

УДК 620.179.111-2: 622.24.05

Л. Н. Девин, д-р техн. наук, А. М. Исонкин, Р. К. Богданов, кандидаты технических наук

Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины, г. Киев

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ВИБРОАКУСТИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ РАЗРУШЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД АЛМАЗНЫМИ БУРОВЫМИ КОРОНКАМИ

Приведены результаты исследования, позволившие установить перспективность использования метода виброакустической диагностики для оптимизации разрушения алмазными буровыми коронками горных пород с различными физико-механическими свойствами.

Ключевые слова: *синтетические алмазы, виброакустическая диагностика, интенсивность изнашивания, буровая коронка.*

На инструменты и механизмы при их эксплуатации воздействуют различные процессы, проявляющиеся в виде колебаний, в том числе виброакустических. Изменение со временем параметров виброакустических сигналов характеризует развитие деградационных процессов в инструментах и механизмах.

Особенно негативны необратимые процессы, приводящие к ухудшению с течением времени эксплуатационных параметров, например, изнашиванию кинематических пар при динамических нагрузках. Изменение вибрационных процессов при изменении состояния контактирующих поверхностей при истирании (абразивном изнашивании) контактирующих поверхностей, в том числе рабочей поверхности алмазной буровой коронки и забоя скважины сопровождается изменением микронеровностей в зоне контакта, нарушением их микро- и макрогеометрии, вследствие чего усиливаются колебания различной частоты и увеличивается амплитуда гармонического ряда основной частоты [1].

В процессе бурения алмазная импрегнированная коронка разрушает горную породу выступающими из ее рабочей поверхности алмазами.

Максимальная эффективность режущего действия алмазов достигается при такой интенсивности разрушения ими горных пород (углубления коронки за один оборот), которая обеспечивает равномерное обнажение алмазов в процессе разрушения породы при сохранении их оптимального выступления над телом матрицы.

С превышением оптимального углубления коронки за один оборот при относительно небольшом увеличении объема разрушенной породы концентрация шлама в призабойной зоне превышает предельно допустимое значение. При этом нормальный режим бурения переходит в критический, характеризующийся соответствующим резким повышением потребляемой мощности и температуры на рабочем торце, что приводит к интенсификации теплофизических процессов и катастрофическому износу инструмента [2]. Это связано с тем, что из-за терморазупрочнения материал матрицы утрачивает прочностные свойства и быстро изнашивается, а большая часть алмазов преждевременно выпадает, не выполнив функции породоразрушающих элементов.

До настоящего времени наиболее распространенным методом контроля процесса бурения был метод измерения значения и характера потребляемой мощности, не обладающий достаточной чувствительностью и быстродействием для анализа процессов, происходящих в призабойной зоне при разрушении горной породы.

В последнее время бурно развивается направление виброакустической диагностики. Достоинства такого подхода, основанного на анализе изменения характеристик виброакустических процессов, состоят в том, что виброакустический сигнал работающего

механизма содержит более полную информацию о взаимодействии его деталей. Изучению таких процессов с использованием акустической эмиссии посвящены работы ряда исследователей [1; 3–5].

В настоящей работе сделана попытка использовать такой подход, основанный на анализе виброакустического сигнала, полученного при разрушении горной породы алмазными буровыми коронками, для оценки эффективности бурения.

Методика исследований

Измеряли виброакустические сигналы непосредственно в процессе бурения при исследовании износостойкости коронок при различных режимных параметрах. Для этого измерений создали специальную систему регистрации виброакустических сигналов в процессе бурения, функциональная схема которой показана представлена на рис. 1.

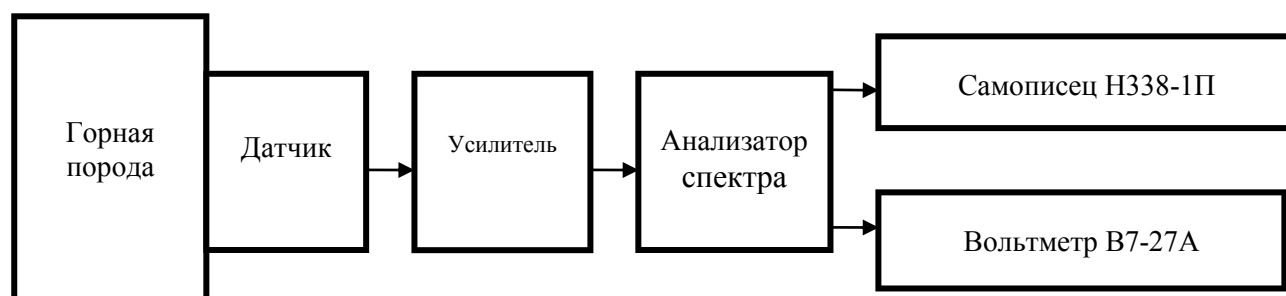


Рис. 1. Схема системы регистрации виброакустического сигнала

Система регистрации состояла из датчика виброакустических колебаний, предусилителя с низким уровнем собственных шумов, анализатора спектра СК4-56, самописца Н338-1П и цифрового вольтметра В7-27А. В качестве датчика использовали высокочастотный акселерометр АВС016-02 с рабочим частотным диапазоном от 20 Гц до 20 кГц. Анализатор спектра СК4-56 позволял регистрировать исследуемый сигнал в диапазоне частот 10 Гц – 60 кГц.

Проанализировав различные варианты крепления акселерометра, пришли к выводу о целесообразности закрепления его непосредственно на образце породы на расстоянии 50–70 см от зоны бурения. При таком расположении наблюдали наилучшее соотношение уровней полезного сигнала и электрических помех. Датчик закрепляли резьбовой шпилькой, жестко смонтированной в породе с помощью эпоксидного компаунда.

Для согласования высокоомного датчика с анализатором спектра и предварительного усиления сигнала применяли малошумящий трехкаскадный усилитель с питанием 15 В от стабилизированного источника питания постоянного тока 591-3. Усилитель размещали в герметичном корпусе на расстоянии не более 60 см от датчика. Для обеспечения минимального уровня помех коэффициент усиления первого каскада выбрали небольшим, полосу пропускания от 0,3 Гц до 500 кГц.

Бурение коростышевского гранита X категории буримости производили буровыми коронками типа БС01 диаметром 59 мм, оснащенными синтетическими алмазами АС125 зернистостью 250/200 мкм при углублении за оборот 63, 80, 100 и 125 мкм и скорости вращения 800 мин⁻¹ в соответствии с методикой, приведенной в [6].

В каждом эксперименте определяли уровень виброакустического сигнала на холостом ходу и далее через каждые 5 см проходки. Последнее измерение проводили за 2 см до окончания бурения.

Исследовали износ коронок при бурении гранита, габбро и песчаника. Интенсивность изнашивания коронок оценивали как отношение линейного износа рабочего алмазоносного слоя по высоте к проходке на коронку.

Результаты исследований и их обсуждение

В ходе предварительных исследований процесса бурения коронками установили, что информационный диапазон виброакустического сигнала, возникающего в зоне контактирования коронки с породой, находится в полосе выше 12 кГц. Все последующие измерения производили в этом диапазоне. Для этого анализатор спектра настраивали по минимальной и максимальной частотам информационного спектра.

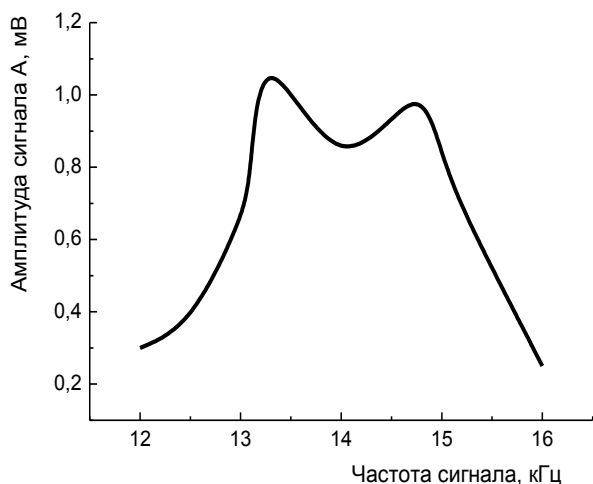


Рис. 2. Зависимость амплитуды виброакустического сигнала от его частоты

В этой полосе проходило сканирование задающего генератора. Ширина полосы пропускания составляла 100 Гц. Информацию с анализатора на самописец выводили через видеофильтр 1 Гц.

Зависимость амплитуды виброакустического сигнала от частоты при нормальном бурении показана на рис. 2. На рисунке явно выделяются две характерные частоты 13,2 и 14,8 кГц, лежащие в информационном диапазоне. В экспериментах фиксировали поведение виброакустического сигнала на этих частотах.

Амплитуда виброакустического сигнала и кривые интенсивности изнашивания буровых коронок показаны соответственно на рис. 3, 4. Данные рис. 3, 4 получены при установившемся режиме работы коронок, т. е. после пробурения не менее 15 см породы и стабилизации уровня сигнала. Виброакустический сигнал измеряли на характерной частоте 14,8 кГц.

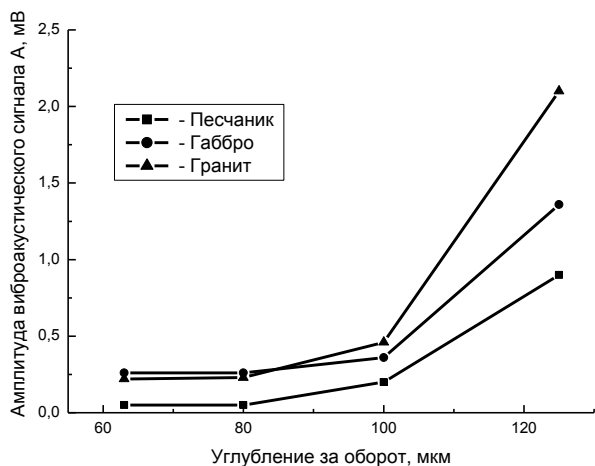


Рис. 3. Амплитуда виброакустического сигнала в зависимости от углубления за оборот при частоте вращения коронки 800 мин^{-1}

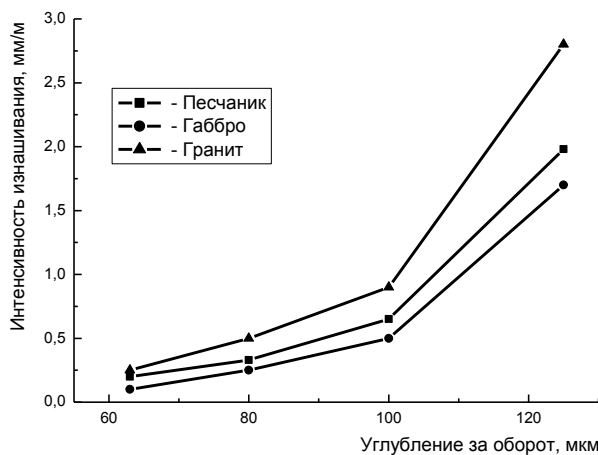


Рис. 4. Кривые интенсивности изнашивания в зависимости от углубления за оборот при скорости вращения коронки 800 мин^{-1}

Малому линейному износу соответствует минимальный уровень виброакустического сигнала, изменение которого до определенного уровня износа незначительно.

Амплитуда виброакустического сигнала всех исследованных типов горных пород возрастает с увеличением углубления за оборот и интенсивности изнашивания.

Повышение амплитуды виброакустического сигнала всех исследованных горных пород пропорционально увеличению углубления коронки за оборот: песчаника – 0,05 мВ при 60

мкм/об; 0,07 мВ при 80 мкм/об; 0,2 мВ при 100 мкм/об; габбро – 0,26 мВ при 60 мкм/об; 0,30 мВ при 80 мкм/об; 0,36 мВ при 100 мкм/об.

Повышение амплитуды виброакустического сигнала гранита как наиболее твердой из исследуемых пород выражено наиболее – 0,22 мВ при 60 мкм/об; 0,37 мВ при 80 мкм/об; 0,56 мВ при 100 мкм/об.

Из данных рис. 4 следует, что для всех исследуемых пород с увеличением углубления коронки за оборот интенсивность изнашивания буровых коронок повышается. При этом необходимо отметить, что при углублении коронки за оборот в диапазоне 60 – 100 мкм интенсивность изнашивания существенно повышается для более абразивной (песчаник) и твердой (гранит) пород.

Результаты сопоставления и анализа данных рис. 3 и 4 свидетельствуют об их взаимозависимости, которая выражена в том, что повышению интенсивности изнашивания коронки при интенсификации бурения с увеличением углубления за оборот соответствует увеличение амплитуды виброакустического сигнала. Наиболее отчетливо это наблюдали при переходе от нормального режима бурения к критическому с повышением углубления коронки за оборот со 100 до 125 мкм. Резкое повышение интенсивности изнашивания коронок при разрушении всех исследуемых пород вызывало аналогичное увеличение амплитуды виброакустического сигнала. Такое повышение интенсивности изнашивания коронок при разрушении песчаника с 0,65 до 1,98 мм/м, т. е. в 3 раза, привело к увеличению амплитуды виброакустического сигнала с 0,2 до 0,9 мВ, т. е. в 4,5 раза. При разрушении габбро повышение интенсивности изнашивания коронок с 0,5 до 1,7 мм/м, т. е. в 3,4 раза, привело к увеличению амплитуды виброакустического сигнала с 0,36 до 1,36 мВ, т. е. в 3,8 раза. При разрушении гранита повышение интенсивности изнашивания коронок с 0,9 до 2,8 мм/м, т. е. в 3,1 раза, привело к увеличению амплитуды виброакустического сигнала с 0,56 до 2,1 мВ, т. е. в 3,8 раза.

Выводы

1. Установлено, что диапазон рабочей частоты для исследования износостойкости алмазных буровых коронок методом виброакустической эмиссии составляет 12–20 кГц. В этом диапазоне наблюдаются два характерных пика амплитуд виброакустического сигнала – 13,2 и 14,8 кГц.

2. По виброакустическому сигналу можно четко разделить процесс бурения алмазными коронками на нормальный и критический режимы со свойственной каждому интенсивностью изнашивания инструмента. По резкому увеличению амплитуды виброакустического сигнала можно судить о достижении критического режима бурения, характеризующегося интенсификацией теплофизических процессов в призабойной контактной зоне алмазной буровой коронки и горной породы, вызывающей катастрофический износ инструмента.

3. Установлено, что соотношение амплитуд виброакустического сигнала отражает режим работы алмазной буровой коронки. Низкая амплитуда виброакустического сигнала при большом углублении коронки за оборот свидетельствует о низкой интенсивности изнашивания инструмента и эффективном разрушении им горной породы.

4. Проведенные исследования позволили установить перспективность использования виброакустической диагностики для управления параметрами режима бурения в целях оптимизации разрушения алмазными буровыми коронками горных пород с различными физико-механическими свойствами.

Наведено результати дослідження, за якими встановлено перспективність використання віброакустичної діагностики для оптимізації руйнування алмазними буровими коронками гірських порід з різними фізико-механічними властивостями.

Ключові слова: синтетичні алмази, віброакустична діагностика, інтенсивність зношування, бурова коронка.

The results of studies that have established a promising method of use of vibro-acoustic diagnostics for optimization of the process of destruction of the diamond drill bits mountain of rocks with different physical and mechanical properties.

Keywords: *synthetic diamonds, vibroacoustic diagnostics, the wear rate, the drill bit.*

Литература

1. Генкин М. Д., Соколова А. Г. Виброакустическая диагностика машин и механизмов. – М.: Машиностроение, 1987. – 282 с.
2. Синтетические алмазы в геологоразведочном бурении / Под ред. В. Н. Бакуля. – К.: Наук. думка, 1978. – 232 с.
3. Виброиспытания и металлофизическое исследование структуры материала при вибрационном нагружении / И. Н. Овчинников, М. А. Бомер, Л. М. Рыбакова, и др. // Вестн. машиностроения. – 2003. – № 4. – С. 29–36.
4. Вибрации энергетических машин: Справоч. пособие / Под ред. д-ра техн. наук, проф. Н. В. Григорьева. – Л.: Машиностроение, 1974. – 464 с.
5. Нагорный В. М., Черевко А. А. Увеличение глубины вибродиагностирования на основе учета физических причин отказа машины // Вісн. Сум. держ. ун-ту. Сер. Технічні науки, 2004. – № 2(61). – С. 144–151.
6. Сверхтвердые материалы в геологоразведочном бурении / П. В. Зыбинский, Р. К. Богданов, А. М. Исонкин, А. П. Загора. – Донецк: Норд-Пресс, 2007. – 244 с.

Поступила 12.06.13

УДК 622.24.051: 622.156

О. П. Виноградова, І. А. Свешніков, д-р техн. наук, С. Д. Заболотний, С. Ф. Беспалов

Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля, НАН України, м. Київ.

УДОСКОНАЛЕННЯ РОБОЧОГО ШАРУ АЛМАЗОВМІСНИХ ЕЛЕМЕНТІВ БУРОВИХ КОРОНОК

Досліджено вплив конфігурації робочого шару алмазовмісних породоруйнівних елементів зі слаутича на ефективність руйнування: кутової зони спряження поверхонь вибою і керну у блоці оптичного скла БК-8, що моделює тверді крихкі гірські породи при статичному навантаженні; гірських порід при динамічному навантаженні. Виявлено переваги використання призматичних алмазовмісних елементів зі слаутича порівняно з циліндричними елементами з плоским торцем з метою підвищення швидкості руйнування гірських порід буровим інструментом, за забезпечення рівномірного зносу його торця в радіальному напрямку.

Ключові слова: *руйнування гірської породи, коронка, вставка, слаутич, рівномірний знос.*

Геологорозвідувальне буріння гірських порід середньої міцності VI–IX категорій буримості здійснюється твердосплавним інструментом, що потребує великих витрат через його незначний ресурс.

При бурінні в гірських породах середньої міцності нафтових і газових свердловин для оснащення доліт широко застосовується надтвердий композиційний алмазовмісний матеріал слаутич у вигляді елементів діаметром 6–14 мм циліндричної форми з плоским торцем, [1].