnostic parameters, exhaust gases, concentrations of solids

В процессе эксплуатации автомобильных двигателей своевременное диагностирование и прогнозирование технического состояния общепринято рассматривать как главное условие обеспечения их эффективности и эксплуатационной надёжности. Среди узлов и деталей двигателей автомобилей цилиндропоршневая группа (ЦПГ) наиболее подвержена эксплуатационному износу. Поэтому оценке технического состояния ЦПГ необходимо уделять особое внимание.

Структурно-следственная схема ЦПГ ДВС как объекта диагностирования приведена на рисунке [5]. Как видно из схемы, ЦПГ ДВС представляет собой сложный объект диагностирования, причем ни один из диагностических параметров не позволяет

однозначно установить неисправность конкретного элемента. В таких неопределённых и сложных условиях очень важно правильно выбрать метод диагностирования.

Стандартизованы [2] прямые и косвенные диагностические параметры ЦПГ (табл. 1). Прямой – структурный параметр (например, износ, зазор в сопряжении и др.), который непосредственно характеризует техническое состояние объекта. Косвенный параметр (например, давление масла, время, содержание оксида углерода в отработавших газах и др.) косвенно характеризует техническое состояние ЦПГ [2]. Широкая применимость косвенных методов при оценке технического состояния ЦПГ объясняется возможностью диагностики ДВС без дефектовки.



Структурно-следственная схема ЦПГ ДВС как объекта диагностирования [5]

Таблица 1
Стандартизованные в ГОСТ 23435-79 [2] диагностические параметры ЦПГ

Прямой диагностический параметр, мм	Косвенный диагностический параметр
1 Зазор между поршнем и кольцом по высоте канавки. 2 Зазор между цилиндром (гильзой цилиндра) и поршнем в верхнем поясе.	1 Характеристики вибрации, м/с ² (дБ). 2 Количество газов, прорвавшихся в картер (м ³ /с) или давление газов в картере кПа (кгс/см ²). 3 Расход давления сжатого воздуха (м ³ /с) или падение давления сжатого воздуха подаваемого в цилиндры, кПа (кгс/см ²). 4 Расход масла на угар, кг/ч. 5 Концентрация оксида углерода в отработавших газах, мг/м ³ 6 Дымность отработавших газов, м ⁻¹
3 Зазор в стыках поршневых колец.	7 Качественный и количественный состав элементов износа в масле

Ниже приведена краткая характеристика косвенных методов оценки технического состояния ЦПГ ДВС.

Оценка технического состояния ЦПГ ДВС по характеристикам вибрации – метод диагностирования технических систем и оборудования, основанный на анализе параметров вибрации, создаваемой работающими деталями ДВС. При вибрационной диагностике как правило исследуются временной сигнал или спектр вибрации того или иного оборудования. С точки зрения вибрационной диагностики наиболее информативными являются колебания, вызываемые силами в ЦПГ, порождающие удары в различных сопряжениях (механические удары в сопряжении поршень-цилиндр).

Оценку технического состояния ЦПГ ДВС по количеству газов, прорывающихся

ся в картер, проводят следующим образом: запускают двигатель и прогревают его до рабочей температуры; индикатор с помощью переходника присоединяют к заливной горловине двигателя и устанавливают в вертикальном положении. Прорывающиеся в картер газы проходят через корпус индикатора и поднимают поршень в сигнализаторе (поршень всплывает). Если расход газов превышает допускаемое значение, то двигатель подлежит ремонту. Повышенный расход газов может быть либо по причине чрезмерного износа ЦПГ, либо вследствие закоксовывания или поломки поршневых колец в разных цилиндрах. Если суммарный расход газов превышает 70 % предельного значения, то следует проверить исправность каждого цилиндра по отдельности.

Оценку технического состояния двигателя по давлению сжатого воздуха, подаваемого в цилиндры (компрессия) проводят на прогретом двигателе (табл. 2). При измерении снимают все форсунки и ДВС прокручивают пусковым двигателем или стартером. В период прокручивания ДВС компрессометр устанавливают поочередно на все цилиндры в форсуночные отверстия и измеряют максимальное давление воздуха на такте сжатия. Измерение компрессии дизеля позволяет оценить работоспособность отдельных цилиндров двигателя путем измерения максимального давления сжатия (компрессии) в режиме стартерного пуска. Измерение компрессии осуществляется для выявления дефектного цилиндра [4].

Определение действительного значения удельного расхода моторного масла на угар проводится пробегом в 200-300 км. При этом уровень масла в картере, определяемый масляным щупом, который должен быть в пределах нормы. Перед контрольным пробегом требуется прогрев двигателя, перед сливом температура масла должна быть 80-85 °С. Слив масла должен выполняться на ровной площадке, поршень первого цилиндра устанавливается в верхней мертвой точке, пробка заливной горловины должна быть открыта. Для исключения влияния на результат измерения работоспособности противодренажного клапана маслофильтра, необходимо определить вес маслофильтра с маслом до и после испытания, при этом

исключить выливание масла при демонтаже фильтра. Получив значение общего расхода масла, определяют расход масла на угар в процентах к расходу топлива. Превышение этого показателя на 4,5-5,0% свидетельствует о предельном износе поршневых колец или ЦПГ в целом.

Содержание оксида углерода (СО) и углеводородов (СН) в ОГ определяют при работе ДВС на холостом ходу при минимальных и максимальных частотах вращения коленчатого вала с помощью многокомпонентных газоанализаторов. По измеренным концентрациям СО и СН можно выявить основные неисправности ДВС (табл. 3) [7].

Для определения дымности ОГ при полной нагрузке и максимальной частоте вращения коленчатого вала регистрируются показания дымомера на режимах свободного ускорения. Прибор для измерения дымности ОГ оцениваются на просвет. Непрозрачность ОГ определяется наличием части сажи, несгоревшего топлива, моторного масла и водяного пара. Усиленный выброс твердых частиц или несгоревшего топлива указывает на нарушения процесса сгорания, вызванные плохой подготовкой топливовоздушной смеси, например, из-за неисправных распылителей форсунок, ошибочно установленного начала подачи или высокого расхода масла при износе деталей ЦПГ. Дымомер рекомендуется применять для предварительного определения дефектов.

Таблица 2
Определение неисправностей ЦПГ по признакам, характерным для компрессии (фрагмент) [4]

Неисправность	Признаки неисправности	Компрессия, МПа	
		Открытая заслонка	Закрытая заслонка
1 Полностью исправный двигатель	Отсутствует	1,0-1,2	0,6-0,8
2 Трещина в перемычке	Синий дым выхлопа, большое давление в картере	0,6-0,8	0,3-0,4
3 Прогар поршня	Синий дым выхлопа, большое давление в картере, цилиндр не работает на малых оборотах	0,4-0,5	0-0,1
4 Залегание колец в канавках поршня	Синий дым выхлопа, большое давление в картере, цилиндр не работает на малых оборотах	0,2-0,4	0-0,2
5 Задир поршня и цилиндра	Синий дым выхлопа, большое давление в картере, цилиндр не работает на малых оборотах, возможна неустойчивая работа цилиндра на холостом ходу	0,2-0,8	0,1-0,5
6 Повышение нагара в камере сгорания в сочетании с изношенными маслоъемными колпачками и кольцами	Повышенный расход масла с синим дымом выхлопа	1,2-1,5	0,9-1,2
7 Повышенный износ ЦПГ	Повышенный расход топлива и масла на угар	0,2-0,4	0,6-0,8

Таблица 3

Перечень возможных неисправностей ДВС,
выявляемых при превышении концентраций СН и СО [7]

Причина	Неисправность
Повышенные концентрации СН	1. Проблемы в зажигании: неисправность катушек зажигания, дефект кабелей системы зажигания, дефект свечей зажигания (загрязнение, не отрегулированный зазор между электродами), слишком большой угол опережения зажигания. 2. Проблемы в составе рабочей смеси: неисправность форсунок (форсунки льют, равномерно не распыляют топливо, нарушен баланс форсунок, не герметичность форсунок), нарушение времени впрыска топлива, неисправность в работе датчиков температуры охлаждающей жидкости или температуры всасываемого воздуха 3. Проблемы в двигателе: неправильно отрегулированные клапаны или фазы газораспределения, износ маслосъемных колец или уплотнений клапана, низкая компрессия двигателя (проблемы в поршневой или не герметичности клапана).
Повышенные концентрации СО	1. Проблемы в составе рабочей смеси: низкие холостые обороты, неисправность пусковой системы или системы обогащения при прогреве, слишком высокое давление топлива (неисправность регулятора системного давления или непроходимость магистралей возврата топлива в бак), слишком большое время впрыска или низкое управляющее давление вследствие неисправности датчиков расхода воздуха, температуры, абсолютного давления, а также регулятора управляющего давления и электрогидравлического регулятора, снижение давления начала открытия механических форсунок, неисправность петли обратной связи по сигналу лямбда-зонд. 2. Проблемы, связанные со снабжением воздухом: забит воздушный фильтр. 3. Проблемы с ДВС: неправильная регулировка клапанов

Таблица 4

Неисправности ДВС по обнаруженным концентрациям оксидов в составе масла [3]

Индикаторы износа	Причина износа
Увеличение концентрации оксидов меди в масле	– от износа и увеличения зазоров во втулках верхних шатунов; – от недостаточного маслоснабжения или пониженной вязкости масла разжиженного несгоревшим топливом; – от износа бронзовых вставок компрессионных колец поршней (одновременно будет расти содержание железа в масле).
Увеличение концентрации оксидов железа в масле	– от износа поршневых колец, цилиндровых гильз, насосов и др. по причине попадания абразивной пыли в дизель с воздухом, загрязненного и разжиженного масла.
Увеличение концентрации оксидов кремния в масле (абразивная пыль)	– от неудовлетворительной работы воздушных фильтров, загрязненного масла
Увеличение концентрации оксидов олова в масле	– от износа полуды поршней (идет интенсивный процесс приработки пары трущихся деталей, причины те же).
Увеличение концентрации оксидов хрома в масле	– от износа хромированных колец поршней.
Увеличение концентрации оксидов натрия в масле	– при попадании воды в масло из охлаждающей системы дизеля
Увеличение концентрации оксидов свинца в масле	– от износа баббитового слоя подшипников из-за разрывов и разрушения сплошности масляной пленки между шейками и подшипниками, залитыми свинцовым баббитом вследствие разжижения масла топливом, попадания воды из охлаждающей системы дизеля и загрязненного воздухоснабжения
Увеличение концентрации оксидов алюминия в масле	– от износа роторов воздухонагнетателей

Несмотря на общее преимущество рассмотренных методов, определяемое их экспрессностью, методы обладают общим недостатком: отсутствует возможность дифференцировать и однозначно трактовать вид неисправности деталей ЦПГ.

Наиболее перспективным методом является качественный и количественный анализ

состава элементов износа в масле на основе атомно-адсорбционной спектрофотометрии. Метод, регламентированный РД 52.04.186-89, основан на измерении селективного поглощения в пламени атомами свинца, кадмия, марганца, никеля, меди, цинка, кобальта, хрома, железа или магния излучения резонансных линий атомов этих элементов

Таблица 5

Предлагаемые индикаторы износа ЦПГ по примесям металлов в составе проб ОГ (фрагмент) [9]

Узлы двигателя	Индикаторы износа	Причина износа
Цилиндры	Железо, хром и/или алюминий	Хром попадает в масло из колец поршней, алюминий – из поршней и железо – из цилиндров. Ускоренное нарастание этих концентраций говорит о ненормальном износе, перегреве двигателя, загрязнении масла и закоксованности
Поршни	Алюминий, примесь топлива или грязь в масле	Износ поршней вызывают абразивные частицы загрязнений масел. Другая причина – перегрев двигателя. Кроме того, проскок топлива смывает масляную пленку и увеличивает трение и, следовательно, износ поршней
Поршневые кольца	Хром, топливо или грязь	Износ колец легко определяется по концентрации хрома и вызывается абразивным износом от частиц грязи или от разбавления масла топливом
Блок цилиндров/впускной коллектор	Примесь антифриза или натрия/калий	Натрий, калий и иногда кремний входят в состав продуктов сгорания антифриза. Через камеру сгорания они попадают в масло и служат индикаторами протечек в системе охлаждения

от внешнего источника света [8]. Приблизительные концентрации обнаруженных оксидов металлов и их изменение в составе масла для дизельных двигателей тепловозов в ГОСТ 20759-90 приняты индикаторами износа ДВС. Для каждого из оксида элементов приняты пороговые значения (табл. 2 приложения 6 ГОСТ 20759-90), превышение которых свидетельствует об аварийном состоянии двигателя (табл. 4) [3].

На кафедре метрологии, стандартизации и сертификации «Оренбургского государственного университета» (МСиС ОГУ) предложено проводить диагностирование технического состояния (ТС) ДВС по составу и концентрациям твердых частиц (ТЧ) металлов в ОГ. В работах авторов [1, 9] обнаружение в составе ОГ избыточных концентраций металлов (Cd, Mn, Pb, Ni, Fe, Co, Cu, Cr, Zn) – составных элементов ДВС может свидетельствовать о степени износа элементов ЦПГ ДВС. Известны результаты [6] исследования ТЧ с использованием нейтронной томографии, позволившие выявить в составе минеральной фракции содержание около 37% Ca, 19% Zn, 15% S, 8% P и 2% Cu.

По мнению авторов статьи [9] по концентрациям алюминия можно судить об износе поршней, по наличию хрома – об износе хромированных поршневых колец и т.д. (табл. 5).

Таким образом, проблема диагностики технического состояния ЦПГ связана с отсутствием высоко дифференцированного метода диагностирования.

Наиболее перспективен для оценки технического состояния ЦПГ метод измерения концентраций частиц металлов в ОГ ДВС. Дальнейшего исследования и развития тре-

бует установление закономерностей между инструментально определяемыми концентрациями металлических частиц и характерной для них степенью изнашивания ЦПГ. При этом необходимо исследовать изменение степени изнашивания узлов ЦПГ для разных ДВС, работающих на различных режимах.

Список литературы

1. Вольнов А.С. Методика экологического мониторинга автотранспортных потоков по параметрам комплексного загрязнения приземного слоя атмосферы [Текст] : дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10 / А. С. Вольнов; М-во образования и науки Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования «Оренбург. гос. ун-т». – Оренбург, 2017. – 157 с.
2. ГОСТ 23435-79. Техническая диагностика. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Номенклатура диагностических параметров. – Введ. 1980.01.01 – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 11 с.
3. ГОСТ 20759-90. Дизели тепловозов. Техническое диагностирование и прогнозирование остаточного ресурса методом спектрального анализа масла. – Введ. 1991.07.01 – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 26 с.
4. Данилов Ю.И. Совершенствование диагностирования цилиндропоршневой группы автотракторных дизелей по температуре в камере сгорания : дис. ... канд. техн. наук: защищена 04.10.2016 / Данилов Юрий Игоревич. – Саратов, 2016. – 118 с.
5. Зорин В.А. Основы работоспособности технических систем: учебник для студ. высш. учебн. заведений / В. А. Зорин. – М.: Издательский центр «Академия», 2009. – 208 с.
6. Парсаданов И.В. Определение состава твердых частиц отработавших газов дизелей / И.В. Парсаданов, И.П. Васильев // Двигатели внутреннего сгорания: сб. ст. НТУ «ХПИ». – Харьков, 2013. – № 2. – С. 97-101.
7. Применение газоанализатора при диагностике автомобиля [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.askon-avesta.ru>. – 05.02.2017.
8. РД 52.04.186-89. Руководящий документ. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. – Введ. 1991.07.01 – М.: Госкомгидромет СССР. – 1991 – 615 с.
9. Третьяк Л.Н. Состав и концентрации твердых частиц отработавших газов как критерий технического состояния двигателей внутреннего сгорания / Л.Н. Третьяк, А.С. Вольнов, Д.А. Косых // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2-21. – С.4625-4634.