

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ И СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ДВС

А.А. Обозов, д.т.н., В.И. Таричко, асп.
Брянский государственный технический университет

Проводится анализ методов и систем технического диагностирования двигателей внутреннего сгорания. Рассмотрены методы тестового и функционального диагностирования. Описаны алгоритмы работы стационарных, комбинированных и бортовых систем диагностирования ДВС.

При современном уровне развития транспорта одно из важных мест занимает обеспечение безотказности и увеличение эксплуатационной надежности как транспортного средства, так и его основных систем, в частности двигателя внутреннего сгорания. Для этого в течение всего периода эксплуатации необходимо поддержание на высоком уровне технико-экономических, экологических и эффективных показателей, зависящих от технического состояния двигателя.

В процессе эксплуатации двигателя внутреннего сгорания (ДВС) происходит износ и старение его узлов и систем, что приводит к ухудшению показателей его работы. В этой связи для поддержания двигателя в исправном состоянии и для своевременного выявления отклонения параметров его работы ведущее место принадлежит системе технического обслуживания и ремонта, ее научной обоснованности и совершенству. Важную роль при этом играет своевременное и качественное техническое диагностирование [1–3].

Современное двигателестроение развивается по пути улучшения технико-экономических, экологических и эффективных показателей двигателей. В первую очередь, это связано с внедрением электронных систем управления и диагностирования. Так, разработка и совершенствование систем технического диагностирования находятся в числе приоритетных направлений развития ведущих автомобилестроительных компаний («Mercedes Benz», «Audi AG», «Mitsubishi» и др.).

Совершенствованию систем технического диагностирования ДВС способствует анализ существующих методов и систем технического диагностирования ДВС.



Методы технического диагностирования ДВС

На начальных этапах развития способов оценки технического состояния ДВС широкое распространение получили методы, основанные на способностях эксперта, обладающего квалификацией и накопленным опытом определять отклонения в работе двигателя. Подобные субъективные методы становились все менее эффективными по мере усложнения отдельных систем и конструкции двигателя в целом. В связи с этим возникла потребность в методах, основанных на объективной оценке технического состояния узлов и систем двигателя [1]. Их развитие привело к становлению двух основных видов диагностирования: тестового и функционального.

Методы тестового диагностирования предусматривают вывод ДВС из эксплуатации и контроль его параметров при подаче специального внешнего воздействия со стороны контрольно-измерительной аппаратуры. Существуют следующие методы тестового диагностирования в зависимости от измеряемой физической величины на основе:

- герметичности камеры сгорания;
- сопротивления прокручиванию коленчатого вала;
- изменения мощности механических потерь (при отключении подачи топлива в цилиндр);
- измерения частоты вращения коленчатого вала (при отключении подачи топлива в цилиндр);
- измерения температуры деталей (тепловая диагностика);
- измерения механических напряжений в болтах и шпильках двигателя;

- результатов компьютерной томографии;
- измерения контактных напряжений и пластических деформаций.

Среди указанных методов тестового диагностирования получили распространение способы оценки герметичности камеры сгорания двигателя (состояние уплотнений цилиндропоршневой группы, неплотность посадки клапанов).

Для оценки состояния уплотнений элементов ЦПГ поршень исследуемого цилиндра устанавливается в верхнюю мертвую точку, вместо свечи или форсунки присоединяется шланг от баллона со сжатым воздухом. Посредством подачи воздуха под давлением в надпоршневое пространство кольца устанавливаются на нижние поверхности поршневых канавок. После этого в цилиндр подается воздух под определенным давлением и источник воздушноснабжения отключается. Величина снижения давления в цилиндре за определенный промежуток времени позволяет судить о состоянии уплотнений.

Для определения неплотности посадки клапанов на седла заливается моторное масло в цилиндр с пониженной компрессией. Если показания компрессометра постоянны, то возможная причина пониженной компрессии — неплотное прилегание клапанов к седлам.

Для определения герметичности посадки впускных клапанов исследуемого цилиндра вакуумным насосом откачивается воздух из предварительно перекрытого впускного коллектора. В случае оценки герметичности пары выпускной клапан–седло воздух откачивается из выпускного трубопровода. По измеренному значению расхода воздуха определяется герметичность клапанов.

Методы функционального диагностирования предусматривают получение данных о техническом состоянии двигателя без вывода его из эксплуатации и разборки. Существуют следующие методы функционального диагностирования в зависимости от измеряемой физической величины на основе:

- параметров рабочего (индикаторного) процесса;
- виброакустических колебаний;
- ультразвукового исследования;
- пропусков воспламенения в цилиндрах;
- химического состава отработавших газов;
- параметров картерного масла;
- расхода масла на угар;
- давления масла в системе смазки;
- температуры и уровня масла в картере;
- давления картерных газов;
- оптического излучения топливной смеси;
- неравномерности частоты вращения коленчатого вала;

- измерения тока стартера при запуске двигателя;
- измерения ионного тока системы зажигания.

Среди перечисленных методов функционального диагностирования наиболее распространены способы определения технического состояния двигателя на основе анализа параметров рабочего процесса и виброакустических колебаний.

Метод диагностирования на основе анализа параметров рабочего (индикаторного) процесса широко используется для комплексной и локальной оценки технического состояния двигателя. Методика основана на сравнении показателей работы двигателя с заранее известными эталонными значениями параметров рабочего процесса. Исследование конструктивных элементов двигателей показывает, что наиболее частые отказы связаны с системами топливоподачи (форсунки, топливные насосы или карбюраторы), механизмами газораспределения и элементами цилиндропоршневой группы [4, 7]. Неисправности указанных элементов систем ДВС могут развиваться постепенно или возникать внезапно. Их появление приводит к ухудшению показателей работы двигателя, в частности, к повышенному расходу топлива, ухудшению распыливания топлива, снижению мощности, задержке сгорания, снижению максимального давления сгорания. Таким образом, возникновение неисправностей отражается на протекании рабочего процесса двигателя. Поэтому контроль параметров рабочего процесса эффективен для предупреждения отказов и прогнозирования технического состояния элементов двигателя.

Метод диагностирования на основе анализа виброакустических колебаний применяется для оценки технического состояния двигателя в целом (по уровню шума и вибрации) и для локальной проверки газораспределительного и кривошипно-шатунного механизмов. Виброакустический метод основан на анализе упругих колебаний динамически взаимодействующих сопряженных деталей двигателя. Вибрация также возникает при появлении неуравновешенных сил, действующих периодически, поэтому возникновение или усиление вибрации — важный симптом для диагностики состояния механических систем [6].

Системы технического диагностирования ДВС

Стремительное развитие микроэлектроники привело к появлению и практическому внедрению аппаратных комплексов, позволяющих анализировать параметры рабочего процесса ДВС. С помощью автоматизированных систем технического диагностирования (СТД) появилась возможность получения объективной информации

о техническом состоянии двигателя и прогнозирования его работоспособности [8].

Следует отметить, что изначально системы функциональной диагностики двигателей развивались применительно только к двигателям большой мощности (судовым малооборотным дизелям) и двигателям средней мощности (от 1000 до 3000 кВт) на железнодорожном транспорте, где эффект от их использования был значителен [2]. Подобные системы разработаны зарубежными институтами и двигателестроительными компаниями. В Норвегии были созданы системы технического диагностирования «Predicate» (совместный проект Норвежского института исследования судов и компании «Norcontrol»), «Data Trend» и «DETS» (Diesel Engine Turning System) (компания «Norcontrol»), «Mekom» (компания «Statronik»), системы локальной диагностики MJ, NP и NK (компания «Autronica»). В Швеции разработаны системы «Cyldet-СМ» и «Cylmate» (компания «Asea Brown Boveri Ltd.»). В Германии созданы системы «CC-10» (Condition Check System) и CoCoS-EDS (Computer Control Surveillance—Engine Diagnosis System) (компания «MAN Diesel & Turbo SE»), а также MEDIAG 22 (Main Engine Diagnostic System) (компания «Siemens AG»). В Финляндии создана система FAKS2i (компания «Wartsila»). Во Франции разработана система «PED» (Pielstick engine diagnostics) (компания «SEMT Pielstick»). В США созданы системы «Dicare» («Caterpillar-МаК») и «Machinery Health Monitoring System Jer 5800» (компания «Endevco»). В Швейцарии разработана система SEDS (Sulzer Engine Diagnostic System) (компания «Sulzer AG»). В Великобритании создана система Malin 6000 (компания «Malin Instruments Ltd.»). STD разработаны отечественными институтами — ЦНИИМФ — «Прогноз», Омским научно-исследовательским институтом технологии, контроля и диагностики — «Борт», Дальневосточным государственным университетом путей сообщения — «Магистраль».

В настоящее время многие двигателестроительные компании оборудуют выпускаемые двигатели измерительными приборами и микропроцессорами, на которые возлагается задача контроля и мониторинга наиболее важных показателей, сигнализации об их выходе за установленные пределы и накопление информации для отслеживания развития параметров во времени. При этом вся работа осуществляется в автоматическом режиме. В ряде конструкций на микропроцессор возложена функция управления процессом топливоподачи в целях оптимизации работы двигателя применительно к режимам его работы.

Немецкой машиностроительной компанией «MAN Diesel&Turbo» разработана система диагностирования судовых дизелей «CoCoS-EDS» (Computer Controlled Surveillance Engine Diagnostics System). Программный комплекс ведет автоматический сбор и анализ параметров работы главного дизеля. Также система позволяет сравнивать текущие показатели с эталонными значениями рабочего процесса.

Финская машиностроительная компания «Wartsila» производит системы диагностирования «FAKS2i» (Fault Avoidance Knowledge System) и «MoniTrend» (Data Analysing System). Программа системы «FAKS2i» интегрирована в систему централизованного контроля и мониторинга и в автоматическом режиме проводит оценку технического состояния дизеля на основе базы эталонных значений. Программный модуль «MoniTrend» анализирует информацию системы централизованного контроля и мониторинга и выводит тренд в режиме on-line.

Английская компания «Malin Instruments Ltd.» является производителем системы мониторинга рабочего процесса судового дизеля «Malin 6000». С помощью данного мобильного комплекса осуществляется непрерывный контроль рабочего процесса двигателя. В частности, измеряется давление в цилиндре по углу коленчатого вала. При этом программное обеспечение комплекса в автоматическом режиме ведет обработку диаграмм давления и представляет параметры рабочего процесса в табличном виде.

Автомобильные бензиновые и дизельные двигатели в основном традиционно диагностировались методами тестовой диагностики без применения дорогостоящих специализированных диагностических систем [9]. В настоящее время в связи с развитием и удешевлением компьютерных информационных систем двигатели средней и малой мощности (в том числе автомобильные двигатели) начинают диагностировать с использованием специализированных систем диагностики.

Получают распространение системы трех типов — системы типа «off-line» (стационарные и комбинированные системы подключаются к объекту диагностики только в момент проведения процедуры диагностирования в сервисном центре) и системы типа «on-line» (бортовая система установлена на автомобиле, которая в процессе эксплуатации автомобиля непрерывно следит за состоянием двигателя).

Стационарные системы технического диагностирования используются на станциях технического обслуживания и сервисных центрах. Данные системы представлены в виде крупногабаритных

контрольно-измерительных комплексов, мотортестеров и стендов, имеющих в своей основе ЭВМ.

Мотортестеры являются консольными диагностическими устройствами, в структуру которых входят датчики, адаптеры и дополнительные измерительные приборы. Подобные комплексы позволяют измерять параметры работы систем двигателя, в частности, частоту вращения, угол опережения зажигания, неравномерность вращения коленчатого вала, напряжение аккумуляторной батареи, первичное и вторичное напряжение системы зажигания и др. Ввиду высокой стоимости (свыше 20 тыс. долларов США) мотортестеры производятся немногими крупными компаниями. В Германии выпускаются мотортестеры FSA 560 («Robert Bosch GmbH»), HMS 990 («Hermann Electronic GmbH»), MEGA MACS 55 («Gutmann Messtechnik AG»). В США производятся мотортестеры Vision Premier («SPX»), SMP 4000 («Sun Electric»). Разрабатываемые ими мотортестеры позволяют диагностировать самые различные марки автомобилей (30 марок). При этом оценивается техническое состояние практически всех систем автомобилей (около 200 систем). Системами диагностирования снабжены также российские автомобили. К недостаткам подобных систем относятся их высокая стоимость и значительные размеры. Следует отметить, что мотортестеры обладают ограниченными возможностями диагностики собственно самого двигателя.

К стационарным системам технического диагностирования также относятся нагрузочные стенды, с помощью которых измеряются параметры внешней скоростной характеристики. В таком случае автомобиль устанавливается на прокатные ролики и фиксируется. Нагрузка, создаваемая электрическим генератором-тормозом, передается через ведущие колеса и трансмиссию двигателю. При управлении топливоподачей двигатель разгоняется с минимально устойчивых оборотов до максимальных. При этом измеряется тормозной момент, угловая скорость вращения коленчатого вала двигателя и ведущих колес, на основании чего определяется эффективная мощность и момент на валу двигателя и мощность потерь на трансмиссии. Подобные системы осуществляют диагностику двигателя в широком диапазоне частот вращения ДВС, позволяют моделировать различные режимы нагрузки [5].

Комбинированные системы технического диагностирования применяются для диагностирования современных ДВС, оснащенных электронной системой управления. Данные системы выполняют также функции контроля состояния датчиков и самодиагностики. При обнаружении ошибки (например, несоответствие заданному

уровню сигнала от определенного датчика) микропроцессор электронного блока управления (ЭБУ) сохраняет в памяти код неисправности. При этом на приборной панели загорается контрольная лампа, информирующая о возникновении неисправности.

В более ранних системах определение неисправности осуществлялось переводом микропроцессора в режим выдачи диагностических кодов посредством характерных вспышек индикатора. В качестве светового индикатора производители («General Motors», «Ford Motor Company», «Chrysler», «Opel») используют контрольные лампы на панели приборов. Также применяются встроенные в электронный блок управления светодиоды («Honda», «Nissan») и внешние индикаторы, подключаемые к диагностическому разъему («Audi AG», «Volkswagen»).

В новейших системах для подключения к блоку управления и получения диагностической информации требуется наличие сканеров. Данные устройства взаимодействуют с ЭБУ через специальный протокол, позволяющий получать и контролировать на мониторе основные параметры работы двигателя и системы управления, такие, как угол опережения зажигания, частоту вращения ДВС, расход воздуха, время впрыска топлива, состояние исполнительных элементов. В современных электронных блоках управления также предусмотрена возможность вывода в реальном времени потока цифровых параметров на диагностический разъем. В случае интерактивного режима работы с ЭБУ возможно управление регулирующими компонентами системы с клавиатуры сканера.

Производителями сканеров для диагностирования автомобилей являются компании «Robert Bosch GmbH», «OpenSystem-Dieselland». Российским производителем подобных устройств является НПП «Новые технологические системы».

Бортовые системы технического диагностирования устанавливаются на транспортном средстве и непрерывно в процессе его эксплуатации следят за состоянием двигателя. Основным принципом бортовой системы является максимальное сближение двигателя и систем технического диагностирования, их неразрывная конструктивная связь, функционирование как единого целого в любой момент эксплуатации. Бортовые СТД оказываются наиболее сложными для практической реализации. В этих системах предъявляются наиболее высокие требования к измерительным средствам, каналам передачи информации, качеству алгоритмов формирования диагностических признаков и правил распознавания, достоверности диагностирования, быстрой реакции ЭВМ, обеспечивающей работу

системы диагностирования, то есть к информационному, математическому и техническому обеспечению системы. Следует отметить, что определенную сложность использования средств бортового диагностирования составляет необходимость оборудования каждого транспортного средства в отдельности дорогостоящей аппаратурой. Таким образом, применение СТД данного типа целесообразно для оценки технического состояния двигателей судов, тепловозов, а также специальной техники (карьерных самосвалов, тягачей). Силовые установки такого транспорта требуют повышенной надежности.

Системы бортового диагностирования включают в себя входящие в конструкцию транспортного средства и его двигателя датчики и приборы (электронно-вычислительные приборы, блоки питания, индикацию) для обработки диагностических сигналов (усиления, сравнения с нормативами) и непрерывного или периодического измерения параметров технического состояния двигателя.

Заключение

Проведенный анализ методов и систем технического диагностирования двигателей внутреннего сгорания показывает, что в настоящее время традиционные способы тестовой и функциональной диагностики получают новый импульс к развитию в связи со стремительным развитием микроэлектроники и вычислительной техники. Появилась возможность оценивать техническое

состояние двигателя в режиме реального времени на основе анализа параметров рабочего процесса. При этом углубленные теоретические и экспериментальные исследования рабочего процесса в двигателе позволяют создать основу для развития интеллектуальных систем диагностирования — стационарных, комбинированных и бортовых.

Литература

1. Гурвич И.Б., Сыркин П.Э., Чумак В.И. Эксплуатационная надежность автомобильных двигателей. — М.: Транспорт, 1994. — 144 с.
2. Диагностирование дизелей / Е. А. Никитин, Л.В. Станиславский, Э.А. Улановский и др. — М.: Машиностроение, 1987. — 224 с.
3. Ждановский Н.С., Николаенко А.В. Надежность и долговечность автотракторных двигателей. — Л.: Колос, 1981. — 295 с.
4. Карагодин В.И., Митрохин Н.Н. Ремонт автомобилей и двигателей. — М.: Академия, 2003. — 496 с.
5. Карташев А.Н., Белоусова В.А., Рудашко А.А., Новиков А.В. Диагностирование автомобилей. — М.: ИНФРА-М, 2011. — 208 с.
6. Технические средства диагностирования: справочник / Под редакцией В.В. Ключева. — М.: Машиностроение, 1989. — 672 с.
7. Яхьяев Н.Я., Кораблин А.В. Основы теории надежности и диагностика. — М.: Академия, 2009. — 256 с.
8. Макаров Р.Я. Средства технической диагностики машин. — М.: Машиностроение, 1981. — 223 с.
9. Келер К.А. Диагностика автомобильного двигателя. — Ужгород: Карпаты, 1977. — 160 с.



УДМЗ выполнил первый этап госконтракта с Минпромторгом РФ

по проектам «Энергодизель» и «Дизельстрой»

На Уральском дизель-моторном заводе (УДМЗ, входит в ОАО «Синара-Транспортные Машины») завершено выполнение первого этапа государственных контрактов по проектам «Энергодизель» и «Дизельстрой». В феврале 2012 г. УДМЗ заключил с Минпромторгом РФ два контракта на выполнение научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ.

Работа по контрактам осуществляется в рамках выполнения подпрограммы «Создание и организация производства в РФ в 2011–2015 годах дизельных двигателей и их компонентов нового поколения» федеральной целевой программы «Национальная технологическая база».

По проекту «Энергодизель» УДМЗ провел аналитические и патентные исследования, изучил международный опыт по созданию и проектированию высокооборотных дизельных двигателей мощностью от 1 до 3 МВт и дизель-генераторов для магистральных тепловозов, морских, океанских судов и кораблей

Военно-морского флота, малой энергетики. Подготовлены девять эскизных проектов на дизели и семь эскизных проектов на дизель-генераторы. Проведена сборка, изготовление и испытание двух макетных образцов.

В ходе выполнения проекта «Дизельстрой» проведены опытно-конструкторские и технологические работы по созданию специализированных экспериментальных стендов для высокооборотных дизельных двигателей с частотой вращения от 1500 до 3000 об/мин. Планируется, что на трех стендах разного назначения будут проводиться испытания одноцилиндрового отсека, дизельных двигателей и дизель-генераторных установок. При выполнении этого этапа госконтракта специалистами УДМЗ была разработана конструкторская документация, создана технология изготовления компонентов стендового оборудования, часть которого будет изготовлена на УДМЗ.

Для разработки нового семейства дизельных двигателей и испытательных стендов Уральский дизель-моторный завод привлек в качестве соисполнителей FEV GmbH (Германия), ООО ЦНИДИ, «Автоматизированные системы и комплексы» (ЗАО АСК), МГТУ им. Баумана.