

Код МРНТИ: 52.31.47:52.01.77

Б. Мұратұлы<sup>1</sup>, Д.Қ. Таханов<sup>2</sup>, Д.Р. Махмудов<sup>3</sup>, \*А.Қ. Матаев<sup>1</sup><sup>1</sup>Некоммерческое акционерное общество «Карагандинский технический университет им. Абылқаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан),<sup>2</sup>Товарищество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский центр «ISM Group» (г. Караганда, Казахстан),<sup>3</sup>Ташкентский государственный технический университет им. Ислама Каримова (г. Ташкент, Узбекистан)

## ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУРЫ МАССИВА И УТОЧНЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД В УСЛОВИЯХ РУДНИКА УШКАТЫН-III

**Аннотация.** Статья посвящена исследованию прочностных показателей горных пород. Проведены изучение структуры массива и съемки трещиноватости горных пород на контурах горных выработок рудника Ушкатын-III на горизонтах +288 м, +240 м, +192 м, +144 м для определения индекса геологической прочности и рейтинга массива горных пород, а также уточнения физико-механических свойств горных пород с применением программы RocLab. Опыт прошлых лет показывает, что система классификации должна быть нелинейной для слабых пород, так как их прочность быстро ухудшается с выветриванием. Кроме того, увеличение применения компьютерного моделирования создало настоятельную необходимость системы классификации быть настроенной специально для компьютерного моделирования и анализа устойчивости массива горных пород и подземных сооружений.

**Ключевые слова:** рудник, трещина, керн, прочность, горная порода, геология, растяжение, сжатие, массив, рейтинг RMR, шероховатость трещин.

**Ушкатын-III кеніші жағдайында тау жыныстарының физикалық-механикалық қасиеттерін нақтылау және сілем құрылымын зерттеу**

**Андатпа.** Мақала тау жыныстарының беріктік көрсеткіштерін зерттеуге арналған. Геологиялық беріктік индексі және тау жыныстары массивінің рейтингін айқындау бойынша Ушкатын-III кенішінің +288 м, +240 м, +192 м, +144 м деңгейліктердегі тау-кен қазбаларының контурларында сілем құрылымын зерттеу және тау жыныстарының жарықшақтығына түсірілім жүргізілді. Сондай-ақ Roclab бағдарламасын қолдану арқылы тау жыныстарының физикалық-механикалық қасиеттеріне нақтылау жүргізілді. Өткен жылдардағы тәжірибе көрсеткендей, жіктеу жүйесі әлсіз жыныстар үшін сызықты емес болуы керек, өйткені олардың беріктігі ауа райының бұзылуымен тез нашарлайды. Сонымен қатар, компьютерлік модельдеуді қолданудың артуы жіктеу жүйесінің тау жыныстары мен жер асты құрылыстарының массивінің тұрақтылығын компьютерлік модельдеу және талдау үшін арнайы конфигурациялануының шұғыл қажеттілігін тудырды.

**Түйінді сөздер:** кеніш, жарықшақтық, керн, беріктік, тау жынысы, геология, созылу, қысу, массив, RMR рейтингі, жарықтардың кедір-бұдырлығы.

**Study of the structure of the massif and refinement of the physical and mechanical properties of rocks in the conditions of the Ushkatyn-III mine**

**Abstract.** The article is devoted to the study of strength indicators of rocks. The study of the structure of the massif and the survey of rock fracturing on the contours of the mining workings of the Ushkatyn-III mine at the horizons of +288 m, +240 m, +192 m, +144 m to determine the index of geological strength and the rating of the rock mass, as well as clarification of the physical and mechanical properties of rocks using the RocLab program. The experience of past years shows that the classification system should be nonlinear for weak rocks, since their strength deteriorates rapidly with weathering. In addition, the increasing use of computer modeling has created an urgent need for a classification system to be configured specifically for computer modeling and analysis of the stability of a rock mass and underground structures.

**Key words:** mine, crack, core, strength, rock, geology, stretching, compression, array, RMR rating, crack roughness.

### Введение

Месторождение Ушкатын-III относится к Атасуйскому рудному району, включающему в себя более десятка аналогичных по генезису крупных месторождений железомарганцевых и барит-полиметаллических руд; обрабатывается комбинированным способом разработки<sup>1</sup>. Комбинированная (открыто-подземная) разработка – это самостоятельный способ извлечения полезных ископаемых из недр в пределах одного месторождения с присущими ему особенностями, достоинствами и недостатками<sup>2</sup>.

Ноек и Brown в 90-х гг. XX века представили геологический индекс прочности *GSI*, который применим как для крепких, так и для слабых горных пород.

Опытные полевые инженеры и геологи предпочитают простые, быстрые, но надежные классификации, основанные на визуальном осмотре геологических условий контура выработок, горизонта и рудника.

Опыт прошлых лет показывает, что система классификации должна быть нелинейной для слабых пород, поскольку их прочность быстро ухудшается в результате выветривания. Кроме того, с все возрастающим распространением компьютерного моделирования появилась острая необходимость создания системы классификации, настроенной специально для компьютерного моделирования и анализа устойчивости массива горных пород и подземных сооружений<sup>3</sup>. Для удовлетворения этих потребностей Ноек и Brown [1, 2] разработали простые диаграммы для оценки *GSI* на основе следующих двух корреляций:

$$GSI = RMR - 5. \quad (1)$$

*RMR* – рейтинг массива горных пород по Беньявскому [3] – определяется следующим образом:

$$RMR = J_{A1} + J_{A2} + J_{A3} + J_{A4} + J_{A5} + J_{BB}. \quad (2)$$

<sup>1</sup>Проект промышленной разработки месторождения «Ушкатын-3» комбинированным способом. – Астана: ТОО «КАЗГенПроект-1», 2013.

<sup>2</sup>Казикаев Д.М. Геомеханика подземной разработки руд: учебник для вузов. – М.: МГГУ, 2009. – 542 с.

<sup>3</sup>Макаров А.Б. Практическая геомеханика. Пособие для горных инженеров. – М.: Горная книга, 2006. – 391 с.

Рейтинг массива горных пород *RMR* использует следующие показатели массива:

✓ прочность пород на одноосное сжатие (*рейтинг JA1* в пределах от 0 до 15 баллов в зависимости от прочности пород);

✓ показатель качества массива по выходу керна геологоразведочных скважин RQD (Rock Quality Designation); он определяется по отношению суммарной длины всех кусков керна длиной более 10 см к общей его длине (*рейтинг JA2* в пределах от 3 до 20 баллов в зависимости от показателя RQD);

✓ расстояние между трещинами (*рейтинг JA3* в пределах от 5 до 20 баллов);

✓ характеристика трещин (*рейтинг JA4* в пределах от 0 до 30 баллов), включающая:

- шероховатость трещин (*рейтинг JA41* в пределах от 0 до 6 баллов);
- длина трещин (*рейтинг JA42* от 0 до 6 баллов);
- раскрытие трещин (*рейтинг JA43* от 0 до 6 баллов);
- заполнение трещин (*рейтинг JA44* от 0 до 6 баллов);
- выветрелость стенок трещин (*рейтинг JA45* от 0 до 6 баллов);

рейтинговая оценка геологической характеристики трещиноватости *JA4* определяется суммой рейтингов по отдельным показателям:

$$JA4 = JA41 + JA42 + JA43 + JA44 + JA45;$$

✓ условия обводненности выработки (*рейтинг JA5* в пределах от 0 до 15 баллов);

✓ направление трещин относительно оси выработки и угол их падения (*рейтинг JB* в пределах

Таблица 1

**Определение рейтинговых показателей массива горных пород RMR**

Кесте 1

**RMR тау жыныстары массивінің рейтингтік көрсеткіштерін анықтау**

Table 1

**Determination of the rating indicators of the RMR rock mass**

Параметр	Интервалы значений						
	> 250 МПа	100-250 МПа	50-100 МПа	25-50 МПа	5-25 МПа	1-5 МПа	< 1 МПа
A1. Прочность породы на одноосное сжатие							
<i>Рейтинг JA1</i>	15	12	7	4	2	1	0
A2. Качество массива по выходу керна RQD	90-100%	75%-90%	50%-75%	25%-50%	< 25%		
<i>Рейтинг JA2</i>	20	17	13	8	3		
A3. Расстояния между трещинами	> 2 м	0.6-2м	200-600 мм	60-200мм	< 60 мм		
<i>Рейтинг JA3</i>	20	15	10	8	5		
<i>A4. Характеристики трещин</i>							
A4.1. Шероховатость трещин	Очень шероховатые	Слегка шероховатые	Слегка шероховатые	Гладкие поверхности	Следы скольжения		
<i>Рейтинг JA41</i>	6	5	3	1	0		
A4.2. Длина трещин	< 1 м	1-3 м	3-10 м	10-20 м	> 20 м		
<i>Рейтинг JA42</i>	6	4	2	1	0		
A4.3. Раскрытие трещин	Нет	< 0,1 мм	0,1-1,0 мм	1-5 мм	> 5 мм		
<i>Рейтинг JA43</i>	6	5	4	1	0		
A4.4. Заполнитель трещин	Нет	Твердый заполнитель < 5 мм	Твердый заполнитель > 5 мм	Мягкий заполнитель < 5 мм	Мягкий заполнитель > 5 мм		
<i>Рейтинг JA44</i>	6	4	2	2	0		
A4.5. Выветрелость стенок трещин	Нет	Слегка выветрелые	Средне выветрелые	Сильно выветрелые	Раздробленные		
<i>Рейтинг JA45</i>	6	5	3	1	0		
$JA4 = JA41 + JA42 + JA43 + JA44 + JA45$	30	25	20	10	0		
A5. Обводненность выработки	Полностью сухая	Влажная	Мокрая	Капез	Водоприток		
<i>Рейтинг JA5</i>	15	10	7	4	0		
V. Ориентация трещин	Очень благоприятные	Благоприятные	Средние	Неблагоприятные	Очень неблагоприятные		
<i>Рейтинг JB</i>	0	-2	-5	-10	-12		

Таблица 2

Влияние ориентации трещин на устойчивость выработок

Кесте 2

Жарықтар бағыттарының қазбалардың тұрақтылығына әсері

Table 2

Influence of crack orientation on the stability of workings

Простираие трещин вкрест оси выработки		Простираие трещин параллельно оси выработки	
Проходка выработки ведется по падению трещин с углами падения 45-90°	Проходка выработки ведется по падению трещин с углами падения 20-45°	Углы падения трещин 45-90°	Углы падения трещин 20-45°
Очень благоприятные	Благоприятные	Неблагоприятные	Очень неблагоприятные
Проходка выработки ведется против падения трещин с углами падения 45-90°	Проходка выработки ведется против падения трещин с углами падения 20-45°	Углы падения трещин 0-20° независимо от простираия	
Благоприятные	Неблагоприятные	Неблагоприятные	

от 0 до (-12) баллов; отрицательные значения баллов рейтинга данного показателя при определении итогового рейтинга массива *RMR* вычитаются из суммы баллов других показателей).

Указания по определению значений рейтингов всех показателей в баллах приведены в табл. 1.

Правила, по которым определяется рейтинг *J<sub>B</sub>*, характеризующий влияние на устойчивость выработок направления трещин относительно оси выработки и угла их падения<sup>4</sup>, приведены в табл. 2.

#### Методы исследования

##### Определение показателей рейтинга *RMR*

Показатель качества породы *RQD* (рейтинг *J<sub>A2</sub>*). В 1964 году Д. Диром [4] был введен «индекс качества породы» *RQD* в качестве показателя количественной оценки качества массива. Индекс качества породы *RQD* по Диру приведен в табл. 3. Процедура измерения *RQD* приведена на рис. 1. Возможно, это часто используемый метод, характеризующий степень трещиноватости керна, хотя этот параметр косвенно включает в себя другие особенности горных пород, такие как выветривание. В настоящее время *RQD* является существенным компонентом при подсчете рейтинга горных пород по другим классификациям.

Основные принципы определения *RQD* по керну:

- базовый диаметр керна должен составлять (желательно) не менее 47-50 мм;
- чем больше диаметр керна, тем меньше влияние процесса бурения на его целостность;
- на маленьких кернах могут появиться дополнительные нарушения от бурения;
- *RQD* зависит от ориентации керна относительно структуры массива горных пород;
- показатель *RQD* не чувствителен для условий хорошего или очень хорошего массива.

По значению *RQD* массив горных пород разделяется на следующие классы:

- неповрежденная порода – (*RQD* = 100%);
- большая блочность – (*RQD* = 80-100%);

- средняя блочность – (*RQD* = 50-80%);
- маленькая блочность – (*RQD* < 50%);
- слоистая (анизотропная).

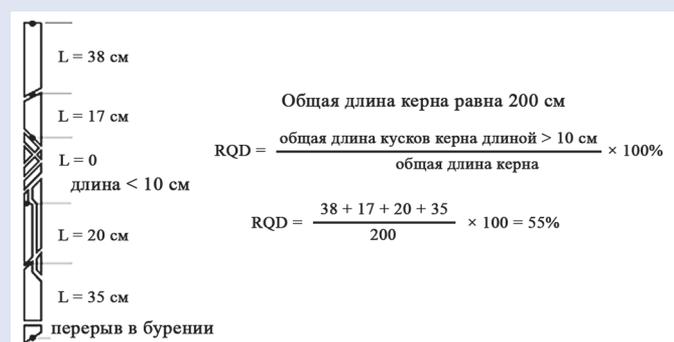
Для определения *RQD* были проведены замеры трещиноватости массива по методике, приведенной на рис. 2. Замеры были организованы на горизонтах +288, +240, +192, +144 м.

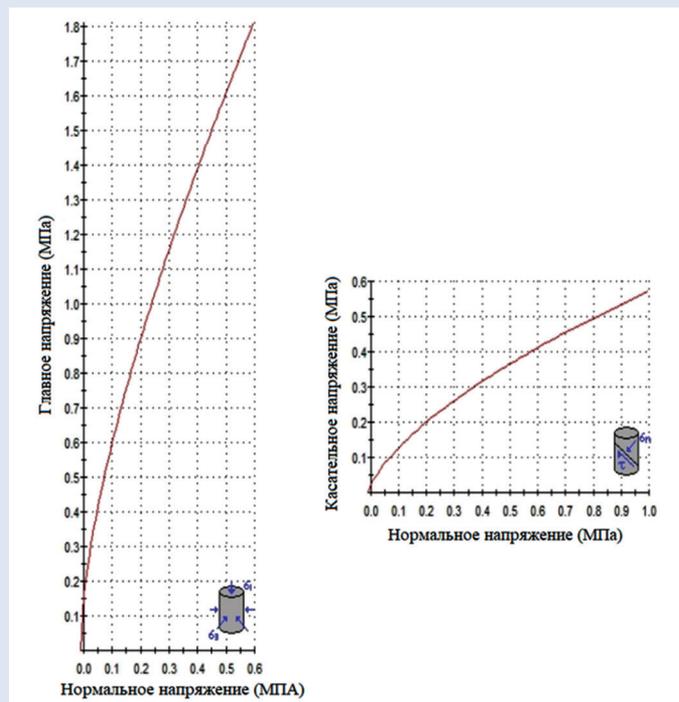
По анализу горно-геологической документации рудника Ушкатын-III средний выход керна по месторождению составляет: по руде – 71%, по вмещающим породам – 76%. По результатам определения *RQD* равен 65-75%, рейтинг *J<sub>A2</sub>* – 13.

Расстояние между трещинами (рейтинг *J<sub>A3</sub>*) замерялось с помощью рулетки на контурах горных выработок горизонтов +288, +240, +192, +144 м [3]. В табл. 4 приведены средние расстояния между трещинами и количество систем трещин.

Характеристики трещин (рейтинг *J<sub>A4</sub>*) для определения рейтинга *RMR* приведены в табл. 5. Здесь показаны усредненные значения по рассматриваемым участкам массива горных пород.

Обводненность выработки (рейтинг *J<sub>A5</sub>*) и ориентация трещин (рейтинг *J<sub>B</sub>*). Подземные горные

Рис. 1. Порядок измерения и расчета *RQD*.Сурет 1. *RQD* өлшеу және есептеу тәртібі.Figure 1. The order of measurement and calculation of *RQD*.



**Рис. 2. Зависимость главных напряжений  $\sigma_1$  от  $\sigma_3$  и касательных напряжений от нормальных напряжений.**

**Сурет 2. Негізгі кернеулердің  $\sigma_1$ -ден  $\sigma_3$ -ке және тангенс кернеулерінің қалыпты кернеулерге тәуелділігі.**

**Figure 2. Dependence of the main stresses  $\sigma_1$  on  $\sigma_3$  and tangential stresses on normal stresses.**

выработки рудника «Ушкатын-III» по обводненности оцениваются как влажные. *Рейтинг JA5* будет равен 10.

*Рейтинг JB* – показатель ориентации трещин – оценивается как средний, т. е. условия проведения горных выработок является благоприятным. *Рейтинг JB* равен (-2). В табл. 6 приведен рейтинг *RMR* (1) и показатель *GSI* (1) по рассматриваемым участкам (табл. 7). Показатель *GSI* является исходным данным для уточнения физико-механических свойств горных пород с помощью программы RocLab.

**Таблица 3**  
**Индекс качества породы RQD**  
**Кесте 3**  
**RQD жыныс сапасының индексі**  
**Table 3**  
**Breed Quality Index RQD**

Значение RQD	Качество горной породы
0-25	Очень слабый
25-50	Слабый
50-75	Средний
75-90	Крепкий
90-100	Очень крепкий

**Таблица 4**  
**Расстояние между трещинами**  
**Кесте 4**  
**Жарықтар арасындағы қашықтық**  
**Table 4**  
**Distance between cracks**

Участки по отметкам	1 система трещин	2 система трещин	3 система трещин	Рейтинг JA3
373-288	0,20	0,53	0,32	10
288-240	0,18	0,58	0,36	8
240-192	0,16	0,38	0,41	8
192-144	0,21	0,43	0,46	10
144-96	0,26	0,47	0,42	10

Среднее расстояние между трещинами 0,2-0,6 м.  
Общий *Рейтинг JA3* – 10

**Уточнение физико-механических свойств с применением программы RocLab**

RocLab – компьютерная программа для определения параметров прочности массива горных пород, разработанная канадской фирмой Rocscience Inc и основанная на обобщенном критерии разрушения Ноек-Brown и Мора-Кулона<sup>4</sup>. Свойства массива горных пород, определяемые RocLab, могут быть использованы как исходные данные для ввода в программы численного анализа [4], такие как Phase2 (конечно-элементный анализ

**Таблица 5**  
**Характеристики трещин по рейтингу Рейтинг JA4**  
**Кесте 5**  
**Жарықшақ сипаттамалары рейтингі бойынша Рейтинг JA4**  
**Table 5**  
**Crack Characteristics by Rating JA4 Rating**

Шероховатость трещин	Длина трещин, м	Раскрытие трещин, мм	Заполнитель трещин	Выветрелость стенок трещин
Слегка шероховатые	от 0,5 до 3	от 0,1 до 3	Твердый заполнитель > 5 мм	Влажная
Рейтинг – 3	Рейтинг – 4	Рейтинг – 3	Рейтинг – 4	Рейтинг – 10
Общий <i>Рейтинг JA4</i> – 24				

<sup>4</sup>Руководство пользователя RocLab. Анализ прочности массива горных пород на основе критерия разрушения Ноек-Brown и Кулона-Мора. – 2009. – 20 с.

**Таблица 6**  
**Значение рейтинга RMR и показателя GSI**

**Кесте 6**  
**RMR рейтингі мен GSI көрсеткішінің мәні**

**Table 6**  
**The value of the RMR rating and the GSI indicator**

Участки по отметкам	RMR	GSI
373-288	62	57
288-240	60	55
240-192	65	60
192-144	67	62
144-96	67	62

**Таблица 7**  
**Рассматриваемые участки для расчета**

**Есептеуге арналған учаскелер**

**Considered areas for calculation**

Участки по отметкам	Глубина с поверхности, м	Примечание
373-288	85	Зона коры выветривания
288-240	133	Скальный массив
240-192	181	Скальный массив
192-144	229	Скальный массив
144-96	277	Скальный массив

напряжений и расчет крепления при ведении горных работ) или Slide (анализ предельного равновесия при расчете устойчивости откосов).

Следующие задачи могут быть решены с помощью RocLab.

Определение обобщенных параметров прочности Hoek-Brown массива горных пород ( $mb$ ,  $s$ ,  $a$ ) по следующим вводимым значениям [5-7]:

- сопротивление одноосному сжатию ненарушенной породы  $\sigma_{ci}$ ,
- параметр ненарушенной породы  $m_i$ ,
- геологический индекс прочности GSI,
- коэффициент нарушенности  $D$ .

Определение модуля деформации массива горных пород по следующим вводимым значениям [8-10]:

- модуль деформации ненарушенной породы  $E_i$ ;
- $E_i$  может быть опционально вычислен с помощью отношения модулей  $MR$ .

Измеритель напряжений.

Графический замер огибающей Hoek-Brown или Мора-Кулона для определения прочности (координат точек огибающей) при любых выбранных значениях напряжений (главных, нормальных и сдвигающих).

RocLab строит огибающую разрушения массива горных пород:

- в пространстве главных напряжений ( $\sigma_1$  от  $\sigma_3$ );
- в пространстве сдвигающих – нормальных напряжений ( $\tau$  от  $\sigma_n$ ).

**Исходные данные для программы RocLab**

**Rocklab бағдарламасының бастапқы деректері**

**Source data for the Rocklab program**

Участки по отметкам	Sigci, МПа	GSI	$m_i$	$D$	$E_i$ (MR)	Глубина, м	Объемный вес, МН/м <sup>3</sup>
373-288	70	57	7	0	1000	85	0,020
288-240	90	55	10	0	700	133	0,027
240-192	100	60	10	0	700	181	0,027
192-144	120	62	10	0	700	229	0,027
144-96	120	62	10	0	700	277	0,027

**Прочностные показатели по критерию Hoek-Brown**

**Hoek-Brown критерийі бойынша беріктік көрсеткіштері**

**Strength indicators according to the Hoek-Brown criterion**

Участки по отметкам	Прочность неповрежденной горной породы, МПа	Параметр $mb$	Параметр $s$	Модуль Юнга, МПа
373 – 288	70	1,507	0,0084	70000
288 – 240	90	2,005	0,0067	63000
240 – 192	100	2,397	0,0117	70000
192 – 144	120	2,574	0,0147	84000
144 - 96	120	2,574	0,0147	84000

Графики соответствуют текущим данным в боковой панели. По умолчанию на экране одновременно отображаются графики как в главных, так и сдвигающих – нормальных напряжений.

В табл. 8 приведены исходные данные для определения прочностных параметров по критерию Нок-Браун.

На рис. 2 приведен график зависимости главных нормальных напряжений  $\sigma_1$  от  $\sigma_3$  и касательных напряжений от нормальных напряжений.

В табл. 9 приведены результаты определения прочностных параметров горных пород месторождения «Ушкатын-3» по критерию Нок-Браун [11].

### Заключение

В результате исследования проведены изучение структуры массива и съемки трещиноватости горных пород на контурах горных выработок рудника Ушкатын-III на горизонтах +288 м, +240 м, +192 м, +144 м по определению индекса геологической прочности  $GSI$  и рейтинга массива горных пород  $RMR$ , а также уточнение физико-механических свойств горных пород с применением программы RocLab. Прочностные параметры по Нок-Браун используются в качестве исходных данных численного моделирования напряженно-деформированного состояния массива горных пород при процессе самообрушения охранных целиков.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Нок Е., Браун Е.Т. Практические оценки прочности массива горных пород. // *Международный журнал горной механики и горных наук.* – 1997. – Т. 34. – №8. – С. 1165-1186 (на английском языке)
2. Deere D.U. Геологические соображения. // *Механика горных пород в инженерной практике.* / Под ред. R.G. Stagg, D.C. Zienkiewicz. – Нью-Йорк: Wiley, 1968. – С. 1-20 (на английском языке)
3. Имашев А.Ж., Таханов Д.К., Балпанова М.Ж., Муратулы Б. Численное моделирование процесса самообрушения при отработке охранных целиков. // *Международная научно-практическая конференция «Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации» (Сагиновские чтения).* – Караганда, 2019. – №11. – С. 137-139 (на казахском языке)
4. Имашев А.Ж., Таханов Д.К., Балпанова М.Ж., Муратулы Б. Определение параметров целиков в условиях Жайремского месторождения. // *Горный журнал Казахстана.* – Алматы, 2019. – №6. – С. 37-40 (на казахском языке)
5. Нок Е., Carranza-Torres С.Т., Corkum В. Критерий отказа Хука-Брауна – издание 2002 года. // *Труды Встречи Североамериканского общества механиков горных пород в Торонто в июле 2002 года.* – Торонто, 2002. – №1. – С. 267-273 (на английском языке)
6. Нок Е., Diederichs M.S. Эмпирическая оценка модуля горной массы. // *Международный журнал механики горных пород и горных наук.* – 2006. – №43. – С. 203-215 (на английском языке)
7. Forster K., Milne D., Pop A. Факторы добычи полезных ископаемых и горной массы, влияющие на разжижение подвесных стен. // *Механика горных пород: решение проблем и требований общества.* – 2007. – С. 1361-1366 (на английском языке)
8. Sultanov M.G., Mataev A.K., Kaumetova D.S., Abdrashev R.M., Kuantay A.S., Orynbayev V.M. Разработка выбора типов параметров опор и технологий их возведения на месторождении Восход. // *Уголь.* – 2020. – №10. – С. 17-21 (на английском языке)
9. Arystan I.D., Baizbaev M.B., Mataev A.K., Abdieva L.M., Bogzhanova Zh.K., Abdrashev R.M. Выбор и обоснование технологии крепления подготовительных выработок в неустойчивых массивах на примере шахты «10 лет независимости Казахстана». // *Уголь.* – 2020. – №6. – С. 10-14 (на английском языке)
10. Petlovanıı M., Ruskykh V., Zubko S., Medianuk V. Зависимость качества добываемых руд от геологического строения и свойств нависающих стеновых пород. // *Веб-конференция E3S.* – 2020. – №201. – С. 01027 (на английском языке)
11. Abdellah W.R.E., Hefni M.A., Ahmed H.M. Факторы, влияющие на устойчивость отвесных стенок очистных забоев и разрежение руды в узкожилых месторождениях: Часть 1. // *Геотехника и инженерно-геологическое проектирование.* – 2019. – №38(2). – С. 1451-1470 (на английском языке)

### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Нок Е., Браун Е.Т. Тау жыныстарының беріктігін практикалық бағалау. // *Тау-кен механикасы және тау-кен ғылымдарының халықаралық журналы.* – 1997. – Т. 34. – №8. – С. 1165-1186 (ағылшын тілінде)

2. Deere D.U. Геологиялық ойлар, инженерлік практикадағы тау жыныстарының механикасы. / Өңдеген R.G. Stagg, D.C. Zienkiewicz. – Нью-Йорк: Wiley, 1968. – Б. 1-20 (ағылшын тілінде)
3. Имашев А.Ж., Таханов Д.К., Балпанова М.Ж., Мұратұлы Б. Қорғаушы кентіректерді қазып алу кезіндегі өздігінен құлау үрдісін сандық моделдеу // «Ғылым, білім және өндіріс интеграциясы – ұлт жоспарын жүзеге асырудың негізі» халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференция (Сағынов оқулары). – Қарағанды, 2019. – Б. 137-139 (қазақ тілінде)
4. Имашев А.Ж., Таханов Д.К., Балпанова М.Ж., Мұратұлы Б. Жәйрем кенорны жағдайында кентіріректердің параметрлерін анықтау. // Қазақстанның тау-кен журналы. – Алматы, 2019. – №6. – Б. 37-40 (қазақ тілінде)
5. Hoek E., Carranza-Torres C.T., Corkum B. Хук-Браунның сәтсіздік критерийі – 2002 жылғы басылым. // 2002 жылғы шілдеде Торонтодағы Солтүстік Америкалық тау-кен механикасы қоғамының жиналысының материалдары. – Торонто, 2002. – №1. – Б. 267-273 (ағылшын тілінде)
6. Hoek E., Diederichs M.S. Тау массасы модулін эмпирикалық бағалау. // Халықаралық тау жыныстары және тау-кен механикасы журналы. – 2006. – №43. – Б. 203-215 (ағылшын тілінде)
7. Forster K., Milne D., Pop A. Аспалы қабырғалардың сұйылтылуына әсер ететін тау-кен және тау-кен факторлары. // Тау жыныстарының механикасы: қоғамның проблемалары мен талаптарын шешу. – 2007. – С. 1361-1366 (ағылшын тілінде)
8. Sultanov M.G., Mataev A.K., Kaumetova D.S., Abdrashev R.M., Kuantay A.S., Orynbayev V.M. Восход кен орнында тіректер параметрлерінің түрлерін және оларды тұрғызу технологияларын таңдауды әзірлеу. // Көмір. – 2020. – №10. – Б. 17-21 (ағылшын тілінде)
9. Arystan I.D., Baizbaev M.B., Mataev A.K., Abdieva L.M., Bogzhanova Zh.K., Abdrashev R.M. «Қазақстан Тәуелсіздігіне 10 жыл» шахтасының мысалында тұрақсыз массивтерде дайындық қазбаларын бекіту технологиясын таңдау және негіздеу. // Көмір. – 2020. – №6. – Б. 10-14 (ағылшын тілінде)
10. Petlovanyi M., Ruskykh V., Zubko S., Medianyk V. Өндірілетін кендердің сапасының геологиялық құрылымына және асып түсетін қабырға жыныстарының қасиеттеріне тәуелділігі. // E3S веб-конференциясы. – 2020. – №201. – Б. 01027 (ағылшын тілінде)
11. Abdellah W.R.E., Hefni M.A., Ahmed H.M. Тазарту кенжарларының мөлдір қабырғаларының тұрақтылығына және тар кен орындарындағы кендердің сиретілуіне әсер ететін факторлар: Бөлім I. // Геотехника және инженерлік-геологиялық жобалау. – 2019. – №38(2). – Б. 1451-1470 (ағылшын тілінде)

## REFERENCES

1. Hoek E., Brown E.T. Practical Estimates of Rock Mass Strength, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. – 1997. – Vol. 34. – №8. – P. 1165-1186 (in English)
2. Deere D.U. *Geological Considerations, Rock Mechanics in Engineering Practice*. / Ed. R.G. Stagg, D.C. Zienkiewicz. – New York: Wiley, 1968. – P. 1-20 (in English)
3. Imashev A.Zh., Takhanov D.K., Balpanova M.Zh., Muratuly B. Chislennoe modelirovanie processa samoobrusheniya pri otrabotke oxrannykh celikov [Numerical simulation of the process of self-destruction during the development of security targets]. // *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya «Integraciya nauki, obrazovaniya i proizvodstva – osnova realizacii Plana natsii» (Saginovskie chteniya) = International Scientific and Practical Conference «Integration of science, education and production is the basis for the implementation of the Plan of the Nation» (Saginov Reading)*. – Karaganda, 2019. – №11. – P. 137-139 (in Kazakh)
4. Imashev A.Zh., Takhanov D.K., Balakhanova M.Zh., Muratuly B. Opredelenie parametrov celikov v usloviyax Zhajremskogo mestorozhdeniya [Determination of the parameters of the tselikov in the conditions of the Zhayremskoye field]. // *Gornyy zhurnal Kazakhstana = Mining Journal of Kazakhstan*. – Almaty, 2019. – №6. – P. 37-40 (in Kazakh)

5. Hoek E., Carranza-Torres C.T., Corkum B. (2002), *Hoek-Brown failure criterion – 2002 edition. Proceedings of the North American Rock Mechanics Society meeting in Toronto in July 2002. – Toronto, 2002. – №1. – P. 267-273 (in English)*
6. Hoek E., Diederichs M.S. *Empirical estimation of rock mass modulus. // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. – 2006. – №43. – P. 203-215 (in English)*
7. Forster K., Milne D., Pop A. *Mining and rock mass factors influencing hanging wall dilution. // Rock Mechanics: Meeting Society's Challenges and Demands. – 2007. – P. 1361-1366 (in English)*
8. Sultanov M.G., Mataev A.K., Kaumetova D.S., Abdrashev R.M., Kuantay A.S., Orynbayev B.M. *Development of the choice of types of support parameters and technologies for their construction at the voskhod field. // Coal. – 2020. – №10. – P. 17-21 (in English)*
9. Arystan I.D., Baizbaev M.B., Mataev A.K., Abdieva L.M., Bogzhanova Zh.K., Abdrashev R.M. *Selection and justification of technology for fixing preparatory workings in unstable massifs on the example of the mine 10 years of independence of Kazakhstan. // Coal. – 2020. – №6. – P. 10-14 (in English)*
10. Petlovanyi M., Ruskykh V., Zubko S., Medianykh V. *Dependence of the mined ores quality on the geological structure and properties of the hanging wall rocks. // E3S Web of Conferences. – 2020. – №201. – P. 01027 (in English)*
11. Abdellah W.R.E., Hefni M.A., Ahmed H.M. *Factors influencing stope hanging wall stability and ore dilution in narrow-vein deposits: Part 1. // Geotechnical and Geological Engineering. – 2019. – №38(2). – P. 1451-1470 (in English)*

#### Сведения об авторах:

**Мұратұлы Б.**, докторант кафедры «Разработка месторождения полезных ископаемых» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), [berikbol\\_1993@mail.ru](mailto:berikbol_1993@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0003-3444-4593>

**Таханов Д.Қ.**, канд. техн. наук, научный сотрудник Товарищества с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский центр «ISM Group»» (г. Караганда, Казахстан), [takhanov80@mail.ru](mailto:takhanov80@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0002-2360-9156>

**Махмудов Д.Р.**, PhD, доцент, заведующий кафедрой «Геотехнология угольных и пластовых месторождений» Ташкентского государственного технического университета им. Ислама Каримова (г. Ташкент, Узбекистан), [dmahmudov@yandex.ru](mailto:dmahmudov@yandex.ru); <https://orcid.org/0000-0003-0801-4311>

**Матаев А.Қ.**, PhD, старший преподаватель кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Некоммерческого акционерного общества «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), [mataev.azamat@mail.ru](mailto:mataev.azamat@mail.ru); <https://orcid.org/0000-0001-9033-8002>

#### Авторлар туралы мәліметтер:

**Мұратұлы Б.**, Коммерциялық емес акционерлік қоғамы «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті», «Пайдалы қазбалар кенорындарын игеру» кафедрасының докторанты (Қарағанды қ., Қазақстан)

**Таханов Д.Қ.**, техника ғылымдарының кандидаты, Жауапкершілігі шектеулі серіктестігі «ISM Group» ғылыми-зерттеу орталығының ғылыми қызметкері (Қарағанды қ., Қазақстан)

**Махмудов Д.Р.**, PhD докторы, доцент, Ислам Каримов атындағы Ташкент мемлекеттік техникалық университеті, «Көмір және қабат кен орындарының геотехнологиясы» кафедрасының меңгерушісі (Ташкент қ., Өзбекстан)

**Матаев А.Қ.**, PhD, Коммерциялық емес акционерлік қоғамы «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті», «Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру» кафедрасының аға оқытушысы (Қарағанды қ., Қазақстан)

#### Information about the authors:

**Muratuly B.**, Doctoral Student at the Department «Development of Mineral Deposits» of the Non-commercial Joint Stock Company «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

**Takhanov D.K.**, Candidate of Technical Sciences, Research Associate of the Limited Liability Partnership «Scientific Research Centre «ISM Group»» (Karaganda, Kazakhstan)

**Makhmudov D.R.**, PhD, Docent, Head at the Department of «Geotechnology of Coal and Reservoir Deposits» of the Tashkent State Technical University named after Islam Karimov (Tashkent, Uzbekistan)

**Matayev A.K.**, PhD, Senior Lecturer at the Department «Development of Mineral Deposits» of the Non-commercial Joint Stock Company «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)