

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ДИАГНОСТИКА РАБОТЫ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ ДИЗЕЛЕЙ БОЛЬШЕГРУЗНЫХ КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ

В.А. Медведев, к.э.н., В.А. Янчеленко, к.т.н.

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный» (Санкт-Петербург)

Рассмотрены вопросы ультразвукового мониторинга качества впрыска топлива в дизелях карьерных автосамосвалов. Данные бортовой диагностики используются при создании интеллектуальной системы управления, позволяющей выбирать оптимальные по экономичности режимы работы большегрузных автосамосвалов, выполняющих перевозки горной массы на открытых горных работах.

Снижение расхода топлив технологическим автомобильным транспортом (автосамосвалами), выполняющими на открытых горных работах перевозки горной массы — одна из приоритетных задач в инвестиционных программах горнодобывающих предприятий России, так как является существенным фактором снижения себестоимости производства.

В настоящее время на указанных работах в качестве технологического транспорта в основном используются карьерные автосамосвалы БелАЗ грузоподъемностью 45–360 т с дизельными двигателями мощностью 900–2800 кВт фирм «Cummins» и MTU, дизельными двигателями ЧН21/21 Уральского дизель-моторного завода и 12ЧН26/26 ОАО «Коломенский завод».

Всего в России в 2012 году эксплуатировалось около 500 большегрузных автосамосвалов БелАЗ. По существующим соглашениям Белорусский автомобильный завод в следующие 10 лет поставит горнодобывающим предприятия России еще более 1000 большегрузных карьерных автосамосвалов. При этом имеет место заметное смещение структуры поставляемого парка автосамосвалов в сторону более тяжелых моделей грузоподъемностью 130–360 т. Доля других марок автомобилей этого класса (Caterpillar, Komatsu, Unit Rig, Liebherr и так далее) по-прежнему останется существенно меньшей.

Таким образом, на близкую и среднесрочную перспективу дизельные силовые агрегаты остаются основным приводом рассматриваемого технологического транспорта, а вопросы улучшения топливной экономичности двигателей автосамосвалов занимают важное место в рассматриваемой проблеме совершенствования производства на горнодобывающих предприятиях.

Карьерные автосамосвалы эксплуатируются в условиях специально подготовленных дорог, с разными дорожными покрытиями, разными уклонами и радиусами кривых проезжих частей дорог, на спусках и подъемах, при различных скоростях движения, давления воздуха в шинах, в загруженных и порожних состояниях, большей частью в сложных условиях климата севера России, часто меняющих состояние дорожного полотна.

Вследствие этого к особенностям эксплуатации большегрузных автосамосвалов относится работа двигателей на динамично меняющихся неуставившихся режимах с изменением нагрузки двигателей от нулевой до максимально допустимой. Время работы на долевых режимах при этом составляет более половины общего времени работы автосамосвалов. Время работы на наиболее экономичных режимах ограничено условиями эксплуатации.

Экономичность двигателей автосамосвалов во многом определяется качеством впрыска топлива в цилиндры двигателей. Обеспечение качественной работы топливной системы при всем разнообразии долевых режимов работы двигателей в условиях эксплуатации является сложной технической задачей.

Регулировки топливной аппаратуры на стендах не могут гарантировать в полной мере качественную работу в эксплуатации. Это связано с техническими различиями установки компонентов топливной системы после технических обслуживания и ремонтов, а также с возникающими на отдельных долевых режимах работы двигателей в высоконапорной части топливных систем волновыми резонансными явлениями и колебаниями элементов конструкции топливной системы, ухудшающими процесс впрыска топлива в эксплуатации.

Для обеспечения экономичности дизелей автосамосвалов за счет контроля качественного впрыска топлива, используется технология мониторинга качества работы топливной аппаратуры по ультразвуковым колебаниям конструкций, вызываемых процессом распыливания топлива в цилиндрах дизелей [1]. При этом измерение ультразвуковых колебаний выполняется с исполь-

зованием миниатюрных пьезокварцевых вибропреобразователей.

Указанные вибропреобразователи размещаются в съемных измерительных головках и имеют высокую надежность (рабочая температура от -60 до $+100$ °С, допустимые величины виброускорений до $5 \cdot 10^5$ м/с²) при небольших габаритах и массе (около 1 г).

Крепление измерительных головок к поверхностям элементов топливной системы осуществляется вблизи распылителей форсунок путем прижатия легкими болтовыми соединениями. Количество измерительных головок в комплекте до 12 штук (по желанию заказчика).

Преимущество использования ультразвука для контроля впрыска топлива определяется следующими факторами.

- > Возможность непосредственного получения от контролируемых топливных распылителей локальных, «чистых» от помех соседних источников, вибрационных сигналов. Это является следствием благоприятного комплекса воздействия таких факторов, как длина волн упругих колебаний, скорости их распространения, величины демпфирования конструкций, линейных расстояний в двигателях между контролируемыми источниками вибраций и расстояния от источников вибраций до точек их измерений.

- > Возможность использования миниатюрных (0,2–1,0 г), высоконадежных вибропреобразователей для контроля и измерений вибраций.

- > Конструктивная простота, небольшие габариты, масса и высокая надежность узлов обработки вибрационных сигналов.

На рис. 1 представлены характерные виды ультразвуковых колебаний при впрыске топлива в дизельных двигателях автосамосвалов БелАЗ, в процессе эксплуатации на долевых режимах работы двигателей.

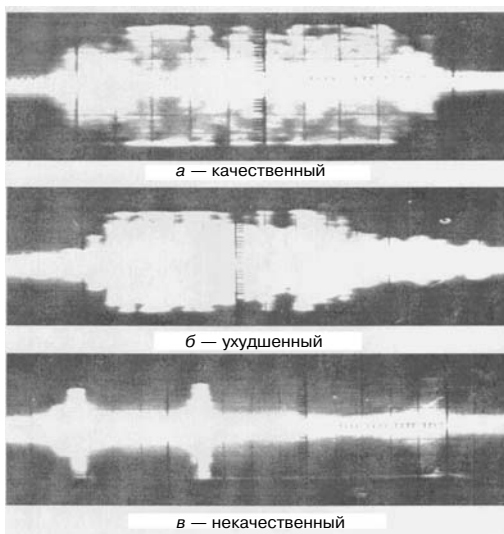


Рис. 1. Характерные виды процесса впрыска топлива



Рис. 2. Схема электронной системы ультразвукового контроля впрыска топлива

Режим «а» соответствует качественному впрыску топлива, когда имеет место резкое начало и окончание (отсечка) подачи топлива, равномерная подача по продолжительности впрыска. Процесс подачи по углу поворота коленчатого вала соответствует оптимальному для данного режима работы двигателя.

Режим «б» — вторая половина процесса впрыска затянута, начало и окончание впрыска топлива нечеткие, подача топлива неравномерна по продолжительности и превышает оптимальное значение. Имеет место ухудшение качества впрыска топлива.

Режим «в» соответствует некачественному (существенно ухудшенному) впрыску топлива. Имеет место «рваный» впрыск, распылитель «льет» топливо, длина подачи выходит за оптимальное значение.

Ультразвуковые колебания источников вибраций, как это показано на рис. 2, преобразуются в формализованный цифровой сигнал и поступают на штатный бортовой контроллер, который осуществляет формирование навигационного управления (маршрутизация), электронный контроль качества впрыска топлива, контроль расхода топлива и оптимизацию давления в шинах. Предложенный метод контроля позволяет оптимизировать управление технологическим процессом перевозок и повышает экономическую эффективность автотранспорта [2].

Внедрение ультразвуковой технологии мониторинга впрыска топлива увеличивает перечень получаемых в системе управления перевозками фактических данных по транспортному процессу, повышает качество управления режимами работы автосамосвалов и расширяет возможности их оптимизации.

Управление технологическими автотранспортными системами рассматриваемой сложности при динамически изменяющихся условиях работы автосамосвалов, временных ограничениях на принятие управленческих решений и их многовариантности относится к классу трудно формализуемых задач.

Качественное решение таких задач с использованием традиционных технологий на базе автоматизированных систем диспетчерского управления (АСУ, АСДУ), в которых применяются математические методы решений с использованием составленных человеком и им же запрограммированных алгоритмов, практически невозможно.

Для их решения требуются использование методов математической (символической) логики, переход на интеллектуальные системы диспетчерского управления и внедрение экспертных систем реального времени.

Разработка интеллектуальной системы управления режимами работы автосамосвалов — это многомесячная опытно-конструкторская работа, выполняемая группой специалистов (эксперты, инженер по знаниям, специалист по информационным системам, программист). Экспертная система является ее главной частью.

Получаемые по системам мониторинга транспортных процессов фактические данные и правила (алгоритмы) манипуляций с ними позволяют сформировать базу данных и систему управления базой данных экспертной системы (СУБД). Далее разрабатывается база знаний экспертной системы. При этом используется продукционная модель представления знаний. В общем виде продукционная модель имеет вид:

$$N; Q; P; A \rightarrow B; R,$$

где N — имя продукции; Q — сфера применения продукции; P — условие применения (значения «истина» или «ложно»); R — постусловие продукции; $A \rightarrow B$ — запись продукционных правил (A — сложное условие, B — утверждение истинности нового факта, выводимого из A).

Находящаяся в СУБД информация, база продукционных правил или база знаний, рабочая память базы знаний, интерпретатор правил (решатель), реализующий механизм логического вывода, образуют продукционную экспертную систему.

В базе знаний находятся несколько сотен продукционных правил, образующих семантическую сеть, имитирующую сознание человека. Вершины сети (информационные единицы) связаны семантическими (смысловыми) связями.

Интерпретатор (решатель) представляет собой программу, которая работает с базой данных и знаний. В программе используются объектно-ориентированные языки (С#). Интерпретатор имитирует рассуждения человека-эксперта в данной предметной области, строит цепочки логических рассуждений и осуществляет логический вывод (предлагает решение задачи).

Наиболее сложная часть деятельности интерпретатора — это управление логическим выводом. При этом могут использоваться цепочки



Рис. 3. Виртуальная информационная сеть контроля работы автосамосвалов

прямого или обратного вывода. Все множество продукционных правил и данных в базе знаний экспертной системы хранится в виде древовидной структуры, называемой И-ИЛИ-графом.

Существует несколько стратегий управления логическим выводом — поиск в глубину, в ширину и другие.

Рассматриваемая экспертная система работает следующим образом. Из внешней среды в базу знаний системы в режиме реального времени поступают данные. Интерпретатор убеждается, что содержащиеся в правилах факты имеют место в действительности. Происходит стимуляция узла семантической сети, образуемой продукционными правилами.

Активизируются связи этого узла с другими узлами, активность распространяется по всей семантической сети. Решение вырабатывается в результате логического вывода.

Информация по решению поступает на бортовые компьютеры. Управляющие команды от экспертной системы поступают в блок реализации команд. При наличии в интеллектуальной машине управления компоненты, реализующей управляющие команды, автосамосвал автономно переводится на экономичный режим работы.

Возможен вариант делегирования принятия решения от бортового контроллера в диспетчерский центр управления с использованием GSM канала связи. Но в любом случае существует возможность оперативного он-лайн — контроля работы автотранспорта всеми заинтересованными лицами в виртуальном информационном облаке, как это приведено на рис. 3.

Литература

1. Янчеленко В.А. Создание ультразвуковых глобальных систем мониторинга технического состояния тяжелых автомобильных двигателей // Сб. «Проблемы теории и практики автомобильного транспорта». — СПб. : Изд-во СЗТУ, 2011. — Вып. 4. — С. 29–32.
2. Бачевский С.В., Медведев В.А. Принципы использования искусственного интеллекта в логистических транспортных системах // Сб. «Радиоэлектроника интеллектуальных транспортных систем». — СПб. : Изд-во СЗТУ, 2009. — Вып. 1. — С. 109–113.