

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕЩИНОВАТОСТИ И УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ДИАГНОСТИКА ГОРНОГО МАССИВА

INVESTIGATION OF JOINTING AND ULTRASONIC DIAGNOSTICS OF THE ROCK MASS

Sh. Aitkazanova,
doctor PhD,
lecturer;

B. Imansakipova,
doctor PhD,
associate professor;

A. Sakabekov,
professor;

G. Shakiev,
lecturer;

O. Taukebayev,
PhD student,

KazNITU Named after K. Satbayev,
Republic of Kazakhstan.

A method for calculating the parameters of rock mass fracturing based on the results of ultrasonic pulse scanning of the borehole environment is considered. The method allows determining the direction of strike, extent and width of fractures from one well at the current moment and their subsequent temporal changes.

Keywords: fracturing, ultrasound, well, piezoelectric transducers, pulse analyzers.

Ш.К. Айтказинова,
доктор PhD,
лектор;

Б.Б. Имансакипова,
доктор PhD,
доцент;

А.Сакабеков,
профессор;

Г.С. Шакиева,
лектор;

О. Таукебаев,
докторант,

КазННТУ имени К. Сатбаева,
Республика Казахстан.

Ключевые слова: трещиноватость, ультразвук, скважина, пьезоэлектрические преобразователи, анализаторы импульсов.

геотехнических и геологоразведочных скважин. Важной характеристикой данного описания является показатель качества массива по керну геологоразведочных скважин RQD (Rock Quality Designation). Это – отношение суммарной длины всех кусков керна длиной более 10 см к общей длине керна. Данный показатель в международной практике является одним из основных при определении рейтинга массива горных пород.

Извлечение запасов полезных ископаемых приводит к изменению напряженно-деформированного состояния горного массива, которое сопровождается различными процессами трещинообразования [1, 2].

В этой ситуации трещиноватость и, соответственно, показатель качества массива по керну, определяемый на момент его получения, в общем случае могут не соответствовать реальному состоянию массива на текущий момент. В связи с этим, предлагается определять RQD и другие величины, характеризующие степень трещиноватости по керну, просвечиванием горного массива ультразвуковым. Такой подход позволяет определять трещиноватость и показатель качества массива на любой момент времени как из существующих, так и вновь пробуренных скважин. Существующая в массиве система трещин предопределяет формирование кусков керна, а существующая корреляционная связь между взаимным расположением естественных трещин в околоскважинном пространстве и кусковатостью керна позволяет оценивать количества кусков и их размерность по количеству трещин и расстоянием между ними. И наоборот, по известной кусковатости керна можно прогнозировать степень трещиноватости. Это позволяет применять традиционную терминологию параметров и пользоваться установленными закономерностями, связывающими величины, характеризующие степень трещиноватости горного массива по керну [3].

Апробация предлагаемого подхода на основе разработанного способа по импульсному ультразвуковому зондированию

В 2022 году Республика Казахстан отмечает 115-летие со дня рождения А.Ж. Машанова, горного инженера-геолога, академика НАН РК, 100 летие которого отмечено в рамках ЮНЕСКО в 2007 г. Неутомимый исследователь недр – Акжан Машанов особое внимание уделял вопросу «гармонии недр», что нашло отражение в историко-биографической летописи «Жизнь замечательных людей». Оценивая роль и переосмысливая его вклад в создании и развитии ГМК Казахстана, можно с уверенностью сказать, что многие его идеи актуальны и сегодня. Для нас – молодых ученых Satbayev University продолжение его идей, является почитанием и выражением нашей дани уважения великому ученому.

Трещиноватость горных пород оказывает существенное влияние на прочность и деформационные свойства горного массива и поэтому является важным показателем отражающим его состояния.

Существующие методы изучения трещиноватости и тектонической нарушенности горного массива и оценки их состояния, его механические свойства, устойчивость откосов и бортов карьеров описаны в работах Машанова А.Ж., Попова И.И., Окатов Р.П., Раца М.В., Куваева Н.Н., Зотева В.Г., Низаметдинова Ф.К.

Одним из методов, дающих наиболее полную характеристику трещиноватости, является метод изучения кернов

нию горного массива для определения RQD проводилась в натуральных условиях на скважине 425 горизонта Центрального участка месторождения Акжал. Принципиальная схема устройства, приведена на рисунке 1.

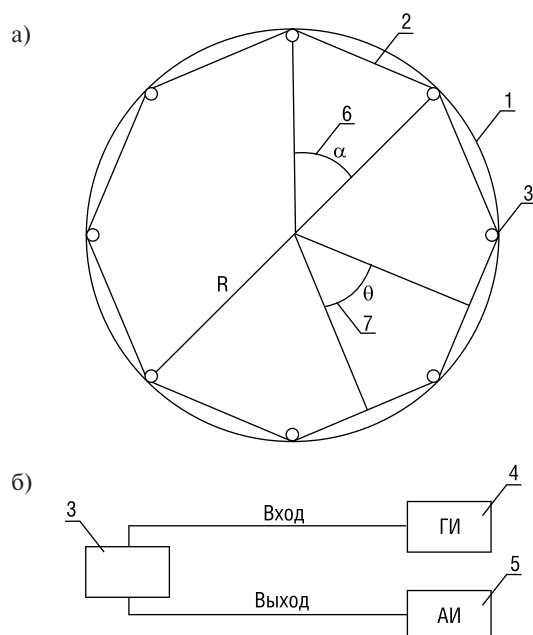


Рис. 1. Принципиальная схема работы устройства.

а - расположение датчиков приема и излучения сигнала, б - схема подключения датчиков.

Первый способ осуществляется следующим образом. В горном массиве бурят скважину 1, в которой в вершине правильного n -угольника 2, вписанного в поперечное сечение скважины, устанавливают пьезоэлектрические преобразователи-датчики 3, вход которых подключается к генератору ультразвуковых импульсов 4, выход — к анализатору импульсов 5 для определения времени задержки, которые преобразуют электрическую энергию в акустическую и обратно, угол многоугольника 6 (α) определяется эффективным углом диаграммой направленности излучения датчика 7.

Распространяющийся в горном массиве ультразвуковой импульс претерпевает на границах трещин частичное отражение. Отраженный импульс, возвращаясь с той же скоростью, достигает датчика приема через промежуток времени, называемый временем задержки приема отраженного сигнала относительно момента его излучения. Анализатор импульса определяет величину времени задержки приема импульса относительно момента его излучения в зависимости от расстояний между границами трещин и датчиком приема.

Для эксперимента использовались импульсный ультразвуковой генератор OPGS, пьезоэлектрические преобразователи СА-YD-187Т. OPGS-универсальный многоканальный генератор, способный возбуждать ультразвуковые

преобразователи с частотой 50-500 кГц. Прием сигнала с пьезодатчиков и их анализ осуществлялся на персональном компьютере с использованием ПО MatLab. Акустический зонд с пьезоэлектрическими датчиками опускался в скважину дискретно с интервалом 15-20 см. Зонд ориентировался так, чтобы основные оси лепестков диаграммы направленности пьезодатчика были ортогональны оси скважины. Положение зонда для каждого измерения фиксировалось прижимной пневмосистемой, которая одновременно обеспечивала надежные контактные условия пьезодатчиков с горным массивом. Керна разделяется на части по естественным трещинам. Это позволяет определять длины кусков керна для подсчета RQD по расстоянию между трещинами [4].

В таблице 1 приведены длины кусков керна (по ультразвуку) скважины, расположенной на 425 горизонте Центрального участка месторождения «Акжал».

Таблица 1

Длины кусков керна.

Длина кусков керна, l_i , мм	380	350	290	250	200	150	Менее 100 мм
Количество кусков одинаковой длины, n_i	2	3	2	4	2	3	23

Из таблицы 1 показатель качества горного массива по керну RQD в соответствии с определением будет равен:

$$RQD = \frac{\sum l_i \times n_i}{L} = \frac{424}{600} \times 100\% = 70,7\%. \quad (1)$$

Применение перечисленных критериев позволяет получить достаточно полную характеристику трещиноватости пород геологического объекта.

Экспериментальные значения удельной кусковатости $K_{y\partial}$ и угла встречи плоскости трещины с осью скважины β непосредственно следуют из результатов ультразвукового зондирования горного массива. Значение удельной кусковатости определяется количеством естественных трещин и их расположением в околоскважинном пространстве горного массива:

$$K_{y\partial} = \frac{\sum n_i}{L} = \frac{39}{6} = 6,5 \text{ шт/м}, \quad (2)$$

где L — исследуемый интервал скважины в метрах, $\sum n_i$ — суммарное количество кусков керна независимо от их длины.

Из рисунка 2 видно, что тангенс угла встречи плоскости трещины с осью скважины будет определяться как

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{S_2 - S_1}{h}, \quad (3)$$

где S_1 и S_2 — расстояние от датчика до щели, соответственно, в текущем и последующем положениях зонда.

Таблица 2

Углы падения плоскости щели на ось скважины.

Угол падения плоскости трещины на ось скважины, градусы ($\pm 5^\circ$)	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
Количество плоскостей с одинаковым углом падения	65	3	4	3	1	3	55	1	3	4	54	1

Углы падения плоскостей щелей на ось скважины в околоскважинном массиве приведены в *таблице 2*.

Азимут простираения трещины соответствует азимуту положения датчика, фиксирующего отраженный ультразвуковой импульс от ее границ. В свою очередь, азимут датчика определяется следующим образом. Все датчики располагаются в вершинах n -угольника, вписанного в горизонтальное сечение скважины и нумеруется последовательно, начиная с нулевого датчика, азимут которой принимается за начало отчета азимута. Например, азимут от одного из двенадцати датчиков будет равен:

$$\varphi_n = \frac{360}{12} n = 30^\circ k, \quad (4)$$

где k – порядковый номер датчика.

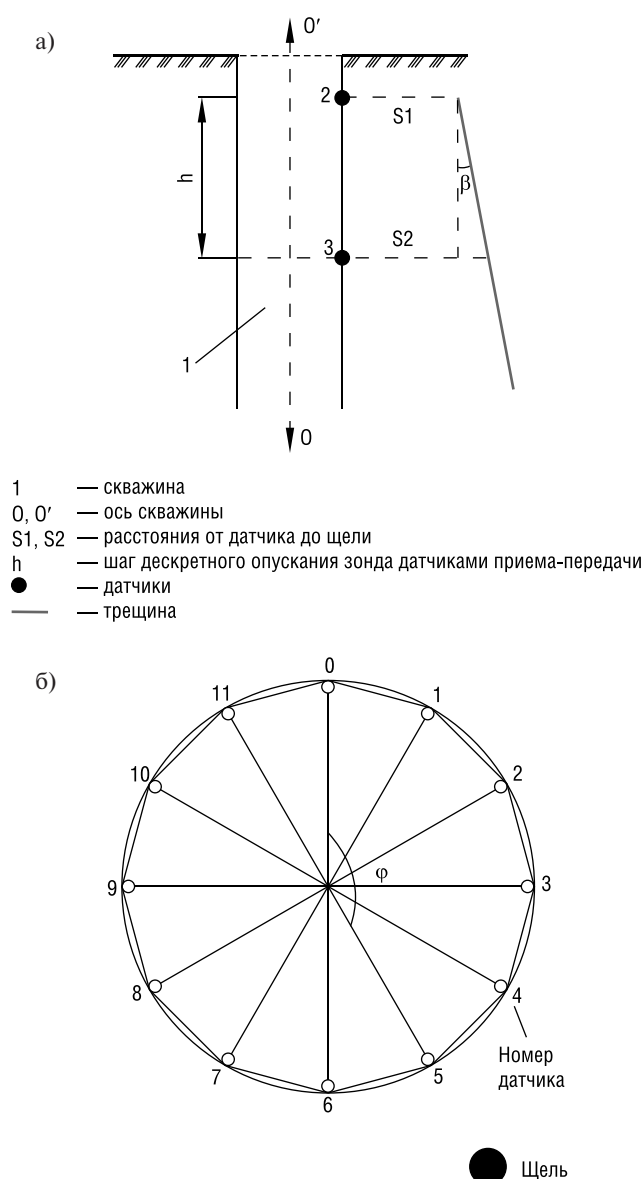


Рис. 2. Схема расчета угловых величин характеризующих положения щели. а) тангенс угла встречи плоскости трещины с осью скважины; б) азимут простираения трещины. h – шаг дискретного опускания зонда датчиками приема-передачи. φ – азимут простираения трещины.

Очевидно, чем больше датчиков, установленных по периметру скважины, тем выше точность измерения азимута.

На *рисунке 3* изображена трещина, которой соответствует пятый датчик, азимут которого и, соответственно трещины из (4), равен 150° .

Таблица 3

Исходные данные замера трещиноватости для скважины 425 горизонта.

Система трещиноватости	Элементы залегания		Расстояние м/у трещ., м	Раскрытие трещин, мм
	Азимут прост., град.	Угол падения, гр.		
1	175 ± 15	15 ± 11	$0,18 \pm 0,6$	1
2	270 ± 12	105 ± 9	$0,24 \pm 0,19$	6
3	0 ± 11	165 ± 7	$0,19 \pm 0,23$	1

Были произведены замеры трещин, азимут простираения, угол падения плоскостей трещин в околоскважинном массиве 425 горизонта по глубине скважины. По этим данным составлены круговые диаграммы распределения систем трещин по азимуту простираения по горизонтальным сечением в интервале глубины скважины от 0 (устье) до 8 метров. Исходные данные замера трещиноватости и составленная по этим данным круговая диаграмма распределения систем трещин по азимуту простираения приведены, соответственно, в *таблице 3* и *рисунке 3* для сечения глубины 3 метра, выбранного в качестве примера.

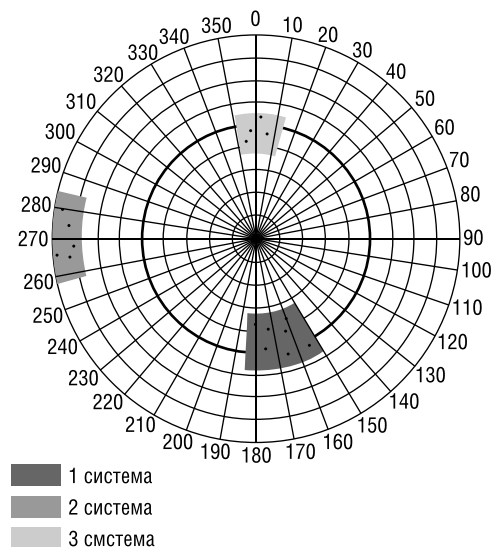


Рис. 3. Круговая диаграмма распределения систем трещин по азимуту простираения.

Таким образом породы и руды месторождения «Акжал» в районе околоскважинного пространства 425 горизонта Центрального участка характеризуются, в основном, как среднетрещиноватые, однако в значительной степени трещины бывают залечены кальцитом, поэтому породы и руды большей степени будут характеризоваться как среднеустойчивые и устойчивые при проходке горных выработок. ■

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки МОН РК (Грант №AP08053410, AP09261035).

ЛИТЕРАТУРА

1. Машанов А.Ж. Гармония недр.-М.: ИПКОН РАН, 2017. - 88 с.
2. Бек А.А., Доненбаева Айтказинова Ш.К. Изучение свойств горных пород на руднике Акжал с целью укрепления ослабленных участков. Международный научный журнал «Молодой ученый». - Казань; № 3, 2020. - С. 20-25.
3. Пашкова М.А., Грабаренко Т.В., Сулейменова Д.Х., Сыздыков А.А. Показатель качества массива при геотехническом описании керна. УДК 550.822.2. Тезисы докладов «Инновации в технике, технологии и образовании», Караганда, 2012.
4. Дербисов К.Н, Доненбаева Н.С. Айтказинова Ш.К. Изучение напряженного состояния массива горных пород на руднике Акжал. - Международный научный журнал, «Молодой ученый». - Казань, № 3, 2020. С. 35-39.



МЕЖДУНАРОДНЫЙ СОЮЗ МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ

Информируем Вас, что Международный союз машиностроителей
в 2022 году проводит следующие международные конференции, семинары и мероприятия:

1. При содействии Международного союза машиностроителей в период 12-18 сентября 2022 г. в городе Севастополе (с проведением и проживанием в пансионате «Изумруд» в бухте Ласпи на Южном берегу Крыма) состоится VIII Международный ФОРУМ «ТЕХНОСФЕРА - 2022», организованный техническими университетами Донецка, Луганска, Севастополя и других городов стран ЕАЭС и мира. Более детальная информация приведена на сайте: <http://tm.donntu.org>
2. При содействии Международного союза машиностроителей издаются Международные сборники научных трудов ДонНТУ «ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ МАШИНОСТРОЕНИЯ», выпуски 76-79, которые включены в перечень ВАК ДНР, имеют индекс РИНЦ и Международную индексацию ISSN. Подготовка статей должна быть выполнена по новым правилам. Срок подачи статей с 1.01.22 г. - 15.06.22 г. Более детальная информация приведена на сайтах: <http://ptsm.donntu.org>, <http://tm.donntu.org>
3. В период 12-18 сентября 2022 г. в городе Севастополе (с проведением и проживанием в пансионате «Изумруд» в бухте Ласпи на Южном берегу Крыма) Международный союз машиностроителей, ДонНТУ, БГТУ, ЛНУ им. В. Даля и ряд университетов и организаций различных стран проводят XXIX международную научно-техническую конференцию: «МАШИНОСТРОЕНИЕ И ТЕХНОСФЕРА XXI ВЕКА». Более детальная информация приведена на сайтах: <http://konf-sev.donntu.org>, <http://iumb.donntu.org>, <http://tm.donntu.org>
4. В городе Севастополе 15 сентября 2022 года состоится XXIII съезд МЕЖДУНАРОДНОГО СОЮЗА МАШИНОСТРОИТЕЛЕЙ – объединяющий машиностроителей из 21 страны мира. Более детальная информация приведена на сайтах: <http://iumb.donntu.org>, <http://tm.donntu.org>
5. При содействии Международного союза машиностроителей ДонНТУ издает Международный студенческий научно-технический журнал «ИНЖЕНЕР», в 2022 году выйдут № 1(31) – 2 (32). Срок подачи статей до 10.09.2022 г. Более детальная информация приведена на сайтах: <http://tm.donntu.org>, <http://tm.donntu.org>
6. В период 17-20 октября 2022 г. в городе Донецке на базе МСМ, ДонНТУ, ЛНУ, БГТУ, проводят XXII международную студенческую научно-техническую конференцию и региональный конкурс студенческих научных работ по направлению: «АВТОМАТИЗАЦИЯ, ТЕХНОЛОГИЯ И КАЧЕСТВО В МАШИНОСТРОЕНИИ». Более детальная информация приведена на сайтах: <http://engineer.donntu.org>, <http://tm.donntu.org>

WWW.GEOMAR-NADRA.RU