

А.Н. БОРИСЕНКО, канд. техн. наук, **П.С. ОБОД**, аспирант,
О.В. ЛАВРИНЕНКО, аспирант

СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

У статті проаналізовані та систематизовані сучасні види та методи діагностики дизельних двигунів. Також проведений аналіз систем діагностування дизелів вітчизняних і закордонних фірм.

The paper is devoted to modern methods of diesel engine diagnosis analyze and systematization. Also, diesels diagnosis analysis of domestic and foreign companies is made.

Постановка проблемы. Развитие транспорта и увеличение выполняемого им грузооборота требует неуклонного повышения технико-экономических и эксплуатационных показателей энергетических агрегатов на базе дизелей. Указанные показатели, как известно, существенно зависят от технического состояния двигателя, которое в процессе эксплуатации изменяется и поэтому непрерывно или периодически должно находиться под контролем.

Для совершенствования систем диагностики дизельного двигателя необходим анализ современных средств оценки его технического состояния.

Анализ литературы. В рассмотренных источниках литературы [1-9] представлены выборочные обзоры инструментальных и параметрических методов диагностики. Однако целостной картины современных систем и средств диагностики не представлено.

Цель статьи. Необходимо выполнить анализ наиболее общих тенденций развития современных методов и средств технического диагностирования дизелей, а также произвести систематизацию и уточнить классификацию этих методов и средств.

Технико-экономические и эксплуатационные показатели неразрывно связаны с затратами на ремонт и обслуживание агрегатов в процессе их эксплуатации, которые могут быть довольно большими. В то же время из-за несовершенства методов и средств технического обслуживания порой создаются ситуации, когда значительное число машин направляется на ремонт необоснованно.

Решением этих проблем являются средства технической диагностики.

В настоящее время все большее внимание уделяется вопросам совершенствования систем диагностического обеспечения на основе использования современных методов моделирования и компьютерных средств с целью повышения эффективности оценки технического состояния и своевременного выявления неисправностей. Этот процесс требует проведения исследований системы дизельной установки (СДУ) как объекта диагностирования и разра-

ботки необходимых моделей и алгоритмов оценки их состояния, призванных повысить надежность работы СДУ [1].

Особенность построения описанных средств во многом определяются спецификой объекта диагностики и информативностью выбранных диагностических параметров. Поэтому наиболее важными составными частями технической диагностики являются следующие:

- а) изучение объектов диагностики;
- б) построение и анализ математических моделей объектов диагностики;
- в) синтез средств технической диагностики.

Современные разработки в целом позволяют справиться с поставленной задачей, но обладают следующими недостатками:

- высокой стоимостью;
- отсутствием мобильности;
- низкой точностью и достоверностью полученных результатов;
- морально устаревшей технической базой;
- небольшим числом съемных параметров [2].

Существуют два принципиальных метода диагностики дизельных двигателей: параметрический и инструментальный.

Параметрический метод технической диагностики заключается в периодическом или непрерывном наблюдении за рабочими параметрами СТС с помощью штатных средств технической диагностики (СТД), в сравнении их с допустимыми величинами и принятии решений по выполнению регулировочных или ремонтных операций. Оценку технического состояния средств технической системы (СТС) в этом случае проводят как по частным, так и по обобщенным показателям.

Частные показатели оцениваются по соответствующим штатным приборам.

К обобщенным показателям относятся выходные показатели назначения СТС, такие как мощность, производительность, удельный расход энергии или топлива и т.п.

Как частные, так и обобщенные показатели не могут указывать на причину их изменения без дополнительных исследований других диагностических параметров. Так, повышение эксплуатационной мощности главного двигателя по сравнению с номинальной может произойти из-за обрастания корпуса, повреждения гребного винта, разрегулировки рабочих органов двигателя и других причин [1].

Таким образом, параметрический метод не следует рассматривать как основной для технической диагностики и он должен использоваться только в сочетании с другими методами.

Инструментальный метод технической диагностики заключается в оценке технического состояния деталей и узлов с помощью универсальных или специализированных мерительных инструментов, как правило, на неработающем или частично разобранным дизеле [2].

Этим методом, прежде всего, оценивают зазоры в подшипниках с помощью щупов или индикаторных головок путем перемещения сопряженных деталей. В частности, так определяют расклепы коленчатых валов, т.е. изменение расстояний между щеками при его повороте вокруг оси, характеризующие качество укладки вала в постелях подшипников. При инструментальных методах часто используются оптические приборы - эндоскопы, предназначенные для осмотра внутренних полостей без разборки для обнаружения повреждений и отложений, например у втулок, поршней и клапанов дизелей.

Метод диагностирования по герметичности замкнутых полостей широко применяется при опрессовке сосудов и деталей, работающих под давлением. В качестве рабочей среды могут использоваться воздух, газы и жидкие вещества (вода, масло и др.). Суть метода состоит в контроле утечек из исследуемых полостей рабочей среды, которая нагнетается туда под определенным давлением [3].

Контроль утечек может выполняться разными методами с применением универсальных или специальных СТД. Один из них заключается в контроле скорости падения давления с помощью манометра, другой с изменением окраски смоченной в фенолфталеине ленты под воздействием аммиака, проникающей через неплотности и щели.

Для дефектации некоторых систем, в том числе и неработающих, применяются течеискатели. Имеются течеискатели, основанные на измерении ультразвука, возникающего при протекании рабочей среды через неплотность.

Метод диагностики по герметичности замкнутых полостей положен в основу специализированных приборов - пневмоиндикаторов, позволяющих качественно оценить техническое состояние цилиндропоршневой группы по трем уровням - плохо, удовлетворительно и хорошо, но без определения причин снижения компрессии и прогнозирования остаточного ресурса [4].

Виброакустические методы технической диагностики охватывают широкую область использования средств измерения низкочастотных и высокочастотных колебаний СТС и их элементов, возникающих при их работе или работе других машин и механизмов.

Средства для измерения колебаний можно условно разделить на четыре группы:

- приборы сейсмического типа для записи низкочастотных колебаний;
- приборы энергетического типа для измерения и записи высокочастотных колебаний;
- дефектоскопы, т.е. приборы - для оценки дефектов с помощью ультразвука;
- приборы для измерения знакопеременных деформаций тензометрического типа [5].

Принцип действия приборов сейсмического типа основан на измерении перемещения относительно друг друга легкой и массивной частей, связанных между собой высокоподатливой пружиной.

При этом массивная часть (масса в вибрографе и маховик в торсиографе) при измерении остается практически неподвижной благодаря высокой инерционности, а легкая часть совершает колебания вместе с поверхностью СТО.

К средствам измерения колебаний относятся торсиографы, виброметры и вибрографы, приборы ударных импульсов, шумомеры с комплектом датчиков и фильтров, а также универсальная аппаратура для тензометрирования деталей машин, комплектуемая из датчиков - тензорезисторов, усилителей, осциллографов и другой аппаратуры [6].

Торсиографы предназначены для записи тангенциальных (крутильных) колебаний вращающихся масс (например, валов и маховиков) вокруг своей оси.

Вибрографы записывают вибрацию, т.е. линейные механические колебания (перемещения) точек поверхности СТС в вертикальном и горизонтальном направлениях.

Следует отметить, что наиболее объективные результаты измерения вибрации можно получить лишь на специально оборудованных мягкими подвесками стендах. Поэтому вибрационная диагностика может быть только сравнительной и заключаться в периодическом наблюдении за изменением вибрационных параметров.

В основе технической диагностики универсальными приборами лежит сравнение спектрограмм с эталонной виброграммой, записанной на полностью исправном дизеле по специально разработанной методике для каждого конкретного случая. Такой метод применен в [6], где производится техническая диагностика системы клапанного газораспределения дизеля путем сравнения виброграммы, снятой на неисправной системе с эталонной виброграммой.

Методы оценки износа по содержанию металла в масле и выхлопных газах предназначены в основном для интегрального диагностирования технического состояния цилиндропоршневой группы и подшипников двигателей внутреннего сгорания. Сущность метода заключается в том, что продукты износа этих деталей в виде мелких частиц попадают в масло или выхлопные газы, количество которых и определяет техническое состояние оборудования.

Контроль продуктов износа в смазочном масле можно осуществлять различными способами:

- спектральным анализом осадка в пробе масла;
- методом радиоактивных изотопов;
- вихревым индикатором.

Метод спектрального анализа позволяет определять величину абсолютного износа сопрягаемых деталей и скорость их изнашивания. Сущность метода базируется на эмиссионной спектроскопии с помощью:

- кварцевого спектрографа для фотографирования спектров;
- генератора для получения дуги переменного тока;
- спектропроектора для расшифровки спектрограмм;
- микрофотометра для фотометрирования спектральных линий исследуемых элементов.

Метод радиоактивных изотопов основан на повышении количества радиоактивного изотопа в масле из-за изнашивания активированных деталей. Активация деталей может осуществляться:

- введением радиоактивного изотопа при их отливке;
- облучением деталей нейтронами в атомном реакторе;
- нанесением на поверхность детали радиоактивного электролитического покрытия;
- введением вставок – свидетелей.

Метод вставок получил наибольшее распространение. Вставки изготавливаются из проволоки, состоящей из кобальта (44%), никеля (54%), углерода, магния и фосфора. Проволока облучается нейтронами в атомном реакторе, что создает радиоактивный изотоп с атомной массой 60.

Радиоактивность измеряют счетчиками Гейгера-Мюллера или сцинтилляционными счетчиками.

Более перспективным методом оценки продуктов износа в масле является применение специальных вихревых (электромагнитных) индикаторов [10].

В вихревом индикаторе используются высокочастотные колебания тока, которые подаются на измерительный мост, в одно из плеч которого введена катушка индуктивности, а в другие - элементы настройки по модулю и по фазе. С их помощью мост балансируется, и сигнал с его выхода на измерительный прибор не поступает.

При введении в полость катушки индуктивности пробы масла с частицами металла мост разбалансируется и сигнал дисбаланса после усиления поступает на измерительный прибор. Такой индикатор позволяет оценивать износы втулок, колец и поршней, но его чувствительности недостаточно для оценки низких скоростей изнашивания коленчатого вала.

Продукты износа цилиндрических втулок и поршневых колец попадают не только в масло, но и в выхлопные газы. При этом на номинальной частоте вращения доля частиц износа в выпускных газах составляет до 2/3 общего износа (1/3 попадает в масло). Комплексный анализ выпускных газов заключается в следующем:

1) Пробу выпускных газов охлаждают и образовавшийся при этом конденсат собирают в сосуд.

2) По кислотности конденсата и содержанию в нем частиц железа можно судить о скорости изнашивания колец и втулок [7].

Диаграмма видов и методов диагностики ДВС представлена на рис.1.

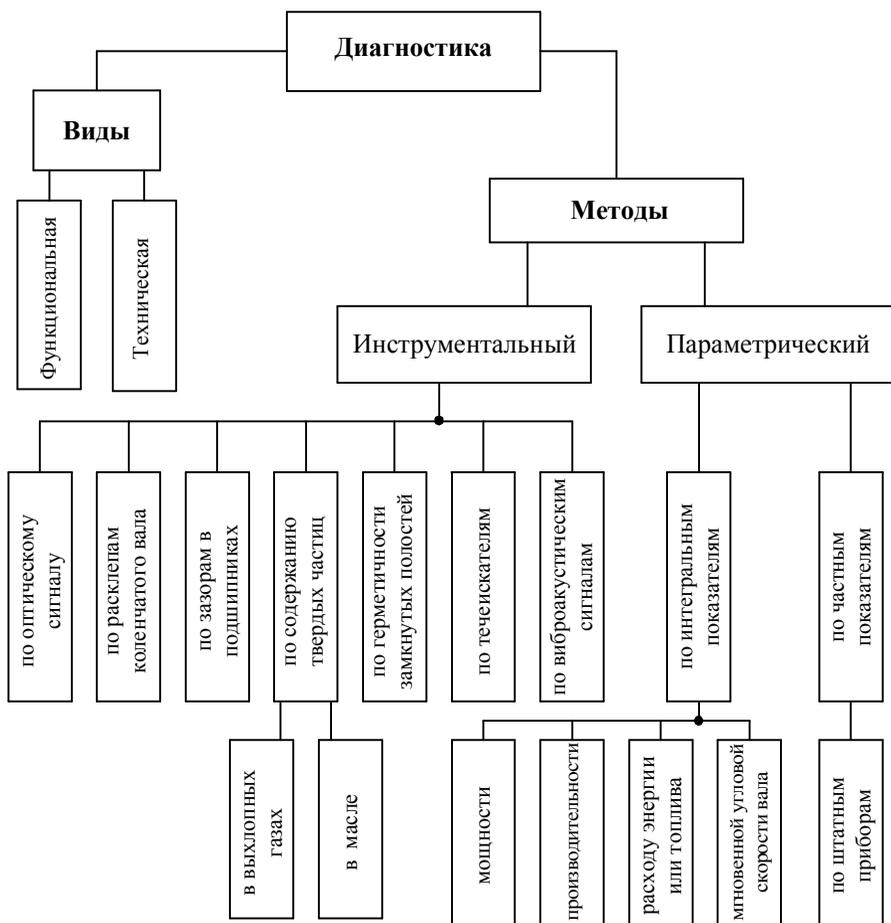


Рис. 1. Диаграмма видов и методов диагностики ДВС

Системы двигателей внутреннего сгорания (СДВС) состоят из многочисленных деталей и узлов, подверженных различным видам повреждений, для оценки степени развития которых (без разборки машины) требуются специальные средства и методы ТД. При этом надо иметь в виду, что не все виды повреждений могут быть обнаружены современными средствами (например, трещина под буртом цилиндровой втулки).

Диагностированию в основном доступны повреждения износосового вида, развитие которых сопровождается изменением рабочих параметров машин или каких-либо физических полей (электрических, магнитных, акустических, тепловых и т.п.) и параметров (герметичности, зазоров и др.).

При функциональной диагностике СДВС в целом во время нормальной эксплуатации механиками по штатным приборам контролируются все теплотехнические параметры, включая температуру выхлопных газов по цилиндрам с помощью встроенных термометров и работу газов в цилиндрах с помощью индикаторов типа "Майгак" или максиметров. Поддержание этих параметров в требуемых пределах осуществляется в основном за счет регулировки или обслуживания топливной аппаратуры (чистка форсунок, регулировка угла опережения подачи топлива и др.) [9].

Для более точной оценки качества рабочего процесса в цилиндрах путем анализа индикаторных диаграмм промышленность выпускает специальные приборы, включающие в себя пьезоэлектрические датчики давления и вычислительные блоки.

Для целей диагностирования любую СДУ можно представить как систему с множествами входных (Y), выходных (Z) и внутренних (Q) переменных (рис. 2).

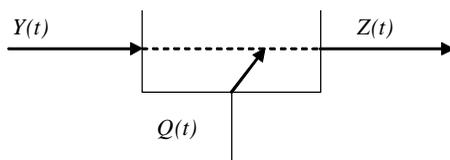


Рис. 2. Обобщенная модель диагностируемого объекта

При этом оценку технического состояния можно рассматривать как задачу нахождения скрытой зависимости между выходными и входными переменными вида:

$$Z(t) = f[Y(t), Q(t)],$$

где $Y(t) = (y_1, y_2, \dots, y_n)$ - множество входных переменных, отражающих режимные состояния и состояния внешней среды; $Z(t) = (z_1, z_2, \dots, z_m)$ - множество выходных переменных, характеризующих процесс функционирования и сопутствующие процессы (нагрев, шум, вибрация); $Q(t) = (q_1, q_2, \dots, q_k)$ - множество внутренних (прямых, материально-структурных) показателей технического состояния.

Можно использовать другое правило преобразования, называемое правилом диагностирования

$$Q(t) = f[Y(t), Z(t)].$$

Данное выражение позволяет принципиально оценить множество внутренних показателей технического состояния на основе совместного анализа множеств входных и выходных переменных, однако объем вычислений при этом будет весьма большим. В то же время развиваются современные методы и компьютерные средства, в том числе методы искусственного интеллекта, которые можно применить для решения сложных многосвязных нелинейных задач. Так, например, нейронная сеть с

прямой связью и несколькими скрытыми слоями может аппроксимировать сложные функции любого вида.

Отечественные и зарубежные фирмы предлагают современные системы диагностирования дизелей, которые наряду с оценкой теплотехнических параметров осуществляют контроль износа втулок и состояния поршневых колец, температуры деталей цилиндропоршневой группы, состояния турбокомпрессора, давления топлива перед форсункой, крутящего момента и концентрации масляных паров в картере двигателя.

Подобные системы разработаны такими известными фирмами, как "Норконтрол", "Зульцер", "Мицубиси дзюкеге", "Симоне", АСЕА, "Сигма" и др. Отличительным признаком современных диагностических систем является применение глубоко развитых интеллектуальных систем анализа и обработки данных, построенных на новейшей микропроцессорной базе и допускающих оперативную перенастройку и коррекцию рабочих программ в ходе их эксплуатации.

Современные отечественные дизель-генераторы представлены продукцией производства ОАО "Юждизельмаш" [10]. Для автоматизации контроля и управления дизельной электростанцией агрегаты комплектуются аппаратурой 1ШЩ-3 или 1ШЩ-3С.

Выводы. При контроле технического состояния дизелей в настоящее время наблюдается две основных тенденции:

- 1) получать диагностические признаки путем простой обработки большого числа измеряемых параметров;
- 2) получать указанные признаки путем сложной обработки малого числа измеряемых параметров.

Список литературы: 1. *Станиславский Л.В.* Техническое диагностирование дизелей. – Киев, Донецк, Высшая школа. 2. *А.Н. Борисенко*, к.т.н., *Л.С.Обод*, аспирант и др. Имитационное моделирование девиации угловой скорости вала дизель-генератора и получение информативных параметров для системы управления и диагностики на базе гистограммного анализа // Вестник НТУ «ХПИ». – 2008. – вып.31. 3. Материалы дипломного проекта *Заболоцкого В.Н.*, руководитель к.т.н., проф. *Савельев А.Г.* <http://www.polarcom.ru/~vvtsv/diagn01.htm>. 4. *Okude; Keiichi.* Control device for a diesel engine. United States Patent Application 20060219214. October 5, 2006. 5. *Ф.Я.Балицкий, М.А.Иванова*, и др. Виброакустическая диагностика зарождающихся дефектов - М.: Наука, 1984. 6. *Mick Corse*, Diagnostic valve system of diesel engine. United States Patent Application 6705258. Mar.16, 2004. 7. *Kumar; Sanath V.*; DOC and particulate control system for diesel engines December United States Patent Application. 21, 2005. 8. *Uchiyama; Ken*; United States Patent Application 20060054132. March 16, 2006. 9. *Ле Ван Дием.* Модели и алгоритмы технического диагностирования судовых дизельных установок в процессе эксплуатации: диссертация к.т.н.: 05.13.06 СПб., 2006 177 с. РГБ ОД, 61:07-5/451. 10. Каталог научно-производственно-монтажного предприятия "Связьэнергосервис". http://www.kupol.com.ua/service_2.html.

Поступила в редколлегию 22.12.08