

П. Б. Герике

канд. техн. наук, старший научный сотрудник Института угля СО РАН,
доцент кафедры горных машин и комплексов ФГОУ ВПО «Куз ГТУ им. Т. Ф. Горбачева»

УДК 53.083(430.1)

КОНТРОЛЬ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ БУРОВЫХ УСТАНОВОК СЕРИИ DML ПО ПАРАМЕТРАМ МЕХАНИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ

На примере буровых установок типа DML, эксплуатирующихся в условиях угольной промышленности Кузбасса, приведено описание наиболее распространенных дефектов динамического оборудования. Дана оценка эффективности применения комплексного диагностического подхода. Обоснована и доказана необходимость перехода на систему обслуживания техники по фактическому техническому состоянию.

Ключевые слова: ВИБРОДИАГНОСТИКА, БУРОВАЯ УСТАНОВКА, ДИНАМИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМ ОБСЛУЖИВАНИЕМ

Федеральное законодательство, регламентирующее процедуру экспертизы промышленной безопасности (ЭПБ ТУ ОПО) [1], большое значение уделяет техническому состоянию машин и агрегатов, эксплуатирующихся на опасных производственных объектах. В рамках проведения экспертизы и технического диагностирования учеными и специалистами ИУ СО РАН и ФГБОУ ВПО «КузГТУ им. Т. Ф. Горбачева» выполнен вибродиагностический контроль ряда дизель-гидравлических буровых установок типа DML, эксплуатирующихся в условиях предприятий угольной промышленности Кузбасса.

Данная установка оснащена гидроприводом верхнего расположения и предназначена для промышленного бурения составным ставом взрывных скважин на максимальную глубину 55 м, с помощью сменных буровых штанг длиной 9,1 м. Номинальный диаметр скважин при вращательном бурении составляет 152–270 мм. Предусмотрена возможность бурения погружным пневмоударником. Для работы пневмокомпрессора и гидравлической системы используется дизельный двигатель производства Caterpillar. Буровая установка DML комплектуется асимметричным роторным винтовым компрессором компании Ingersoll Rand.

Буровая мачта в сборе оснащена вращателем с гидростатическим приводом и гидравлической системой подачи. Управление стандартной каруселью на 5 штанг осуществляется с пульта, что позволяет обеспечить безопасность и легкость выполнения операций по управлению



Рисунок 1 – Общий вид буровой установки DML

буровым ставом (рис. 1).

Среди наиболее распространенных дефектов оборудования буровых установок DML, определяемых методом вибродиагностики, необходимо выделить следующие:

- износ поршневых групп двигателей внутреннего сгорания (ДВС);
- расцентровка ДВС с компрессором;
- нарушение жесткости системы;
- износ рабочих элементов компрессора;
- ослабление посадки и различные дефекты подшипников;
- дефекты элементов соединительных муфт;
- износ элементов гидромотора вращателя;

– дефекты зубозацепления в редукторе вращателя.

От технического состояния оборудования зависят не только экономические показатели, но и безопасность работы обслуживающего персонала [2, 3]. Одними из таких технических устройств являются буровые станки – неотъемлемая составляющая современной технологии открытых разработок. Вибрационные процессы, формируемые в результате работы буровой установки, довольно сложны по своему характеру, поэтому для их анализа и интерпретации полученных результатов необходимо применение сразу группы методов вибродиагностического контроля.

Современный комплекс средств для проведения работ по вибродиагностике состоит из следующих частей: аппаратные средства измерений и вспомогательные устройства и каналы связи, программное обеспечение для обработки измерительной информации. Измерение, контроль и анализ вибрации, непосредственно в условиях угольного разреза, осуществляются при помощи переносной аппаратуры, представленной виброанализаторами и сборщиками данных, регистрирующими виброакустические сигналы в полосе частот 2–20 000 Гц, с двойным интегрированием, заданием границ частотного диапазона, с чувствительностью по виброскорости не ниже $1,0 \cdot 10^{-5}$ мм/с, энергонезависимой памятью, с возможностью вывода данных на дисплей и персональный компьютер, с максимально возможным количеством аппаратно реализованных методов обработки исходного сигнала [2].

С точки зрения анализа параметров виброакустической волны, наиболее эффективным считается применение сразу группы методов контроля по параметрам механических колебаний. Комплексный диагностический подход, как правило, включает в себя метод прямого спектрального анализа, синхронное накопление, анализ огибающей и эксцесс. Кроме того, интересные результаты обработки сигнала дает анализ вейвлет-преобразования. Именно такое сочетание методов вибродиагностики обеспечивает возможность максимально точной интерпретации полученных результатов с указанием степени развития того или иного дефекта [2], четкого формулирования рекомендаций по ремонту техники, разработки достоверных прогнозных моделей развития типовых повреждений агрегатов буровых установок типа DML.

Так, **синхронное накопление** предусматривает использование минимум двух каналов

для измерения параметров вибрации. Как правило, определяется параметр виброперемещения и на основе полученных данных строится орбита движения, форма которой обуславливается жесткостью системы, правильностью геометрии и рядом других параметров. Такой подход к обработке сигнала как нельзя лучше подходит именно для диагностики роторных винтовых компрессоров, которыми оснащаются установки серии DML.

Преимущество метода **эксцесса**, разработанного для экспресс-диагностики подшипников качения, заключается в том, что знания геометрических параметров подшипника не требуется. Кроме того, он не чувствителен к изменениям скорости вращения вала и нагрузки. Метод позволяет достаточно точно диагностировать развитое повреждение подшипника качения, быстро дать обоснованные рекомендации по замене дефектного узла. Недостаток – невозможность определения конкретного типа дефекта.

Вейвлет анализ, в силу сложности интерпретации полученных результатов, редко применяется на объектах угольной промышленности. Эта специфическая математическая обработка позволяет выделять локальные особенности вибрационного сигнала и классифицировать их по интенсивности. Преимущество использования этого метода в том, что динамика изменения сигнала в зависимости от масштаба становится видимой, то есть появляется возможность видеть влияние мелкомасштабных деталей на крупномасштабную картину.

Выделение огибающей – встроенная функция в большинстве современных виброанализаторов. При выделении огибающей временной сигнал фильтруется с помощью полосового фильтра в области частоты, с которой связано появление диагностических признаков дефекта. Фильтрация, которая проводится на первом этапе обработки вибрационного сигнала при выделении огибающей, оставляет только высокочастотный сигнал, например, содержащий возбужденные импульсами колебания корпуса подшипника с отсутствием почти всех паразитных составляющих. Профильтрованный сигнал выпрямляется, проходит через фильтр нижних частот с частотой среза, соответствующей приблизительно половине ширины полосы пропускания фильтра. Выходной сигнал похож на исходные импульсы подшипника, но, что более важно, он дает возможность восстановления частоты повторения этих импульсов. Путем частотного (спектрального) анализа можно точно опре

делить частоту повторения импульсов. Период повторения импульсов может быть сопоставлен с одной из частот дефектов подшипника, и таким образом определен дефект подшипника. Область применения метода – преимущественно подшипники качения, однако данная обработка виброакустического сигнала может применяться для диагностики зубчатых передач, выявления лопаточных частот насоса, компрессора или турбины, фазовых частот электрических машин, а также случайной вибрации при кавитации и газодинамических процессах и т. д.

Наконец, **спектральный анализ** – основной метод вибродиагностического контроля. Различают частотный, амплитудный, фазовый спектр и спектр мощности (спектр квадратов амплитуд виброскорости). Метод считается универсальным, поскольку подходит для диагностики любых динамических агрегатов и выявления практически всех типов дефектов.

Классический частотный анализ механических колебаний позволяет обнаружить ряд выраженных частотных составляющих периодического характера, непосредственно связанных с основными движениями отдельных узлов и деталей исследуемой машины или механизма [3]. Большие возможности анализа вибрационных процессов открываются при использовании в диагностических целях динамического спектра – трехмерного представления спектральной плотности мощности в зависимости от частоты и времени. Динамическая спектрограмма, называемая также каскадным спектром, позволяет получить представление об изменении не только возмущающих сил, но и амплитудно-частотной характеристики механической системы на переходных режимах: при пуске агрегата или в режиме выбега (при уменьшении частоты вращения).

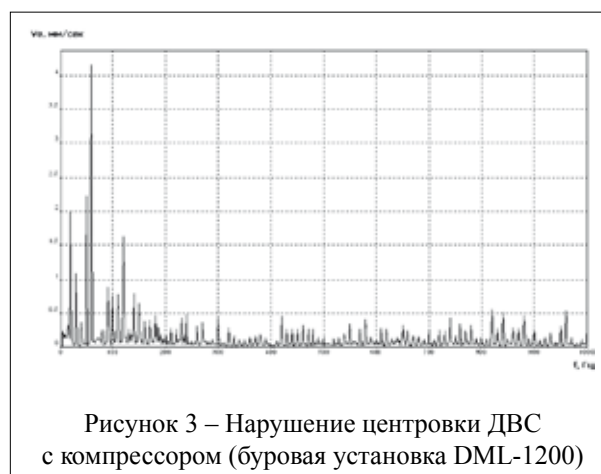
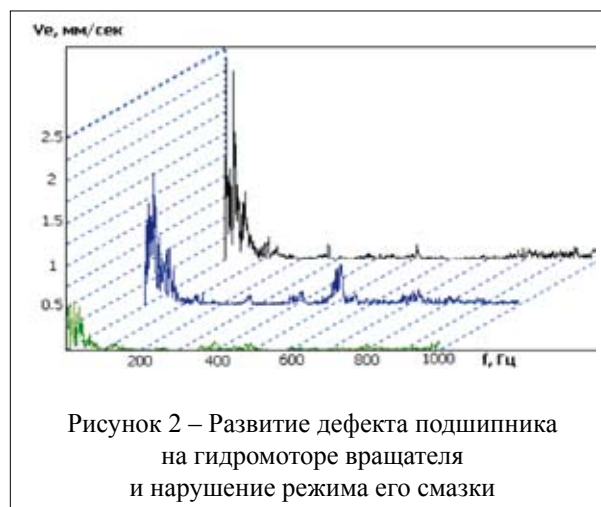
Именно комплексный подход к диагностике сложных систем позволяет избежать ограничений на область применения того или иного метода, извлечь максимальное количество полезной информации из виброакустического сигнала, сформулировать точные диагностические признаки дефектов исследуемого оборудования и критерии предельно допустимого состояния техники, наиболее точно оценить фактическое техническое состояние агрегата. Недостатки или ограничения того или иного метода нивелирует использование других типов математической обработки сигнала, поэтому при разработке диагностических критериев использование априорной информации может быть сведено к минимуму.

Приведем несколько конкретных приме-

ров распознавания дефектов агрегатов буровой установки DML при помощи методов вибрационного контроля. Рисунок 2 иллюстрирует сравнение спектров виброакустического сигнала подшипникового узла привода вращателя с периодичностью в один месяц. Наглядно виден рост амплитуды виброскорости, развитие дефекта подшипника обуславливается нарушением режима смазки. Также диагностируется повышенная вибрация на собственной частоте сепаратора (вероятен повышенный износ и коррозия). Промежуточное снижение уровня вибрации на некоторых гармониках объясняется накоплением деформаций, что временно привело к снижению общего уровня.

Одним из наиболее распространенных дефектов привода буровых установок такого типа является расцентровка дизельного двигателя с компрессором (рис. 3). Как следствие, не редко проявляются сопутствующие неисправности, вызванные нарушением соосности валов агрегата – разрушение упругих элементов соединительной муфты и дефекты конических роликовых подшипников роторного компрессора (рис. 4).

Состояние поршневых групп дизельных



двигателей буровых установок DML по параметрам вибрации на основании действующих нормативных документов часто оценивается как недопустимое. Собственники экономят на замене выработавшей свой срок силовой установки, проводя капитальные ремонты ДВС. В спектре виброакустического сигнала по параметру виброскорости (рис. 5) присутствуют гармонические составляющие, анализ которых позволил диагностировать износ деталей поршневой группы двигателя Caterpillar.

Подводя итоги сказанному, следует отметить, что предложенные диагностические подходы могут быть использованы для точного обоснования критериев предельного технического состояния узлов и агрегатов установки, а также в качестве основы для перехода на более совершенные формы технического обслуживания. Накопленные базы данных по параметрам виброакустического сигнала позволят разрабо-

тать прогностические модели развития типовых дефектов оборудования установок DML. Появится возможность для расчета остаточного ресурса машины и осуществления эффективного планирования ремонтных работ, предупреждения возникновения аварийных отказов.

Исторически сложилось, что угольная промышленность являлась и является объектом повышенной опасности [4]. Поэтому вопрос перехода на современные системы обслуживания горной техники становится крайне актуальным. На сегодняшний день учеными Кузбасса созданы все предпосылки для перехода на систему обслуживания горных машин по фактическому техническому состоянию. Предложенная схема управления техническим обслуживанием позволит безопасно и максимально эффективно эксплуатировать технику и свести к минимуму аварийные простои.

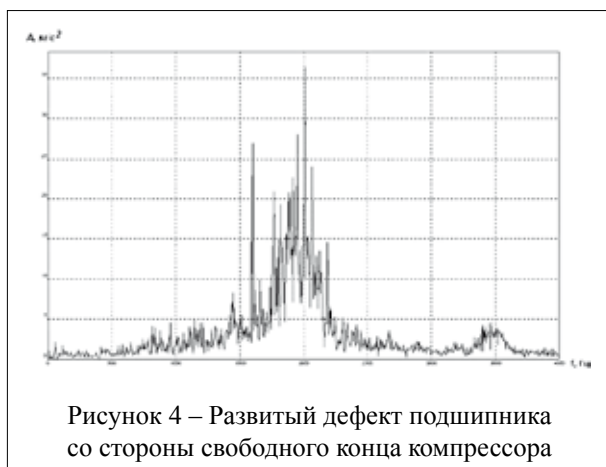


Рисунок 4 – Разработанный дефект подшипника со стороны свободного конца компрессора

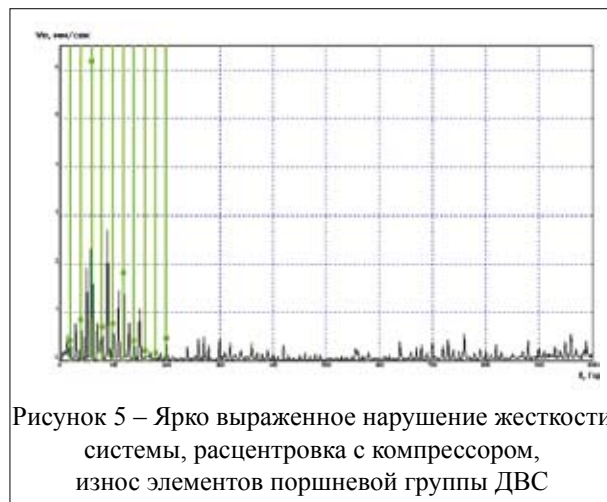


Рисунок 5 – Яркое выражение нарушения жесткости системы, расцентровка с компрессором, износ элементов поршневой группы ДВС

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. О промышленной безопасности опасных производственных объектов : федер. закон от 21.07.1997 № 116-ФЗ // Собр. законодательства РФ. – 1997. – № 30. – Ст. 3588.
2. Герики, Б. Л. Диагностика горных машин и оборудования : учебное пособие / Б. Л. Герики, П. Б. Герики, В. С. Квагинидзе [и др.]. – Москва, 2012. – 400 с.
3. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. / Под общ. ред. В.В. Клюева. Т. 7: В 2 кн. Кн. 2: Ф.Я. Балицкий, [и др.] Вибродиагностика. – М.: Машиностроение, 2005. – 829 с.: ил
4. Клишин, В. И. Монтаж, демонтаж, эксплуатация и ремонт горно-шахтного оборудования : учебное пособие / В. И. Клишин В. С. Квагинидзе, Г.И. Козовой. – Москва, 2012. – 511 с.

*THE CONDITION MONITORING OF THE
DML-SERIES DRILLING RIGS BY PARAMETERS
OF THE MECHANICAL OSCILLATIONS*

P. B. Gericke

On the example of the DML drilling rigs, operated in Kuzbass coal-mining industry, the classification of the most widespread defects of the dynamic equipment is given. The estimation of the efficiency of the integrated diagnostic approach is given. The need of changing to maintenance system on the actual technical state is substantiated and proved.

*Key words: VIBRODIAGNOSTICS,
DRILLING RIG, ROTATING EQUIPMENT,
MAINTENANCE MANAGEMENT*

*Герике Павел Борисович
e-mail: sibgp@mail.ru*