

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГЛАВНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОРОДНОМ МАССИВЕ МЕТОДОМ ГИДРОРАЗРЫВА НА СЕВЕРО-ЗАПАДНОМ УЧАСТКЕ ТАШТАГОЛЬСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

А. А. Еременко¹, А. А. Скулкин¹, В. Н. Колтышев¹, В. С. Писарев^{2,3,✉}

¹Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, 630091, г. Новосибирск, Российская Федерация

²Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, г. Новосибирск, Российская Федерация

³Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н. В. Мельникова Российской академии наук, 111020, г. Москва, Российская Федерация

✉ pisarev_v@ipkonran.ru; v.s.pisarev@sgugit.ru

Аннотация: При проведении исследований по определению ориентации главных напряжений, использовались скважины протяженностью в 2-3 диаметра выработки. С помощью измерительного зонда входящим в состав ИВК «Гидроразрыв» перекрывались участки скважины и подвергались нагружению путем нагнетания в него жидкости вплоть до достижения критических растягивающих напряжений, приводящих к разрыву пород. Для контроля до и после гидроразрыва был применен метод визуального контроля с помощью скважинного видеозонда. В результате экспериментальных исследований по определению действующих напряжений в породном массиве на Северо-Западном участке Таштагольской шахты с использованием метода измерительного гидроразрыва было проведено 14 тестов на одной замерной станции. По данным, полученным визуальным методом определения ориентации трещин гидроразрыва, на замерных станциях действие максимального главного горизонтального напряжения имеет азимут $280 \pm 20^\circ$.

Ключевые слова: скважины, горные породы, гидроразрыв, трещины, месторождение, безопасность, удароопасность, напряжение, упругие деформации

Благодарности: Авторы выражают благодарность руководству АО «ЕВРАЗ ЗСМК» и лично заместителю главного инженера по горным ударам Владимиру Александровичу Штирцу за помощь в организации и проведении производства работ.

Для цитирования: Еременко А. А., Скулкин А. А., Колтышев В. Н., Писарев В. С. Определение главных напряжений в породном массиве методом гидроразрыва на северо-западном участке Таштагольского месторождения. *Маркшейдерия и недропользование*. 2024;(6):50-55. https://doi.org/10.56195/20793332_2024_6_50_55.

DETERMINATION OF STRESS BY HYDRAULIC FRACTURING METHOD IN THE NORTHWESTERN SECTION OF THE TASHTAGOLSK FIELD

A. A. Eremenko¹, A. A. Skulkin¹, V. N. Koltyshev¹, V. S. Pisarev^{2,3,✉}

¹Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 630091, Novosibirsk, Russian Federation

²Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Novosibirsk, Russian Federation

³Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources Russian Academy of Sciences, 111020, Moscow, Russian Federation

✉ pisarev_v@ipkonran.ru; v.s.pisarev@sgugit.ru

Abstract: When conducting research to determine the orientation of the main stresses, wells with a length of 2-3 mine diameters were used. With the help of a measuring probe included in the “Gidrofracturing” IVC, sections of the well were blocked and subjected to loading by injecting liquid into it until critical tensile stresses were reached, leading to rock rupture. For monitoring before and after hydraulic fracturing, a visual monitoring method using a downhole video probe was used. As a result of experimental studies to determine the effective stresses in the rock mass in the North-Western section of the Tashtagol mine using the method of measuring hydraulic fracturing, 14 tests were carried out at one measuring station. According to the data obtained by the visual method of determining the orientation of hydraulic fracturing cracks, at the measuring stations the action of the maximum principal horizontal stress has an azimuth of $280 \pm 20^\circ$.

Keywords: borehole, rocks, hydraulic fracturing, cracks, deposit, safety, impact hazard, stress, elastic deformation

Acknowledgments: The authors express their gratitude to the management of JSC EVRAZ ZSMK and personally to the Deputy Chief Engineer for Rock Bursts Vladimir Aleksandrovich Shtirts for their assistance in organizing and conducting the work.

For citation: Eremenko A. A., Skulkin A. A., Koltyshev V. N., Pisarev V. S. Determination of stress by hydraulic fracturing method in the northwestern section of the Tashtagolsk field. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2024;(6):50-55. (In Russ.). https://doi.org/10.56195/20793332_2024_6_50_55.

Введение

На Таштагольском месторождении регистрируется большое количество проявлений горного давления в динамической форме, выразившееся в форме горных, горно-тектонических ударов, микроударов, толчков. Геодинамические явления в форме «стреляния» отмечаются с глубины 300 м, а с глубины 600 м имели место горные удары различной интенсивности.

Участки «Восточный» и «Северо-Западный» с горизонта (-70) м и ниже, а участки «Юго-Восточный» и «Западный» с горизонта (+70) м и ниже отнесены к опасным по горным ударам. Обработка Северо-Западного участка ведется очень интенсивно, вследствие чего возросла геодинамическая активность массива.

Горные работы на месторождении ведутся на глубинах от 400 до 1000 м от поверхности, очистные работы ведутся на глубинах от 500 до 800 м и более от поверхности.

Геодинамические явления на Таштагольском месторождении отмечаются с глубины 300 м, а с глубины 600 м — толчки, микроудары, горные удары и горно-тектонические удары разрушительной силы. С 1959 по 2022 г. зарегистрировано более 6000 динамических проявлений горного давления, в том числе 21 горный удар и 79 микроударов. Следует отметить, что в течение 2014 — 2022 гг. зафиксирован только один микроудар, сейсмическая энергия остальных толчков составляла $10^1 - 10^6$ Дж, что связано с переходом на систему разработки с закладкой выработанного пространства, уточнением критериев удароопасности горных пород различных методов и применением профилактических мероприятий (бурение разгрузочных скважин, камуфлетное взрывание, снижение массы ВВ при отбойке и др.) [1].

Для оценки и прогноза напряженно-деформированного состояния (НДС) массива горных пород на Таштагольской шахте, исходными параметрами являлись сведения о величинах природного поля напряжений. Надежным способом получения этой информации являлись экспериментальные

исследования параметров напряженного состояния породного массива в подземных горных выработках.

Цель исследований: определение критических методов гидроразрыва пород на Северо-западном участке Таштагольского месторождения.

Методика определения напряжений методом гидроразрыва пород в скважине

Техника гидроразрыва заключается в перекрытии участка скважины с помощью зонда, на котором установлены уплотнительные элементы и далее подается жидкость в изолированное пространство под избыточным давлением для образования трещины (рис. 1).

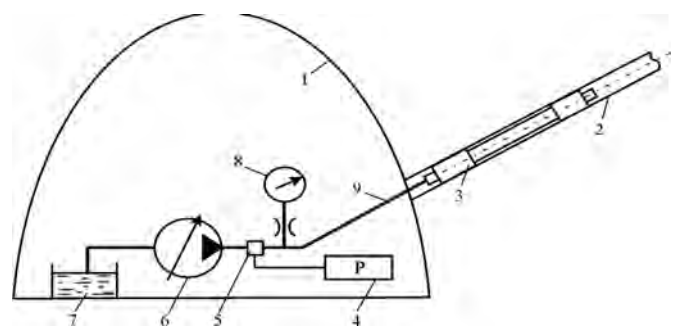


Рис. 1. Экспериментальное определение напряжений методом измерительного гидроразрыва: 1 – контур выработки; 2 – скважина; 3 – измерительный зонд; 4 – регистратор давления; 5 – датчик давления; 6 – нагнетательная установка; 7 – рабочая жидкость; 8 – манометр; 9 – трубопровод /

Fig. 1. Experimental determination of stresses by measuring hydraulic fracturing: 1 – production circuit; 2 – well; 3 – measuring probe; 4 – pressure recorder; 5 – pressure sensor; 6 – injection unit; 7 – working fluid; 8 – pressure gauge; 9 – pipeline

Эта схема широко применяется не только в технологических целях, но и в исследовательских. С её помощью изучают параметры поля напряжений и можно определить прочность пород на разрыв. Основу измерительного гидроразрыва со-

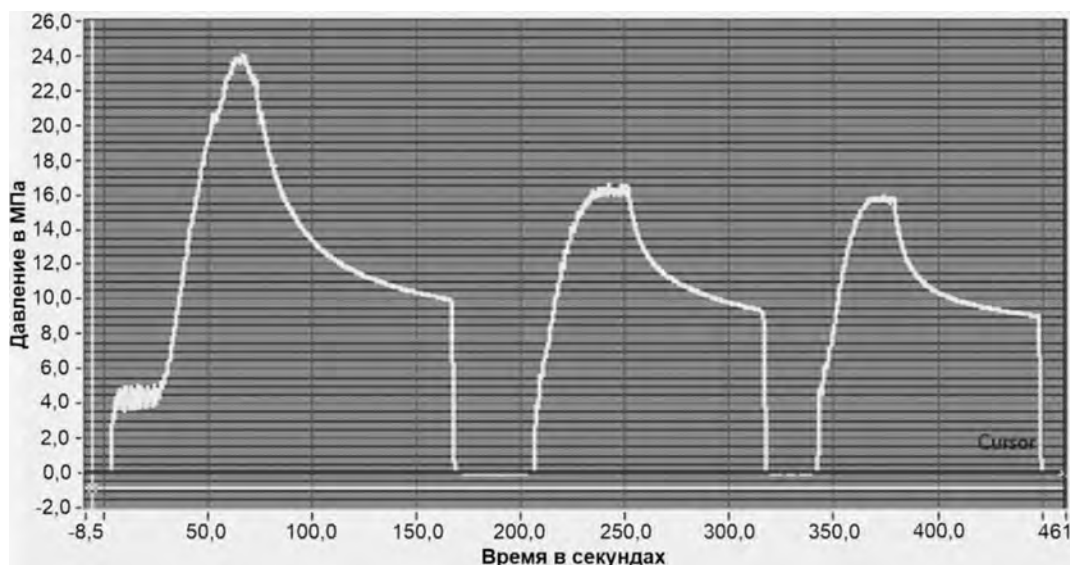


Рис. 2. Пример кривой «давление P – время t» при гидроразрыве /
Fig. 2. Example of the curve “pressure P – time t” during hydraulic fracturing

ставляет то, что давления, получаемые при замерах, зависят от уровня напряжений. Это позволяет использовать методику для изучения природного поля напряжений [2-11].

Проведение повторных нагружений позволяет выделить на диаграммах «давление-время» характерные значения этих параметров. Далее эти значения переводятся в термины напряжений, действующих в массиве.

К таким значениям (рис. 2) относятся:

- давление разрыва пород при первом нагружении (максимальное давление при первом нагружении);
- давление раскрытия трещины при повторных нагружениях (максимальное давление при повторных нагружениях);
- давление запираания (давление на спадающей равное минимальному напряжению в массиве).

Поскольку давление и напряжение измеряются в одних единицах, для оценки исходных напряжений не нужно знать точные значения деформационных параметров пород. Это является преимуществом метода гидроразрыва по сравнению с большим количеством механических способов измерения напряжений.

Для локализации следа трещины требуется надежные технические средства осмотра поверхности скважины. Известны следующие способы локализации следа трещины:

- оптический – визуальный контроль с помощью скважинных видеозондов (необходимые скважины);
- механический – получение отпечатка поверхности скважины на специальном импрессионном пакере;
- геофизический – сканирование поверхности скважины акустическими зондами.

При проведении гидроразрыва в шахтных условиях чаще других применяются два первых способа.

Результаты исследований

Оборудование.

Для проведения экспериментов в шахтных условиях применялось специальное оборудование, включающее измерительно-вычислительный комплекс (ИВК) «Гидроразрыв» и скважинный видеозонд для исследования скважин диаметром 76 мм.

ИВК «Гидроразрыв» состоит из измерительного зонда, ручного насоса, датчика давления, досылочных, модуля передачи данных с датчика на компьютер. Это оборудование является портативным и предназначено для использования под землей. В этих условиях данные измерений передаются в компьютер с помощью беспроводного соединения. Затем они сохраняются и автоматически обрабатываются. В данном руднике использовался зонд в состав которого входило два уплотнительных элемента. Герметизация пакерующих элементов осуществляется с помощью распорного гидроцилиндра расположенного в межпакерном пространстве (рис. 3).

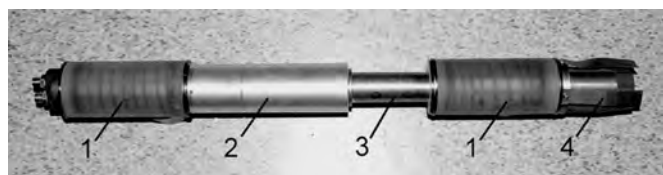


Рис. 3. Общий вид двухпакерного измерительного зонда:

1 – полиуретановые пакеры с пружинами; 2 – гидроцилиндр;

3 – втулка распорная; 4 – направляющие пластины

Fig. 3. General view of the two-packer measuring probe: 1 – polyurethane packers with springs; 2 – hydraulic cylinder; 3 – spacer sleeve; 4 – guide plates

Журнал наблюдений при выполнении исследований методом гидроразрыва на замерной станции №1 приведен в табл. 1, а результаты обработки $P-t$ диаграмм – в табл. 2.

Таблица 1 / Table 1

Журнал наблюдений при исследовании напряжений методом гидроразрыва пород на замерной станции №1 / The journal of observations in the study of stresses by the method of hydraulic fracturing at the measuring station No. 1

Координаты эксперимента		Номер нагружения						T_c , МПа
		1		2		3		
№ скв.	L , м	P_r , МПа	P'_s , МПа	P'_r , МПа	P''_s , МПа	P''_r , МПа	P'''_s , МПа	
1	10	19,1	14,4	16,9	13,1	16,3	13	2,2
1	9,5	24,6	19,2	22	18,6	21,5	17,6	2,6
1	9	-	38,5	25,1	21,7	22,1	19,2	Трещина
2	7	-	19,1	-	13,2	-	12	Трещина
2	6,5	22	18,1	20,4	17,7	-	-	1,6

Примечание:

L – расстояние от контура выработки до места гидроразрыва;

P_r – давление гидроразрыва;

P'_r , P''_r – давление раскрытия трещины;

P'_s , P''_s , P'''_s – давление запираания;

T_c – прочность породы на разрыв.

Note:

L – is the distance from the production contour to the fracking site;

P_r – hydraulic fracturing pressure;

P'_r , P''_r – crack opening pressure;

P'_s , P''_s , P'''_s – locking pressure;

T_c – is the tensile strength of the rock.

Таблица 2 / Table 2

Значения компонент напряжений на станции №1 / Values of the voltage components at station No. 1

№ скв.	L , м	$\sigma_{верт}$, МПа	σ_{min} , МПа	σ_{max} , МПа
1	10	22,7	14,85	-
1	9,5	20,27	-	42,21
1	9	22,4	-	42,35
2	7	22,3	15,84	-
2	6,5	21,4	-	39,36

Примечание:

В таблице приведены усредненные значения полученных величин напряжений с учетом влияния выработки /

Note:

The table shows the average values of the obtained stress values, taking into account the influence of generation.

В районе замерной станции 1 выполнено 14 тестов гидроразрыва. В результате обработки $P-t$ диаграмм установлены следующие значения напряжений, действующих в массиве:

$$\sigma = 14,58 \div 15,84 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{max} = 39,36 \div 42,35 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{верт} = 20,27 \div 22,7 \text{ МПа}.$$

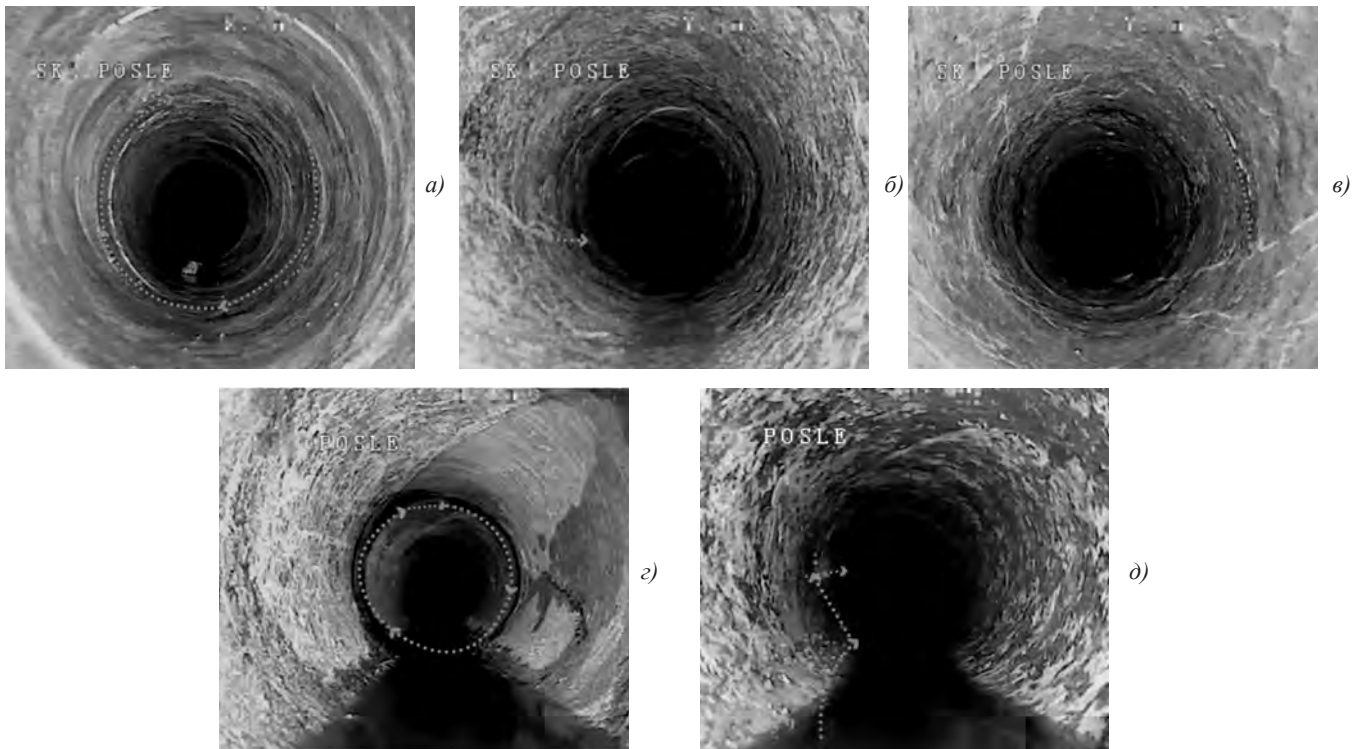


Рис. 4. Трещины на поверхности скважин после проведенного гидроразрыва: а) - Замерная станция №1. Скважина 1, глубина 10 м; б) - Замерная станция №1. Скважина 1, Глубина 9,5 м; в) - Замерная станция №1. Скважина 1, глубина 7 м; г) - Замерная станция №1. Скважина 2, Глубина 9 м; д) - Замерная станция №1. Скважина 2, глубина 6,5 м /

Fig. 4. Cracks on the surface of wells after hydraulic fracturing: а) - Measuring station No. 1. Well 1, depth 10 m; б) - Measuring station No. 1. Well 1, depth 9.5 m; в) - Measuring station No. 1. Well 1, depth 7 m; г) - Measuring station No. 1. Well 2, Depth 9 m; е) - Measuring station No. 1. Well 2, depth 6.5

Визуальный контроль с помощью скважинного видеозонда.

В ходе экспериментальных работ для определения ориентации главных напряжений был применен метод визуального контроля с помощью скважинного видеозонда.

На рис. 4 (а, б, в, г, д) точечной линией указан след гидроразрыва.

После сопоставления ориентации следа с полученными значениями было установлено, что главное максимальное горизонтальное напряжение в районе замерной станции № 1 ориентировано по азимуту $280 \pm 20^\circ$ (рис. 5) [12-18].

Выводы

В результате экспериментальных исследований на одной замерной станции по определению действующих напряжений в породном массиве на Северо-Западном участке Таштагольской шахты с использованием метода измерительного гидроразрыва установлено следующее:

$$\sigma_{min} = 14,58 \div 15,84 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{max} = 39,36 \div 42,35 \text{ МПа},$$

$$\sigma_{верт} = 20,27 \div 22,7 \text{ МПа}.$$

Данное распределение свидетельствует об присутствии тектонического поля на замерной станции, где соотношение между горизонтальными напряжениями и вертикальной компонентой при $\sigma_{верт}^{cp} = 21,81 \text{ МПа}$ составляет: $\sigma_{min}^{cp} / \sigma_{верт}^{cp} = 0,7$; $\sigma_{max}^{cp} / \sigma_{верт}^{cp} = 1,9$.

По данным, полученным из ориентации трещин гидроразрыва визуальным методом на замерных станциях действие максимального главного горизонтального напряжения имеет азимут $280 \pm 20^\circ$.



Рис. 5. Схема раскрытия трещин и ориентация главных напряжений на замерной станции № 1 /

Fig. 5. Crack opening scheme and orientation of the main stresses at measuring station No. 1

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оценка геомеханического состояния подработанных пород массива при выемке слепого рудного тела на Таштагольском месторождении / Еременко А. А., Гаврилов А. Г., Штирц В. А., Писарев В. С. // Горный журнал. — 2023. — № 2. — С. 48–56. — DOI: 10.17580/gzh.2022.01.12.
2. Курленя, М. В. Напряженное состояние породных массивов в верхних слоях земной коры / М. В. Курленя, Г. И. Кулаков // ФТПРПИ. — № 3. — 1998. — С. 3–8.
3. Zang A., Stephansson O. Stress Field of the Earth's Crust // Springer. — 2010. — 332 p. DOI: 10.1007/978-1-4020-8444-7.
4. Курленя, М. В. Развитие метода гидроразрыва для исследования напряженного состояния массива горных пород / М. В. Курленя, А. В. Леонтьев, С. Н. Попов // ФТПРПИ. — 1994. — № 1. — С. 3–20.
5. Haimson, B. C. Hydraulic Fracturing Stress Measurement // Special Volume of the Int. J. Rock Mech. Min. Sci. — 1989. — 289 p.
6. Cornet, F. H. In situ stress determination from hydraulic injection test data / Cornet F.H., Valette B. // J. Geophys. Res. — 1984. — Vol. 89 — P. 11527–11537.
7. Cornet, F. H. Stress determination from hydraulic test data and focal mechanisms of induced seismicity / F. H. Cornet, F. Julien // Int. J. Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. — 1989. — Vol. 26. — N 34. — P. 235–248.
8. Development of borehole - jack fracturing technique for in situ stress measurement / T. Yokoyama, O. Sano, A. Hirata, [et al.] // Int. J. Mech. Min. Sci. — 2014. — Vol. 67. — N 67. — P. 9–19. — DOI: 10.1016/j.ijrmms.2013.12.008.
9. Рубцова, Е. В. О физическом моделировании процесса измерительного гидроразрыва в модельных образцах при их неравнокомпонентном нагружении / Е. В. Рубцова, А. А. Скулкин // Проблемы недропользования [Сетевое периодическое научное издание] Екатеринбург: ИГД Уро РАН. — 2017. — С. 42–46.
10. Леонтьев, А. В. Опыт практического применения измерительного гидроразрыва / А. В. Леонтьев, С. Н. Попов // Горный журнал. — 2003. — № 3. — С. 37–43.
11. Рубцова, Е. В. О методах косвенного определения величины давления запираания трещины при измерительном гидроразрыве / Е. В. Рубцова, А. А. Скулкин // Интерэкспо ГЕО-Сибирь 2016. XI Междунар. науч. Конгр: Междунар. науч. конф. «Недропользование. Горное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Геоэкология»: Сб. материалов в 3 т. Т. 2. — Новосибирск: СГУГиТ. — 2016. — С. 265–269.
12. Рубцова, Е. В. Об определении напряжений в массиве горных пород методом направленного гидроразрыва / Е. В. Рубцова, А. А. Скулкин // Интерэкспо ГЕО Сибирь—2011. VII Международная научная конференция «Недропользование. Горное дело. Новые направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых»: сб. материалов в 2 т. Т.2. — Новосибирск: СГГА. — 2011. — С. 145–148.
13. Эндоскопические исследования дезинтеграции приконтурного массива выработок / В. Е. Ануфриев, Н. Ф. Денискин, В. Н. Федорин [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2003. — № 2. — С. 183–186.
14. Казанин, О. И. Контроль устойчивости выемочных выработок на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс» с применением видеоэндоскопов / О. И. Казанин, А. А. Ильинцев // Вестник Кузбасского государственного технического университета. — 2020. — № 2(138). — С. 12–17.
15. Определение параметров залегания трещин в породном массиве на основе оптической съемки скважин и интервального геотехнического документирования неориентированных кернов / В. А. Еременко, В. А. Винников, М. А. Косырева, Д. В. Лагутин // Горный журнал. — 2022. — № 1. — С. 21–26. — DOI: 10.17580/gzh.2022.01.04.
16. Разработка инструкции по выбору типа и параметров крепи выработок рудников Талнаха на основе количественной оценки состояния массива горных пород / В. А. Еременко, А. А. Айнбиндер, В. П. Марысюк, Ю. Н. Наговицин // Горный журнал. — 2018. — № 10. — С. 101–106. — DOI: 10.17580/gzh.2018.10.18.
17. Оценка состояния массива горных пород на рудниках ЗФ ОАО «ГМК «Норильский никель» / В. А. Еременко, И. И. Айнбиндер, П. Г. Пацкевич, Е. А. Бабкин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). — 2017. — № 1. — С. 5–17.
18. Оценка структуры массива горных пород по состоянию поверхности разгрузочных скважин в породном целике на шахте Шерешевская / А. А. Еременко, В. Н. Колтышев, Е. Е. Узун, Е. А. Христолюбов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2023. — № 11. — С. 91–101. — DOI: 10.25018/0236_1493_2023_11_0_91.

REFERENCES

1. Eremenko AA, Gavrilov AG, Stirts VA, et al. Assessment of the geomechanical state of undermined rocks of the massif during the excavation of a blind ore body at the Tashtagol deposit. *Mining Journal*. 2023;2:48–56 (In Russ.). DOI: 10.17580/gzh.2022.01.12.
2. Kurlenya MV, Kulakov GI. The stressed state of rock massifs in the upper layers of the Earth's crust. *FTPRPI*. 1998;3:3–8 (In Russ.).
3. Zang A, Stephansson O. Stress Field of the Earth's Crust. Springer, 2010. - 332 p. DOI: 10.1007/978-1-4020-8444-7.
4. Kurlenya MV, Leontyev AV, Popov SN. Development of the hydraulic fracturing method for studying the stressed state of rock massif. *FTPRPI*. 1994;1:3–20 (In Russ.).
5. Haimson BC. Hydraulic Fracturing Stress Measurement. Special Volume of the Int. J. Rock Mech. Min., 1989, 289 p.
6. Cornet FH, Valette B. In situ stress determination from hydraulic injection test data. *J. Geophys. Res.* 1984;89:11527–11537.
7. Cornet FH, Julien F. Stress determination from hydraulic test data and focal mechanisms of induced seismicity. *Int. J. Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.* 1989;26(34):235–248.
8. Yokoyama T, Sano O, Hirata A, et al. Development of borehole - jack fracturing technique for in situ stress measurement. *Int. J. Mech. Min. Sci.* 2014;67(67):9–19. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2013.12.008.
9. Rubtsova EV, Skulkin AA. On the physical modeling of the process of measuring hydraulic fracturing in model samples under their unequal loading. Problems of subsurface use. Yekaterinburg: IGD Uro RAS, 2017:42–46 (In Russ.).
10. Leontiev AV, Popov SN. Experience of practical application of measuring hydraulic fracturing. *Mining Journal*. 2003;3:37–43 (In Russ.).
11. Rubtsova EV, Skulkin AA. On methods for indirectly determining the value of the locking pressure of a crack during measuring hydraulic fracturing. Interexpo GEO-Siberia: International Scientific Conference “Subsoil use. Mining. Directions and technologies of prospecting, exploration and development of mineral deposits. Geoecology”. Novosibirsk: SGUGiT, 2016;2:265–269 (In Russ.).
12. Rubtsova EV, Skulkin AA. On the determination of stresses in a rock mass by the method of directional hydraulic fracturing // Interexpo GEO-Siberia: International Scientific Conference “Subsoil Use. Mining. New directions and technologies for prospecting, exploration and development of mineral deposits”. Novosibirsk: SGA, 2011;2:145–148 (In Russ.).
13. Anufriev VE, Deniskin NF, Fedorin VN, et al. Endoscopic studies of disintegration of a contour array of workings. *Mining information and analytical bulletin*. 2003;2:183–186 (In Russ.).
14. Kazanin OI, Ilyinets AA. Stability control of excavation workings at the mines of JSC SUEK-Kuzbass using video endoscopes. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*. 2020;2(138):12–17 (In Russ.).

15. Eremenko VA, Vinnikov VA, Kosyreva MA, et al. Determination of crack occurrence parameters in a rock mass based on optical survey of wells and interval geotechnical documentation of undirected cores. *Mining Journal*. 2022;1:21-26 (In Russ.). DOI: 10.17580/gzh.2022.01.04.
16. Eremenko VA, Einbinder AA, Marysyuk VP, et al. Development of instructions for choosing the type and parameters of the support of the Talnakh mines based on a quantitative assessment of the state of the rock mass. *Mining Journal*. 2018;10:101-106 (In Russ.). DOI: 10.17580/gzh.2018.10.18.
17. Eremenko VA, Einbinder II, Patskevich PG, et al. Assessment of the state of the rock mass at the mines of the ZF of OJSC MMC Norilsk Nickel. *Mining information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal)*. 2017;1:5-17 (In Russ.).
18. Eremenko AA, Koltyshev VN, Uzun EE, et al. Assessment of the structure of the rock mass according to the surface condition of unloading wells in the rock column at the Sheregeshskaya mine. *Mining information and analytical bulletin*. 2023;11:91-101 (In Russ.). DOI: 10.25018/0236_1493_2023_11_0_91.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Андрей Андреевич Еременко –

доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, 630091, г. Новосибирск, Российская Федерация, e-mail: eremenkoa@yandex.ru

Александр Александрович Скулкин –

младший научный сотрудник, Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, 630091, г. Новосибирск, Российская Федерация

Виталий Николаевич Колтышев –

младший научный сотрудник, Институт горного дела им. Н.А. Чинакала СО РАН, 630091, г. Новосибирск, Российская Федерация, e-mail: witalq@mail.ru

Виктор Семенович Писарев –

канд. технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск, 630108, Российская Федерация, e-mail: v.s.pisarev@sgugit.ru; Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук, 111020, г. Москва, Российская Федерация, e-mail: pisarev_v@ipkonran.ru

ABOUT THE AUTHORS

Andrey A. Yeremenko –

Dr. Sci. (Eng.), Professor, Chief Researcher Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 630091, Novosibirsk, Russian Federation, e-mail: eremenkoA@yandex.ru

Alexander A. Skulkin –

Junior research assistant Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 630091, Novosibirsk, Russian Federation

Vitaly N. Koltyshev –

Junior research assistant Chinakal Institute of Mining, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 630091, Novosibirsk, Russian Federation, e-mail: witalq@mail.ru

Viktor S. Pisarev – Ph. D., Associate Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying Siberian State University of Geosystems and Technologies, 630108, Novosibirsk, Russian Federation, e-mail: v.s.pisarev@sgugit.ru; Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources Russian Academy of Sciences, 111020, Moscow, Russia, e-mail: pisarev_v@ipkonran.ru

Критерии авторства / Contribution:

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации / All authors made equivalent contributions to the publication.

Конфликт интересов / Conflict of interest:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

Информация о статье

Поступила в редакцию: 18.09.2024

Поступила после рецензирования: 23.10.2024

Принята к публикации: 28.10.2024

Article info

Received: 18.09.2024

Revised: 23.10.2024

Accepted: 28.10.2024