

## УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ДИАГНОСТИКА КОРЕННЫХ ПОДШИПНИКОВ ДИЗЕЛЕЙ КАРЬЕРНЫХ АВТОСАМОСВАЛОВ В ЭКСПЛУАТАЦИИ

В.А. Янчеленко, к.т.н., В.А. Медведев, к.э.н.,  
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный» (Санкт-Петербург)

Разработана система бортовой ультразвуковой диагностики коренных подшипников дизельных двигателей большегрузных карьерных автосамосвалов. Выполнена проверка работы системы в условиях эксплуатации автомобилей. Разработана экспертная система подготовки автосамосвалов к эксплуатации, функционирующая на базе данных бортовой диагностики автосамосвалов.

В России около 70 % твердых полезных ископаемых (руды минералов, черных и цветных металлов, угли, строительные материалы и другие) добываются открытым способом. Для их перевозки на добывающих предприятиях используются транспортно-технологические комплексы с большегрузными карьерными автосамосвалами грузоподъемностью 90–360 т, в основном производства республики Беларусь (БелАЗ), с дизельными двигателями мощностью 900–2800 кВт. Силовые установки карьерных автосамосвалов оборудованы как отечественными дизелями — ЧН21/21 (ДМ21) Уральского дизель-моторного завода, 12ЧН26/26 ОАО «Коломенский завод», так и дизелями зарубежного производства — MTU (Германия), QSK и KTA фирмы «Cummins» (США) и другими.

Для добывающих предприятий России повышение надежности функционирования транспортно-технологических комплексов является важнейшей задачей. Для ее решения крупнейшими отечественными горнодобывающими компаниями реализуются высокоэффективные проекты по внедрению автоматизированных систем диспетчеризации [1].

Составным элементом этих систем являются средства диагностики, позволяющие получать фактические данные о техническом состоянии двигателей автосамосвалов. Важными и ответственными узлами автосамосвалов являются коренные подшипники коленчатых валов дизельных двигателей. Количество выходов из строя коренных подшипников двигателей занимает одно из первых мест в статистике тяжелых отказов дизелей большегрузных автосамосвалов.

**Разработка и испытания устройства бортовой диагностики.** Для диагностики в условиях эксплуатации технического состояния (величин зазоров) коренных подшипников используется технология их контроля по ультразвуковым колебаниям, возникающим вследствие ударов коленчатого вала по вкладышам подшипников при работе дизельных двигателей [2].

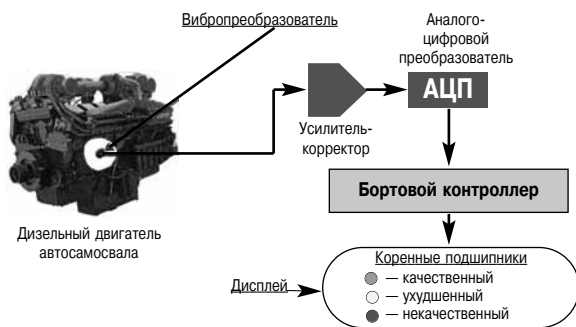
При этом измерение характеристик ультразвуковых колебаний выполняется с использованием миниатюрных пьезокварцевых вибропреобразователей массой 0,2–1 г отечественного производства. Преобразователи размещаются в съемных измерительных головках и имеют высокую надежность (рабочая температура от –60 до +100 °С, допустимые величины виброускорений до  $5 \cdot 10^5$  м/с<sup>2</sup>). При этом измерительные головки имеют небольшие габариты и массу не превышающую 100–150 г.

Измерительные головки крепятся к наружным поверхностям блок-картера дизельного двигателя автосамосвала вблизи коренных подшипников коленчатого вала легкими болтовыми соединениями. Количество измерительных головок может быть от одной до нескольких. Преимуществом использования ультразвука для контроля состояния подшипников является возможность непосредственного получения от источника ультразвука локальных, «очищенных» от помех, вибрационных сигналов.

Это возможно вследствие благоприятного сочетания комплекса таких факторов, как длина волн упругих колебаний, скорость их распространения, величина демпфирования конструкции, минимальное линейное расстояние от источников вибраций до точек их измерений.

Схема устройства для ультразвуковой диагностики коренных подшипников коленчатых валов дизельных двигателей представлена на рис. 1. Испытания проводились на одном из предприятий Кольского полуострова на двух работающих карьерных автосамосвалах грузоподъемностью 130 т с дизельными двигателями KTA (Cummins). Нагружение двигателей автосамосвалов осуществлялось в условиях испытательного стенда горнодобывающего предприятия.

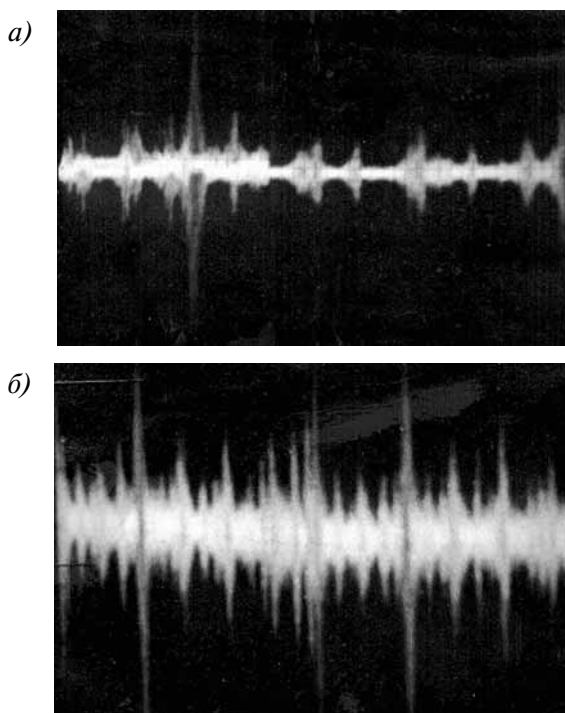
У двигателя первого автосамосвала зазоры в коренных подшипниках находились в пределах



**Рис. 1. Схема устройства для ультразвуковой диагностики коренных подшипников дизелей большегрузных автосамосвалов в эксплуатации**

нормы. Двигатель второго автосамосвала имел изношенные подшипники с предельно допустимыми зазорами, т. е. подшипники находились практически в предаварийном состоянии.

На рис. 2 представлены характерные виды ультразвуковых колебаний узлов коренных подшипников в частотном диапазоне 50–60 кГц. Рис. 2, а соответствует двигателю автосамосвала с качественными подшипниками, рис. 2, б — двигателю с изношенными некачественными подшипниками. При ухудшении качества подшипникового узла можно видеть рост амплитуды колебаний в 3–4 раза.



**Рис. 2. Характерные виды ультразвуковых колебаний в диапазоне частот 50–60 кГц узлов коренных подшипников дизелей большегрузных автосамосвалов в условиях эксплуатации:**

а — качественное состояние подшипников; б — некачественное состояние подшипников

Полученные экспериментальные данные позволяют достаточно точно выделить на дисплее бортового контроллера (см. рис. 1) три уровня оценки состояния коренных подшипников: качественный; ухудшенный; некачественный, при котором дальнейшая эксплуатация двигателя автосамосвала практически невозможна.

Внедрение в эксплуатацию ультразвуковой технологии диагностики технического состояния узлов коренных подшипников дизелей позволяет повысить качество и эффективность управления транспортно-технологическим комплексом.

**Разработка экспертной системы.** Для повышения качества управления перевозками на базе метода ультразвуковой диагностики коренных подшипников коленчатого вала и ранее разработанного метода ультразвуковой диагностики топливной аппаратуры дизелей большегрузных автосамосвалов [3], в сочетании с другими данными (величины давлений воздуха в шинах, смазочного масла, наличие топлива в баке, температура охлаждающей жидкости двигателя, напряжение бортовой сети и другие), разрабатывается и интегрируется в автоматизированную систему диспетчеризации экспертная система предметной области «Подготовка автосамосвала к эксплуатации».

Экспертная система создается с участием специалистов-экспертов в данной предметной области, аккумулирует их знания, учитывает установленный регламент работы и все особенности конкретных условий эксплуатации автосамосвалов.

В базе знаний экспертной системы используются продукционные правила, охватывающие все бортовые системы автосамосвалов, задействованные при реализации указанной задачи. Для записи продукционных правил используется аналитический аппарат математической (символьной) логики.

Запись осуществляется традиционно в виде «ситуация—действие» (IF-THEN) в основном с помощью логических связей — конъюнкция ( $\wedge$ ) и импликация ( $\rightarrow$ ). При этом используется алфавит объектно-ориентированного языка C#, являющегося в настоящее время основным и широко применяемым языком в коммерческих программах.

Правила имеют вид типа «Если в комплект автосамосвала входят исправные аккумуляторы и исправные форсунки и топливо и исправные шины, то автосамосвал готов к эксплуатации». С учетом соответствующих позиционных обозначений сделанных высказываний (A, B, C, D, E) указанное правило записывается в базе знаний экспертной системы следующим образом

$$A \wedge B \wedge C \wedge D \rightarrow E. \quad (1)$$

В базе знаний экспертной системы содержатся

так же правила типа (2), являющиеся логическим следствием правил типа (1), например: «Если аккумуляторы исправны и бортовая электрическая сеть в рабочем состоянии, то возможна прокачка смазочного масла»; «Если бортовая электрическая сеть в рабочем состоянии и стартер исправен, то возможно вращение дизельного двигателя»; «Если возможно вращение дизельного двигателя и система охлаждения двигателя в норме и имеется топливо и давление смазочного масла в норме, то обеспечивается пуск дизельного двигателя на холостом ходу»; «Если режим работы холостого хода и коренные подшипники исправны и топливная система в рабочем состоянии, то обеспечивается работа дизельного двигателя на режиме нагрузки». И так далее.

Сделанные новые высказывания в упомянутых правилах соответственно позиционно определены —  $L, K, G, N, Q, P, R, S, J, U, F$ . Сами правила, выраженные с помощью этих определений, записаны в базе знаний экспертной системы с использованием логических связей в виде (2):

$$\begin{aligned} A \wedge L \rightarrow K; L \wedge G \rightarrow N; \\ N \wedge Q \wedge C \wedge P \rightarrow R; S \wedge J \wedge U \rightarrow F. \end{aligned} \quad (2)$$

Все множество продукционных правил, данных, решений и связей, хранимых в рассматриваемой экспертной системе, могут быть представлены в виде древовидной структуры, называемой И–ИЛИ–графом. Вид указанной структуры показан на рис. 3.

В нижнем ряду структуры на первом уровне находятся данные факты (состояние шин, наличие топлива в баке, состояние аккумуляторов и так далее); на втором уровне — продукционные правила, используемые в первую очередь; на третьем уровне — выведенные факты, полученные с использованием продукционных правил второго уровня.

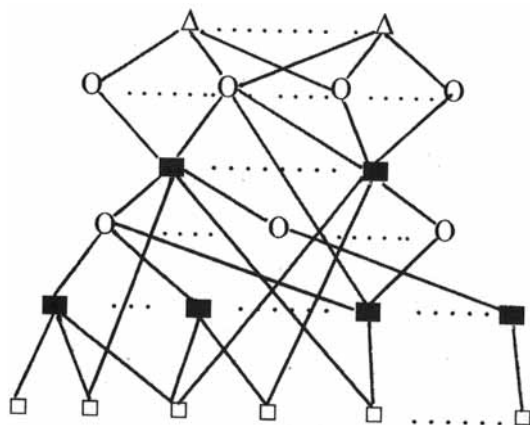


Рис. 3. Структура хранения фактов, правил и решений в экспертной системе:

△ — решения; ○ — выведенные факты; ■ — продукционные правила; □ — данные факты; — семантические (смысловые) связи

Все выведенные факты передаются на экран компьютера. Четвертый уровень содержит продукционные правила, использующие как данные факты, так и выведенные. На пятом уровне расположены новые выведенные факты и так далее.

На самом верхнем уровне располагаются решения о готовности или неготовности автосамосвалов к эксплуатации. Все необходимые сведения передаются на экран компьютера.

Экспертная система ориентирована на оптимальное и высококачественное выполнение работ согласно установленному алгоритму.

Возможен вариант делегирования информации о решениях в диспетчерский центр управления с использованием GSM-канала связи, но в любом случае существует возможность оперативного (в реальном времени) контроля подготовки автосамосвалов к эксплуатации всеми заинтересованными лицами в виртуальном информационном облаке [3].

**Перевод экспертной системы на интеллектуальную технологию работы.** Качественное решение задачи улучшения диспетчеризации и надежности функционирования таких сложных динамических систем, как транспортно-технологические комплексы перевозок горной массы добывающих предприятий, требует перехода на новые интеллектуальные технологии управления как отдельными автосамосвалами, так и комплексом в целом.

Суть этих новых технологий состоит в передаче значительной части работы по управлению транспортно-технологическим комплексом интеллектуальным экспертным системам реального времени (искусственному интеллекту или искусственному «мозгу») в целях избавления от влияния «человеческого фактора» [4, 5]. Эти экспертные системы обладают возможностью генерировать объективные решения, производить осмысленные действия, т. е. выполнять в данной предметной области работу, аналогичную работе человека-эксперта.

При этом использование интеллектуальной экспертной системы, по сравнению с работой, выполняемой человеком, обладает рядом преимуществ — высокое быстродействие, четкая предметная ориентация, предсказуемость, постоянное пополнение знаний, возможность одновременного решения нескольких задач и анализ всех поступающих данных, протоколирование всех своих действий и т. д. [6].

Разработанные к настоящему времени инструментальные средства искусственного интеллекта (язык C#) позволяют интегрировать интеллектуальные экспертные системы в действующие автоматизированные системы диспетчеризации,

улучшать качество их работы и увеличивать их возможности.

Для перевода экспертной системы на интеллектуальную технологию работы она оснащается интерпретатором (программой логического вывода), рабочей памятью базы знаний и подсистемой объяснений. При этом она приобретает возможность выполнять (по запросу пользователя) простые причинные рассуждения, исследовать причины неготовности и формулировать решения в области подготовки автосамосвалов к эксплуатации.

Для поиска логических решений поставленной задачи с использованием интеллектуальной экспертной системы используется разбиение ее на подзадачи, представление результатов их решения в виде системы иерархически связанных целей, подцелей, в результате чего стандартизируется поиск решения. После установки на автосамосвалах средств исполнения команд (решений), поступающих на компьютеры от интеллектуальной экспертной системы, процесс подготовки автосамосвалов к эксплуатации может осуществляться автономно (без участия человека).

#### Литература

1. Никитин К.В., Звонарь А.Ю., Козлов Д.Е., Маркитан С.В. Результаты промышленного внедрения автоматизированной системы диспетчеризации на Восточном руднике ОАО «Апатит» // Горная промышленность. — 2012. — № 4. — С. 20–24.

2. 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.

3. Медведев В.А., Янчеленко В.А. Ультразвуковая диагностика работы топливной аппаратуры дизелей большегрузных карьерных автосамосвалов // Двигателестроение. — 2013. — № 1. — С. 28–30.

4. Медведев В.А., Зотов Л.Л., Янчеленко В.А. Экология и экономичность эксплуатации большегрузных автосамосвалов и создание интеллектуальной системы управления перевозками // Экология и развитие общества. — 2012. — № 4 (6). — С. 30–36.

5. Алексеев В.А., Янчеленко В.А. Экспертная система для улучшения топливных и экологических показателей автосамосвалов на открытых горных работах // Экология и развитие общества. — 2013. — № 2–3 (8). — С. 21–26.

6. 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.

#### НА ДВИГАТЕЛЕСТРОИТЕЛЬНЫХ ЗАВОДАХ РОССИИ

##### НА КОЛОМЕНСКОМ ЗАВОДЕ ИЗГОТОВЛЕН ТРЕХТЫСЯЧНЫЙ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОР 1А-9ДГ

ОАО «Коломенский завод» (Московская область) в октябре 2014 г. изготовил и отправил заказчику трехтысячный по счету дизель-генератор модели 1А-9ДГ.

Шестнадцать цилиндровые, четырехтактные среднеоборотные дизели 1А-9ДГ (исполнение 2-01) предназначены для ремоторизации магистральных грузовых тепловозов 2ТЭ116 при проведении их капитального ремонта.

Дизель-генераторы 1А-9ДГ были поставлены на производство в 2003 г. Современные модели дизель-генераторов, по сравнению с моделью-прототипом, имеют увеличенный в 2 раза ресурс до переборки TP2 — 400 000 км, и повышенный на 20 % срок службы — 20 лет. Модернизацию тепловозов 2ТЭ116 осуществляет Воронежский тепловозоремонтный завод.

Грузовые тепловозы 2ТЭ116 после ремоторизации и капитального ремонта будут эксплуатироваться на Свердловской, Октябрьской, Юго-Восточной и Приволжской железных дорогах, а также в Монголии и Узбекистане.

Дизель-генераторы 1А-9ДГ производятся также в исполнении 3, которые используются для модернизации грузовых тепловозов 2ТЭ10.

##### НА КОЛОМЕНСКОМ ЗАВОДЕ ПРОШЛИ ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБУЧЕНИЕ СПЕЦИАЛИСТЫ СЕВАСТОПОЛЬСКОГО СУДОРЕМОНТНОГО ЗАВОДА

В настоящее время Черноморскому флоту передаются новые подводные лодки с двигателями Д42 (30ДГ-04, 30ДГ-05) производства Коломенского завода. По инициативе Министерства обороны Российской Федерации в Центре развития персонала ОАО «Коломенский завод» 22–26 декабря 2014 г. прошел семинар по техническому обучению группы слесарей-ремонтников Севастопольского судоремонтного завода по устройству, монтажно-демонтажным работам, регулировке и эксплуатации дизель-генераторов семейства Д42 и системы «Роса 30». Начальники отделов и ведущие специалисты управления главного конструктора по машиностроению в соответствии с программой обучения познакомили специалистов Севастопольского завода с устройством всех основных узлов дизель-генераторов, их отличительными особенностями, которые необходимо знать при эксплуатации, обслуживании и ремонте НПЛ.

<http://www.kolomnadiesel.com>