

УДК 620.17

О мониторинге и диагностике механических неисправностей двигателей внутреннего сгорания

Халиуллин Ленар Ильдарович^{1(*)}

KhaliullinLI@kos.sibur.ru

Мещеряков Константин Михайлович¹

meshcheriakovkm@kos.sibur.ru

Белик Денис Викторович²

belikdv@tobolsk.sibur.ru

Сатгараев Адель Наилевич³

satgaraevan@innovation.sibur.ru

¹ ПАО «Казаньоргсинтез», Республика Татарстан, Казань, Россия² ООО «Западно-Сибирский нефтехимический комбинат», Тобольск, Россия³ ООО «Сибур-инновации», Республика Татарстан, Казань, Россия

Аннотация. В настоящее время двигатели внутреннего сгорания (ДВС) остаются важнейшим элементом мировой энергетики и транспортной инфраструктуры, играя ключевую роль в обеспечении жизнедеятельности общества и промышленного сектора. Остается открытым вопрос поддержания их максимальной производительности и надежности. На данный момент существуют различные методы мониторинга и диагностики по определению неисправностей, которые не выявляют дефекты на ранних стадиях развития ДВС. В качестве дополнительного метода по выявлению зарождающихся дефектов предложено использование стационарной системы вибродиагностики. Проведены испытания с последующими выводами.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, методы неразрушающего контроля, мониторинг и диагностика, надежность, цифровизация

Введение. Актуальность мониторинга и диагностики обусловлена несколькими важными факторами. Во-первых, постоянное стремление к повышению ресурса и снижению затрат на обслуживание вынуждает разработчиков внедрять новые технологии, способные заблаговременно выявлять признаки неисправностей. Во-вторых, рост экологической ответственности диктует необходимость поддерживать оборудование в рабочем состоянии, сводя к минимуму выбросы вредных веществ в атмосферу. Наконец, повсеместная информатизация и цифровизация открывают широкие горизонты для автоматического мониторинга и предиктивной диагностики, что заметно сокращает затраты на ремонт.

Существует множество современных систем мониторинга и диагностики и методов контроля, которые используются для раннего обнаружения механических дефектов, имеющие свои преимущества и недостатки.

Постановка задачи. Современный подход требует комплексного использования нескольких методов, объединяя сильные стороны каждого инструмента и компенсируя их недостатки. Только такая комбинация обеспечит максимальную эффективность и надежность диагностики механических дефектов двигателя.

Основные методы неразрушающего контроля и диагностики ДВС. Акустико-эмиссионная диагностика — это современный способ неразруша-

ющего контроля и мониторинга технического состояния двигателей внутреннего сгорания. Она основана на регистрации акустических сигналов, генерируемых внутренними компонентами двигателя в процессе работы. Этот метод активно используется для оценки текущего состояния и предупреждения возможных неисправностей.

Термография — это метод бесконтактного тепловизионного обследования поверхностей, основанный на фиксации тепловых полей с помощью специальной аппаратуры. Термографическое обследование широко применяется для диагностики технического состояния двигателей внутреннего сгорания, поскольку позволяет оценить распределение тепла и выявить зоны перегрева или чрезмерного охлаждения, что свидетельствует о наличии определенных дефектов или ухудшении режимов работы.

Анализ моторного масла (масляный анализ) является важным инструментом диагностики состояния двигателя внутреннего сгорания. Суть метода состоит в изучении состава и свойств отработанного моторного масла, извлеченного из двигателя. Масло контактирует с большинством внутренних компонентов двигателя, поэтому оно способно отражать различные процессы, происходящие внутри агрегата.

Газовый анализ выхлопных газов — это важнейший элемент диагностики состояния двигателя внутреннего сгорания. Газовый анализатор оценивает химический состав выхлопных газов, позволяющий сделать выводы о рабочем цикле двигателя, составе горючей смеси, характеристиках процесса сгорания и многом другом.

Искровая диагностика — это методика диагностики двигателя внутреннего сгорания, основанная на исследовании электрической активности свечей зажигания, а именно электрических разрядов («искровых разрядов»), возникающих при запуске и работе двигателя. Основная задача искрового анализа — изучение характера и стабильности искрообразования, что позволяет выявлять различные типы неисправностей и оценивать общее состояние системы зажигания и всего двигателя.

Эндоскопическая диагностика двигателя внутреннего сгорания — это инновационный метод, использующий специальные оптические устройства (эндоскопы) для визуализации труднодоступных участков внутренней полости двигателя. Эндоскоп вводится через небольшие отверстия или специально созданные технологические окна, обеспечивая прямое наблюдение за состоянием узлов и деталей.

Телеметрические системы представляют собой совокупность технологий сбора, передачи и обработки данных, поступающих от различных датчиков, установленных на двигателе внутреннего сгорания. Они позволяют непрерывно отслеживать важные рабочие параметры двигателя, такие как давление масла, температуру, обороты, скорость движения и многое другое.

Широко распространены *портативные диагностические устройства* и *специализированные программы* для мобильных телефонов, планшетов и компьютеров, предоставляющие быстрый доступ к основным параметрам двигателя.

Ультразвуковое обследование — это современный метод диагностики, основанный на применении ультразвуковых волн для выявления дефектов и нарушений структуры внутренних компонентов двигателя внутреннего сгорания.

Диагностика износа подшипников — это важная составляющая комплексного технического обслуживания и диагностики ДВС. Данная процедура направлена на оценку физического состояния подшипниковых узлов, которые испытывают высокие нагрузки и подвергаются интенсивному воздействию при работе двигателя.

Мониторинг гидродинамических параметров ДВС представляет собой процесс систематического наблюдения и анализа ряда физических величин, характеризующих движение жидкостей и газов в системе смазки и охлаждения двигателя. Основные гидродинамические параметры, подлежащие наблюдению, включают давление масла, температуру жидкости, скорость потока и т. д.

Магнитная диагностика (магнитодефектоскопия) — это современный метод неразрушающего контроля, применяемый для диагностики состояния деталей ДВС. Основан он на взаимодействии магнитного поля с металлическими поверхностями и выявлении дефектов в материале, таких как трещины, поры, неплотности сварки и другие повреждения. Магнитная диагностика позволяет выявлять дефекты, невидимые глазу, и тем самым способствует поддержанию надежности и безопасности работы двигателя.

Системы интеллектуального анализа данных (ИАД) — это современное направление в диагностике и контроле технического состояния двигателей внутреннего сгорания. Используя продвинутые алгоритмы и вычислительные мощности, они позволяют всесторонне изучать накопленные массивы данных, получаемых от различных датчиков и исполнительных механизмов, и давать точные прогнозы о состоянии двигателя.

Радиометрические методы диагностики применяются для анализа плотности, однородности и состава различных материалов, что актуально и при диагностике ДВС. Радиометрия основана на использовании радиоактивных источников излучения и детекторов, позволяющих изучать внутреннее строение объекта без его вскрытия.

Описанные выше методы и системы имеют свои преимущества и недостатки, касающиеся идентификации механических повреждений.

Предложенный метод контроля и диагностики ДВС. Метод основан на измерении вибрации узлов и агрегатов и последующем анализе полученных сигналов для определения степени износа деталей, наличия неисправностей и рекомендации по техническому обслуживанию.

Для осуществления эксперимента необходимо выполнить следующую подготовку рабочего стенда с ДВС:

1) Установка четырех датчиков скорости вращения (Датчики Холла). Два датчика будут размещены для мониторинга частоты вращения коленчатого вала, остальные два датчика будут контролировать частоту вращения распределительного вала;

2) установка четырех датчиков вибрации (акселерометр). Каждый датчик необходимо расположить в нижней части двигателя вдоль траектории перемещения соответствующего поршня, что позволит осуществлять одновременный контроль вибрации, связанной с движением всех четырех поршней;

3) установка датчика давления газов. Необходимо расположить датчик давления в верхней зоне ДВС с целью фиксации изменений давления картерных газов, возникающих в ходе работы двигателя.

В качестве стендового образца использован бензиновый четырехцилиндровый, четырехтактный инжекторный атмосферный агрегат семейства ВАЗ-21126 рабочим объемом 1,6 литра.

Сбор необходимой информации в рамках работы осуществлялся с использованием специализированной профессиональной портативной многоканальной системы сбора данных, оснащенной модулем динамической обработки сигналов. Система позволяет проводить измерение частоты и амплитуды вибрации, определять уровень шума и нагрузки для выявления повреждений узлов двигателя на ранних стадиях зарождения дефектов.

Заключение. Ввиду ограниченного функционала систем мониторинга и диагностики двигателей внутреннего сгорания существующими методами предложена новая концепция, направленная на существенное повышение точности и чувствительности обнаружения механических дефектов на начальном этапе их формирования с применением современной системы вибродиагностики. Предлагаемое в работе решение предусматривает реализацию принципиально иного подхода к контролю состояния двигателя внутреннего сгорания, позволяющего оперативно зафиксировать начало негативных изменений в структуре и функциях ключевых компонентов агрегата.

Список источников

- [1] Чайнов Н.Д., Краснокутский А.Н., Мягков Л.Л. *Конструирование и расчет поршневых двигателей*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018, 536 с.
- [2] Грехов В.В., Иващенко А.В. *Топливная аппаратура и системы управления*. Москва, Машиностроение, 2018, 456 с.
- [3] Дрыгин С.Ю. *Обоснование метода вибродиагностики технического состояния одноковшовых карьерных экскаваторов*. Кемерово, Кузбас. гос. техн. ун-т, 2005, 18 с.