

А.А. Кормнов, П.В. Николенко

СТРУКТУРНАЯ ДИАГНОСТИКА ПОРОД КРОВЛИ ГОРНОЙ ВЫРАБОТКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ШУМОВОГО КОРРЕЛЯЦИОННОГО КАРОТАЖА*

Приведены результаты натуральных испытаний метода шумового акустического корреляционного каротажа в шахтных условиях. Показано, что применение шумового акустического сигнала и его последующей корреляционной обработки позволяет повысить надежность литологического расчленения пород кровли горной выработки. Предложено использовать в качестве информативного параметра коэффициент взаимной корреляции шумовых сигналов на выходе двух приемных преобразователей, расположенных в скважинном зонде симметрично относительно излучающего преобразователя. Проведено сравнение эффективности предлагаемого метода с традиционным каротажем, основанным на импульсном ультразвуковом прозвучивании контролируемых участков прискважинного массива и использовании скорости распространения продольных упругих волн в качестве информативного параметра. Показано, что традиционные время-импульсные измерения в скважине не позволяют надежно выявить границы между «ложной», непосредственной и основной кровлей, т.к. изменение скорости упругих волн на указанных границах соизмеримо с погрешностью современных ультразвуковых приборов. Изменение коэффициента взаимной корреляции на тех же границах составляет несколько десятков процентов и более. Ключевые слова: акустический каротаж, кровля горной выработки, шумовой сигнал, корреляционный анализ, натурные испытания.

Акустический каротаж (АК) представляет собой метод исследования прискважинной области массива горных пород на основе измерения и анализа изменений с глубиной информативных параметров распространяющихся в указанной области упругих волн [1]. При исследовании литологического

* Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках госзадания № 2014/113 (проект № 504).

разреза и трещиноватости пород кровли горных выработок АК традиционно осуществляется в ультразвуковом (УЗ) диапазоне частот с использованием импульсного режима излучения [2, 3]. При этом скважинный зонд, содержащий излучающий и несколько приемных акустических пьезоэлектрических преобразователей (ПЭП) с помощью досылочных штанг перемещают вглубь массива с шагом Δh . На каждом шаге h_i обеспечивают надежные контактные условия ПЭП со стенками скважины и измеряют скорость распространения УЗ сигнала C_p между приемными ПЭП. Получаемая в результате каротажная кривая $C_p = f(h)$ несет искомую информацию о структурных особенностях пород кровли.

В работах [4, 5] на основе компьютерного и физического моделирования показано, что качество указанной информации по сравнению с описанным выше традиционным подходом, может быть существенно повышено. Для этого при реализации АК предлагается использовать непрерывные УЗ сигналы в виде стационарного шума с нулевым средним значением в сочетании с их корреляционной обработкой в точках приема. Соответствующий метод, получивший название ультразвукового шумового корреляционного каротажа (УШКК) обеспечивает повышение надежности, чувствительности и разрешающей способности структурной диагностики кровли. В настоящей работе приведены результаты апробации АШКК в натуральных условиях на шахте «Первомайская» АО «Угольная компания «Северный Кузбасс».

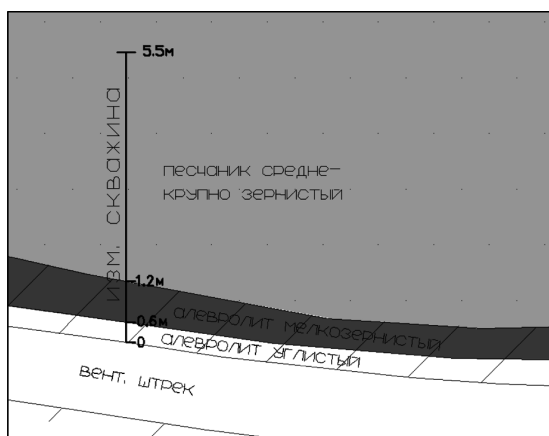


Рис. 1. Разрез вдоль вентиляционного штрека № 412 в районе проведения испытаний и схема расположения измерительной скважины

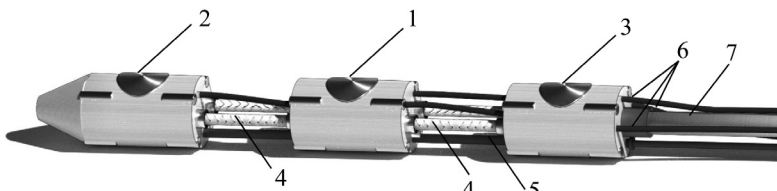


Рис. 2. Схема скважинного каротажного зонда: 1 – корпус излучающего акустического преобразователя; 2, 3 – корпуса приемных преобразователей; 4 – акустическая развязка; 5 – магистраль пневмоприжима преобразователей; 6 – электрические выводы преобразователей; 7 – досылочная штанга

На рис. 1 приведен геологический разрез вдоль вентиляционного штрека № 412, в кровле которого проводились как традиционные импульсные, так и шумовые УЗ измерения. И те и другие осуществлялись в вертикальной скважине диаметром 52 мм глубиной 5,5 м. Для этого использовался скважинный зонд, представленный на рис. 2, имеющий следующие основные характеристики: общая длина – 400 мм; диаметр – 46 мм; база между излучающим и приемными ПЭП – 150 мм; резонансная частота ПЭП – 90 кГц; полоса частот ПЭП – 80÷100 кГц.

Перемещение зонда вглубь приконтурного массива осуществлялось с шагом $\Delta h = 75$ мм с помощью наращиваемых досылочных штанг, а обеспечение контактных условий ПЭП со стенками скважины в точках контроля h_i – с помощью прижимной пневмосистемы.

При проведении УШКК излучающий ПЭП подключался с помощью коаксиального кабеля к выходу электрического генератора шума, основные технические характеристики которого приведены в таблице [6].

Приемные ПЭП подключались к двухканальному измерительному комплексу. Последний обеспечивал усиление и оциф-

Технические характеристики генератора шума

Техническая характеристика	Значение
Рабочая полоса частот	10–500 кГц
Амплитуда шума	100 В
Аттенюатор	0 дБ – 6 дБ – 12 дБ
Питание	аккумулятор 15В / 4 А-час
Время автономной работы	5–7 часов

ровку принятых шумовых сигналов y_1 и y_2 , а также программное вычисление их коэффициента взаимной корреляции в соответствии с алгоритмом [7]

$$R_{y_1/y_2} = \frac{B_{y_1/y_2}(\tau)}{\sqrt{B_{y_1}(0)B_{y_2}(0)}}, \quad (1)$$

где $B_{y_1/y_2}(\tau)$ – значение взаимной корреляционной функции сигналов y_1 и y_2 при $\tau = 0$, $B_{y_1}(0)$ и $B_{y_2}(0)$ – значения дисперсий автокорреляционных функций указанных сигналов соответственно.

Традиционные импульсные УЗ измерения с использованием скорости распространения продольных упругих волн C_p в качестве информативного параметра осуществлялись в тех же точках,

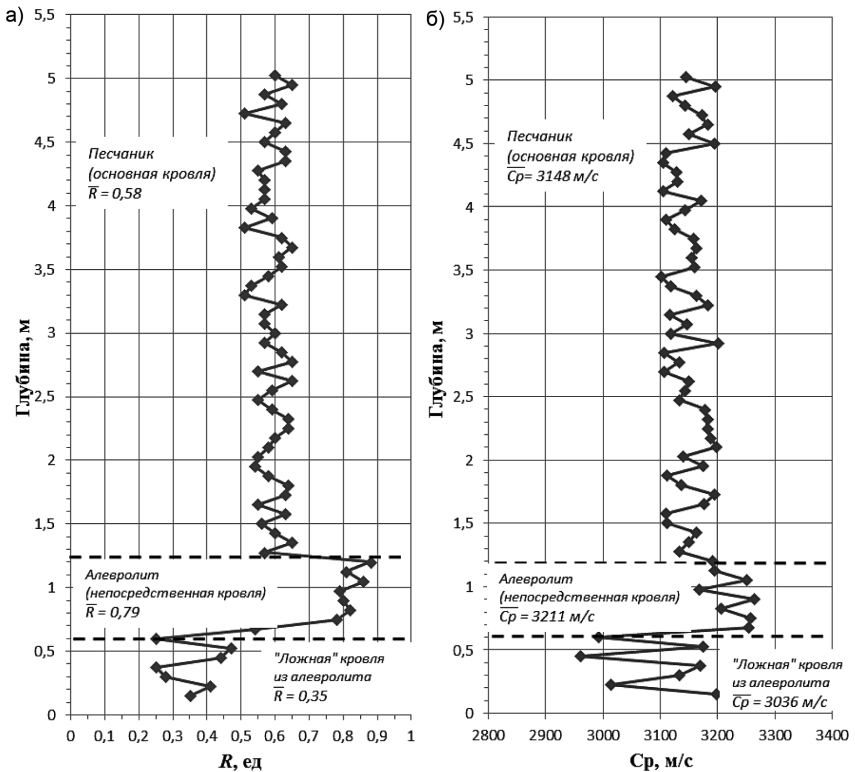


Рис. 3. Зависимость коэффициента взаимной корреляции R принятых сигналов (а) и скорости продольной волны C_p (б) от глубины скважины в кровле горной выработки

что и УШКК, с применением описанного выше измерительного зонда и УЗ прибора УД2Н-ПМ. Однако при этом излучение УЗ сигнала осуществлялось не средним, а крайним ПЭП 3 (см. рис. 2), а прием сигналов – ПЭП 1 и 2.

По результатам измерений в 66-и точках, расположенных по глубине скважины, были получены два массива значений информативных параметров R и C_p . Построенные по этим массивам каротажные кривые $R = f(h)$ и $C_p = f(h)$ представлены на рис. 3.

Анализ указанных кривых свидетельствует о том, что изменение R на границах литологических слоев существенно больше, чем C_p . Так при переходе от «ложной» к непосредственной кровле из алевролита среднее значение возрастает от 0,35 до 0,79, т.е. на 125%. При этом среднее значение возрастает от 3036 м/с до 3211 м/с, т.е. всего примерно на 6%.

При переходе от непосредственной к основной кровле и меняются на 26,6% и $\approx 2\%$ соответственно.

Приведенные данные свидетельствуют о том, что применение параметра C_p при изучении геологического строения кровли с помощью традиционного УЗ импульсного каротажа мало эффективно. В частности, относительное изменение указанного параметра на границе основной и непосредственной кровли соизмеримо с погрешностью современных УЗ приборов. Это вполне объяснимо, если учесть, что алевролит и песчаник имеют достаточно близкие упругие и плотностные свойства. В то же время изменения параметра R с глубиной позволяют надежно реализовать литологическое расчленение пород кровли. Последнее связано с тем, что на величину указанного параметра существенно влияют любые различия в декорелирующих свойствах геосреды на базах контроля между излучающим и каждым из приемных ПЭП. Особенно сильно (скачкообразно) эти свойства меняются в случае, когда один из приемных ПЭП находится в породах одного типа (аргиллит), а второй – в породах другого типа (песчаник).

Скачкообразное изменение имеет место и на границе непосредственной и «ложной» кровли, но уже в силу не различия типа слагающих их пород, а степени их поврежденности.

Разброс величины R в пределах одного слоя обусловлен естественной неоднородностью пород и различием в контактных условиях каждого из приемных ПЭП. Причем важно отметить, что указанные различия принципиально могут быть минимизированы за счет обоснованного в [8] алгоритма регулирования усилий прижима ПЭП к стенкам скважины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Хмелевской В. К., Костицын В. И. Основы геофизических методов: учебник для вузов. — Пермь: Перм. ун-т, 2010. — 400 с.
2. Ржевский В. В., Ямщиков В. С. Акустические методы исследования и контроля горных пород в массиве. — М.: Наука, 1973. — 224 с.
3. Ивакин Б. Н., Карус Е. В., Кузнецов О. Л. Акустический метод исследования скважин. — М.: Недра, 1978. — 320 с.
4. Шкуратник В. Л., Николенко П. В., Кормнов А. А. Обоснование метода ультразвукового корреляционного каротажа для структурной диагностики кровли горных выработок // ФТПРПИ. — 2015. — № 3. — С. 41–47.
5. Шкуратник В. Л., Николенко П. В., Кормнов А. А. Оценка чувствительности метода ультразвукового корреляционного каротажа при выявлении трещин в кровле горных выработок // Горный журнал. — 2016. — № 1. — С. 54–57.
6. Shkuratnik V. L., Nikolenko P. V., Kormnov A. A. Characteristics of instrumental support of structural heterogeneity control around mining using noise probing signals. — М., 2015. — С. 60–65.
7. Бендат Дж., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов. — М.: Мир, 1974. — 403 с.
8. Кормнов А. А., Николенко П. В., Шкуратник В. Л. Минимизация влияния контактных условий акустических преобразователей с массивом при реализации ультразвукового корреляционного метода контроля // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2016. — СВ 1. — С. 43–52. **ПЛАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Кормнов А. А.¹ — аспирант,

Николенко П. В.¹ — кандидат технических наук, доцент,

¹ МГИ НИТУ «МИСиС»,

e-mail: ftkp@mail.ru.

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2016. No. 8, pp. 265–271.

UDC 622.02:
539.2

A. A. Kormnov, P. V. Nikolenko
STRUCTURAL DIAGNOSTICS
OF UNDERGROUND EXCAVATION ROOF
USING ULTRASONIC NOISE
CORRELATION LOGGING

The results of in-situ tests of acoustic noise correlation logging method in mine conditions are presented. It is shown that using noise acoustic signal and its subsequent correlation processing can improve the reliability of roof lithology definition in underground excavation. It is proposed to use cross-correlation coefficient as an informative parameter of noise signal at the output of two receiving transducers located symmetrically to emitting transducer in a borehole probe. A comparison of the effectiveness of proposed method and conventional logging, based on pulsed ultrasound sounding of near-controlled areas of the massif with use

of longitudinal elastic waves propagation velocity as an informative parameter is carried out. It is shown that the traditional time-pulse measurements in the well does not reliably identify the boundaries between «false», close and main roof, because speed change of elastic waves at these borders is comparable with the accuracy of measurements of modern ultrasonic devices. The change in cross-correlation coefficient for the same boundaries is at least several tens, and can achieve a hundred percent, and more

Key words: acoustic logging, the roof of excavation, the noise signal, correlation analysis, in-situ tests.

AUTHORS

*Kormnov A.A.*¹, Graduate Student,

*Nikolenko P.V.*¹, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,
Mining Institute, National University of Science and Technology «MISIS»,
119049, Moscow, Russia, e-mail: ftkp@mail.ru.

ACKNOWLEDGEMENTS

The study has been supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation within the framework of governmental research assignment no. 2014/113 (project no. 504).

REFERENCES

1. Khmelevskoy V. K., Kostitsyn V. I. *Osnovy geofizicheskikh metodov: uchebnik dlya vuzov* (Basics of geophysical methods, Textbook for high schools), Perm', Perm. un-t, 2010, 400 p.
2. Rzhavskiy V. V., Yamshchikov V. S. *Akusticheskie metody issledovaniya i kontrolya gornykh porod v massive* (Acoustic methods of rock mass investigation and control), Moscow, Nauka, 1973, 224 p.
3. Ivakin B. N., Karus E. V., Kuznetsov O. L. *Akusticheskii metod issledovaniya skvazhin* (Acoustic method of borehole research), Moscow, Nedra, 1978, 320 p.
4. Shkuratnik V. L., Nikolenko P. V., Kormnov A. A. *Fiziko-tehnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2015, no 3, pp. 41–47.
5. Shkuratnik V. L., Nikolenko P. V., Kormnov A. A. *Gornyy zhurnal*. 2016, no 1, pp. 54–57.
6. Shkuratnik V. L., Nikolenko P. V., Kormnov A. A. *Characteristics of instrumental support of structural heterogeneity control around mining using noise probing signals*, Moscow, 2015, pp. 60–65.
7. Bendat Dzh., Pirsol A. *Izmerenie i analiz sluchaynykh protsessov* (Measurement and analysis of random processes), Moscow, Mir, 1974, 403 p.
8. Kormnov A. A., Nikolenko P. V., Shkuratnik V. L. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2016, pp. 1, pp. 43–52.



МЫСЛИ О РОЛИ КНИГИ В ОБЩЕСТВЕННЫХ ПРОЦЕССАХ

Если автор строит свою статью или книгу на заимствованиях у одного ученого, то его, скорее всего, назовут компилятором, а если он берет тексты у многих, то это – обзор, исследование или экспертиза.