

УДК 629.114.004.58: 629.114.2:621.43

А.В. Дунаев, к.т.н., ГНУ ГОСНИТИ, г. Москва

E-mail: gosniti8@mail.ru

Выбор методов и средств диагностирования цилиндропоршневой группы автотракторных двигателей внутреннего сгорания

Приведены данные о методах и средствах технического диагностирования цилиндропоршневых групп двигателей внутреннего сгорания.

Ключевые слова: техническое диагностирование, двигатель, цилиндропоршневая группа.

A.V. Dunaev

The Choice of Methods for Diagnostics and Cylinder-Piston Group of Automotiveinternal Combustion Engines

Data are presented on the methods and means of technical diagnostics of piston group of internal combustion engines.

Keywords: technical diagnostics, engine, cylinder-piston group.

Цилиндропоршневая группа (ЦПГ) на 80 % определяет ресурс до первого ремонта двигателя внутреннего сгорания. Для обеспечения поддержания его на высоком уровне необходимо совершенствование методов и средств технического диагностирования (ТД ЦПГ). Потребность в ТД ЦПГ повысилась в связи с расширением «безразборного восстановления» сопряжений ДВС.

Разработано множество методов и средств ТД ЦПГ. Наиболее значимый их анализ проведен д.т.н. Терских И.П. с сотрудниками Иркутского СХИ. Имеются на них многочисленные отзывы практиков. Так хорошие отзывы получили пневмокалибратор К-69М Новгородского завода «ГАРО» и его модернизации К-272М. Особенно популярны различные отечественные и зарубежные компрессиметры и компрессографы для бензиновых ДВС, в которых степень сжатия меньше, чем в дизелях, и стартерный пуск резко сокращает трудоемкость контроля. Расширяется контроль разрежения в камере сгорания (КС), создаваемого при прокрутке коленчатого вала ДВС при последовательной работе атмосферного и вакуумного клапанов вакууманализаторов типа КИ-5315-ГОСНИТИ. Однако некоторые авторы последних разработок субъективны в оценке своих и имеющихся методов и средств ТД ЦПГ, не всегда учитывают отзывы и пожелания диагностов-практиков.

Наиболее приемлемые методы и средства ТД ЦПГ и КС таковы:

- пневмоплотность отдельных КС, утечки воздуха через кольцевое уплотнение отдельного поршня, раздельно через каждый клапан ГРМ, общий расход картерных газов, давление газов в картере, скорость его нарастания, разрежение во впускном коллекторе; компрессия; максимальный и частичный вакуум по отдельным КС; утечки воздуха и рабочих газов в систему охлаждения;

- расход масла на угар, определяемый как отношение массы его доливки в ДВС к расходу топлива дизеля или к пробегу автомобильного ДВС в один период. При этом потери масла через турбокомпрессор, через ГРМ при износе втулок и маслосъемных колпачков клапанов, через уплотнения в ДВС, а также отсос масляного тумана и брызг масла системой вентиляции картера должны быть учтены как не относящиеся к ЦПГ;

- концентрации продуктов изнашивания ЦПГ (Fe, Al, Cr), а также абразива (Si) - основной (на 80 %) причины ускоренного изнашивания ЦПГ, эффективно выявляемые установками спектрального анализа масел типа МФС;

- амплитуда и фаза импульсов давления газов в картере ДВС. Однако этот параметр рационален только для тихоходных дизелей, где возможно временно́е выделение полезного сигнала из интенсивного газодинамического фона;

Известны также другие более сложные методы контроля: по импульсу температуры в КС в конце такта сжатия при прокрутке коленвала прогретого ДВС без подачи топлива, по концентрации газов-индикаторов, прорывающихся из КС в картер, по оптической плотности масляного тумана в КС, по отношению времени наполнения цилиндром ресивера ко времени его опорожнения через этот же цилиндр.

ТД ЦПГ необходима в тех случаях, когда выявлены её значительная наработка, снижение мощности и трудность пуска ДВС, повышенный угар масла и синий цвет отработавших газов, часто скрадываемый в ТКР, повышенный выброс из сапуна или из маслосливной горловины газов и брызг масла, выброс масла в выпускную трубу, наличие масла в КС, в ТКР, во впускном коллекторе, наличие блесков металлов в срезе осадка в центробежном маслоочистителе и на фильтрах, повышенное загрязнение маслом воздушного фильтра и карбюратора, ускорение старения моторного масла и его шлам на деталях системы смазки, появление ненормальных стуков и шумов в ЦПГ. При снятии свечей зажигания или форсунок попутно для ТД ЦПГ нужно оценить их внешний вид (чистые и сухие, без замасливания, нагара и кокса, без ржавчины в штуцере форсунки), заглянуть в цилиндры или проверить щупом чистоту поршня, отсутствие на нем масла, а в крайних случаях воды или дизтоплива.

Признаками неисправностей в КС и нарушения нормального сгорания топлива, важными при контроле ДВС и ЦПГ, являются также перебои в работе цилиндров, бело-голубой дым (не все топливо загорается из-за пониженных компрессии и температуры сжатого воздуха), повышенный расход топлива, загрязненность воздухоочистителя, пониженное давление наддува, «бурчание» или хлопки в выпускном тракте, характерный стук высокого тона в ГРМ при повышенных тепловых зазорах, которые могут приводить к «помпажу» при ТКР с высоким ($>0,9$ атм.) наддувом.

Однако определение технического состояния только гильз цилиндров и поршневых колец {без выявления возможных дефектов поршня (прогар), клапанов ГРМ (износ, сколы, трещины, коррозия и прогар фасок, ослабление вставок в гнездах, неполное закрытие из-за отсутствия тепловых зазоров), трещин в головках и гильзах цилиндров, прогара прокладок} конечной цели не достигает. Поэтому необходимо проверять все элементы КС, тепловые зазоры ГРМ, а также картерное масло по весьма информативной «капельной пробе». Следует проверять наличие над поршнем таких лжеуплотнителей, как масло, вода, топливо, иначе результаты контроля будут ложными. А сопоставление результатов контроля пневмоплотности сухих цилиндров и после вливания в них 20...50 мл масла (или замасленных цилиндров и их же после удаления масла, например, продувкой воздухом) позволяет существенно уточнить состояние ЦПГ и клапанов ГРМ.

Состояние ЦПГ существенно зависит от закоксованности колец. Оценка их изношенности и уплотняющей способности без раскоксовывания ЦПГ при длительной наработке ДВС зачастую оказывается недостоверной. Поэтому во всех рекомендациях ГОСНИТИ по ТД ЦПГ указано, что трактор, автомобиль должны напряженно отработать полную смену, чтобы в длительном тепловом режиме выжечь нагар и кокс в ЦПГ и только после этого ставить их на ТД. В последние годы раскоксовывание ЦПГ облегчено благодаря промывочным маслам ВНИИ НП и специальным препаратам, например, «Лавр» МЛ-202.

Для расширяющейся практики «безразборного ремонта» ЦПГ, например, РВС-препаратами, в первую очередь нужно убедиться в ее безаварийном состоянии. Поэтому значимость раскоксовывания усиливается. Нужно определить максимальную пневмоплотность, которую могут дать поршневые кольца, освобожденные от залегания, закоксованности, защемления в канавках поршня, что наблюдают при длительной малонагруженной работе машин. При этом если после раскоксовки параметры ЦПГ улучшились, то ЦПГ безаварийна и «РВС-обработка» будет эффективна. Если параметры не изменились, то целесообразно проверить герметичность клапанов ГРМ, а если ухудшились, то возможна поломка колец и «РВС-обработку» до переборки ЦПГ проводить не следует. Только после раскоксовывания результаты

диагностирования соответствуют истинной изношенности ЦПГ и можно определить потребность и вид ремонта.

Прослушивание ДВС на аварийные неисправности ЦПГ требует опыта, осторожности (чтобы не вывести из строя ДВС с предаварийным состоянием), хорошего слуха, чтобы выделять отдельные «партии музыки шумов», навыков и запоминания нормальных и ненормальных звуков, выбора удаленного по отношению к ДВС места, чтобы низкочастотный гул выхлопа не оглушал диагноста и не задавливал звуки высокого тона малой интенсивности.

Удобно пользоваться медицинским стетофонендоскопом, у которого нужно удалить датчик, заглушить подходивший к нему конец трубки деревянной пробкой и прижимать саму трубку с переменным усилием к месту контроля. Прибор защищает уши от гула, освобождает руки, а переменность надавливания на трубку позволяет менять амплитудно-частотную характеристику ослушиваемых стучков.

Надежными и нетрудоемкими методами обобщенного контроля изношенности и темпов изнашивания ЦПГ являются расход масла на угар, расход картерных газов, концентрация продуктов изнашивания ЦПГ в масле. Расчетная разрешающая способность этих методов¹ составляет, соответственно, 0,85, 0,75 и 0,97. Различные нарекания на недостоверность диагностирования ЦПГ по расходу картерных газов индикаторами КИ-13671 и КИ-17999 якобы из-за утечек газов через сальниковые уплотнения коленчатого вала при создании ими давления в картере 9...12 мм вод. ст. не только не подтверждены практикой, но и не состоятельны по данным дизелестроителей (табл. 1).

Таблица 1

Показатели давления газов в картерном пространстве, мм вод. ст.:	Значения показателей по данным заводов-изготовителей						
	В-58	ЯМЗ	СМД-60	А-01, А-41	Д-240, Д-50	Д-65	Дизели Румынии
номинальное, после обкатки	15...20	25	15...20	10...20	15...20	15	-
допускаемое	90	-	-	-	30	40	-
предельное	>100	-	100...150	50	50	60	-
допускаемое кратковременно для диагностирования	-	до 1500	до 10000 (до 1 атм.)	-	300...1000	-	до 3,5 атм.
<p>Примечание. До обкатки давление газов в картере больше номинального. По данным проф. В.И. Кирсы (УкрГОСНИТИ) допускается создавать в картерном пространстве дизелей Д-65 и Д-240 давление до 2100 и 2300 мм вод. ст. В картерном пространстве дизеля СМД-62 на минимальных оборотах холостого хода давление 10000 мм вод. ст. достигается за 15...20 с.</p>							

¹ Здесь и далее приведены величины отношений пределов изменения диагностического параметра при работе ДВС к их предельным (браковочным) значениям

Если качественные признаки и интегральные параметры состояния КС и ЦПГ выходят за допуски, то возникает вопрос выявления причин неисправностей, по которому мнения разработчиков методов ТД ЦПГ субъективно расходятся. Например, мало распространены универсальные пневмокалибраторы К-69М и К-272. А ведь ими просто выявляют дефекты колец, гильз и клапанов в отдельности, прокладок головок, а также половину фаз газораспределения. Приборами контролируют и неработоспособные ДВС, что недоступно другим средствам. Прибор К-69М положительно оценен не только на автотранспорте, но и в бронетанковых войсках.

Исследованиями ГОСНИТИ установлено, что для точного диагноза кольцевого уплотнения поршня пневмокалибраторами необходимо выдувать масло из этого сопряжения, а стандартное применение этих приборов без продувки ЦПГ несколько дискредитировало пневмотестирование этим и необходимостью сжатого воздуха. Для точности контроля при положении поршня в начале такта сжатия с закрытым впускным клапаном, с заторможенным коленчатым валом включением передачи КП и стояночного тормоза, необходимо подать в цилиндр воздух при 4...6 атм. для выдувания масла из канавок поршня. Аналогично нужно поступать и при положении поршня в ВМТ. Тогда точность контроля будет почти идеальной. А для сжатого воздуха использовать портативные автомобильные компрессоры.

По приближенной оценке разрешающая способность пневмотестирования находится на уровне 0,85, но при этом не учитывается нетрудоемкая возможность разделения неисправностей всех элементов КС, что недостижимо другими методами. Кроме того, следует учесть, что этот метод усовершенствован заданием постоянного давления не перед сужающим устройством пневмокалибратора, а после него, что расширяет диапазон измерений и повышает точность контроля. А вот разрешающая способность контроля по разрежению во впускном коллекторе – всего около 0,26.

В последнее время все большую популярность приобретает «Анализатор герметичности цилиндров двигателя КИ-5973-ГОСНИТИ» проф. Чечета В.А. (прототип - вакууманализатор КИ-5315-ГОСНИТИ). Это вакуумметр с двумя клапанами, или как бы компрессиметр-наоборот, работает в двух режимах: в первом при прокрутке ДВС стартером или пусковым двигателем на такте сжатия атмосферный клапан выпускает воздух наружу, а после ВМТ при ходе поршня вниз этот клапан закрывается, создается разрежение в КС и идет отсос воздуха из полости прибора через вакуумный клапан. Через 10...12 оборотов коленчатого вала прибор показывает максимальное разрежение, которое может создать поршень при данном состоянии КС с ЦПГ, или так названный «полный вакуум». Конечно, при этом происходит подсос масла в кольцевое уплотнение, может возникнуть ошибка (повышенное разрежение) при наличии масла, топлива, воды над поршнем и их

целесообразно удалять (сдувать). Глубина контроля изношенности только ЦПГ дизелей в этом режиме как будто бы низка 0,13, но меньшие показания прибора уже свидетельствуют о других неисправностях КС: потерях теплового зазора в ГРМ, неплотной посадке клапанов, прогарах, сколах клапанов, неплотностях посадки клапанного гнезда, разрушениях межканавочных поясков или о других дефектах поршня, поэтому общая глубина диагноза выше.

Во втором режиме, предложенном сотрудником ГОСНИТИ Ивановым Н.Т., также при прокрутке ДВС, «анализатор» не выпускает сжимаемый в цилиндре воздух и происходят его утечки через неплотности КС как на такте сжатия, так и на такте рабочего хода, т.е. под давлением компрессии происходят двойные утечки воздуха из цилиндров. При этом масло в кольцевое уплотнение не подсасывается, а некоторое всасывание воздуха в цилиндр в конце такта «рабочего хода» при небольшом разрежении никак не компенсирует двойных утечек по сравнению с режимом «полного вакуума». Поэтому в этом режиме получают второй диагностический параметр - так названный «остаточный вакуум», более важный для оценки изношенности поршневых колец. Глубина контроля изношенности колец ЦПГ дизелей в этом режиме выше, чем в первом: 0,55, но ниже, чем у пневмокалибраторов. запатентован дополнительный диагностический параметр - отношение значений максимального вакуума к остаточному.

Второй режим работы прибора эффективней оценивает состояние кольцевого уплотнения поршня, потому что основан на создании двойных утечек воздуха под давлением компрессии 5...40 атм., а первый режим создает только малоинформативное для ЦПГ разрежение до 0,9 атм. Но оба режима дополняют друг друга. Величина первого параметра с усилением дефектов КС уменьшается, а второго - увеличивается.

По статистическим данным Чечета В.А. применения вакууманализаторов и компрессиметров на дизелях и бензиновых ДВС выявлена их совместимость, углубление диагноза и получение новой информации сопоставлением значений параметров. По нашему анализу нанесение данных контроля на графики позволяет отличить естественный нормальный износ от аварийных дефектов в цилиндрах, а также получать ориентировочные значения остаточного ресурса ЦПГ непосредственно по графику.

Вакууманализатор эффективней для бензиновых ДВС с меньшей степенью сжатия, чем для дизелей, когда не требуется сильное его прижатие к свечному отверстию и имеется надежная стартерная прокрутка ДВС. Наиболее надежен и популярен прибор именно марки КИ-5973-ГОСНИТИ, являющийся в нестационарных условиях пока почти единственным средством дифференциальной оценки состояния ЦПГ.

Глубина диагноза компрессиметрами для дизелей и бензиновых ДВС, соответственно, 0,5 и 0,62. Некоторые нормативы по параметрам пневмоплотности ЦПГ, обоснованные Чечетом В.А., приведены в табл. 2.

Таблица 2

Р _{полн} , атм.	Состояние ЦПГ и КС дизелей	Р _{полн} , атм.	Состояние ЦПГ и КС бензиновых ДВС
0,94...0,90	Номинальное состояние ЦПГ и КС с подгерметизацией маслом, топливом	0,85...0,82	Номинальное состояние ЦПГ и КС с подгерметизацией маслом, топливом
0,90...0,89	Номинальное состояние КС и ЦПГ	0,82...0,80	Номинальное состояние ЦПГ и КС
0,89...0,78	Наиболее вероятное проявление техсостояния поршневых колец от нормального до предельного, если нет незначительных дефектов деталей КС. Перепроверка с заливкой в цилиндр 20 мл масла	0,75	Предельный износ цилиндра, если нет незначительных дефектов деталей КС
		0,75...0,64	Предельное состояние ЦПГ, если нет незначительных дефектов деталей КС
0,78	Предельное состояние гильзы	0,60...0,50	Аварийные дефекты деталей ЦПГ и КС: поломки, сколы, трещины, прогары (кольца, поршни, головки, прокладки)
0,78...0,70	Наиболее вероятно предельное состояние ЦПГ: гильза цилиндра и кольца	Р _{ост} , атм.	Состояние ЦПГ и КС дизелей
0,70...0,65	Предельное состояние ЦПГ в целом, если нет других неаварийных дефектов деталей КС. Перепроверка - см. выше.	0,14...0,17	Номинальное состояние ЦПГ
		0,25	Предельное состояние ЦПГ
0,65...0,55 и менее	Аварийные дефекты деталей ЦПГ и КС: поломки, сколы, трещины, прогары (кольца, поршни, головки, прокладки)	Р _{ост} , атм	Состояние ЦПГ, КС бензиновых ДВС
		0,17...0,20	Номинальное состояние ЦПГ и КС
		0,32...0,36	Предельное состояние ЦПГ
<p>Примечания: Считаем, что и здесь целесообразна предварительная продувка ЦПГ или же вначале проверять остаточный вакуум, а затем - полный. При наличии компрессиметра целесообразна проверка компрессии, затем остаточного вакуума а полный вакуум - дополнителен. Проф. А.К. Ольховатским апробирован контроль компрессии и вакуумов при работе дизелей на холостом ходу, однако этому приему должны соответствовать другие значения диагностических параметров.</p>			

Заключение

При диагностировании бензиновых ДВС можно оценивать работу отдельных цилиндров отключением их зажигания и измерением величины снижения частоты вращения ДВС. Для ЦПГ это - приблизительный (глубина диагноза около 0,1), но не лишний метод. Отключение топливopодачи в быстроходные дизеля легковых автомобилей (с малым моментом инерции комплекта КШМ и без всережимного регулятора ТНВД) аналогично отключению зажигания в бензиновых ДВС, а для многоцилиндровых малооборотных дизелей этот метод ничего не дает, так как отключение топливopодачи в один цилиндр (на холостом ходу дизеля при большом моменте инерции коленчатого вала с маховиком и при работе всережимного регулятора) не позволяет достоверно измерить снижение оборотов.

Следует отметить, что контроль технического состояния маслоъемных поршневых колец остался затруднительным, хотя он не менее актуален, чем контроль компрессионных колец. Здесь в первом приближении можно ориентироваться на параметр расхода масла на угар, но его следует тщательно определять с учетом возможной потери масла по другим причинам.