Код МРНТИ 52:31:47

И.Д. Арыстан[1], *А.К. Матаев[1], А.М. Хамзе[1], Т.С. Ибырханов[2]
[1]НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан),
[2]НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени Каныша Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан)

ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РУДЫ И ПОРОД РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С ОЦЕНКОЙ ПРИРОДНОГО ПОЛЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА

Аннотация. Цель научной статьи – проведение комплексного исследования механических свойств руд и пород месторождения Жиландинской группы, а также оценка природного поля напряженного состояния массива для решения геомеханических задач при оптимизации ведения горных работ. Тесты гидроразрыва на замерных станциях показали значительное тектоническое напряжение, связанное с формой структурных складок и трещиноватостью массива. Установлено, что для массива скальных пород характерна неравномерная трещиноватость. Она имеет тектоническое происхождение и в среднем составляет от 10-15 до 15-25 трещин на метр для различных литологических разновидностей.
Ключевые слова: *напряженное состояние массива, руда, порода, численный анализ, трещиноватость, рудник, порода, выработка.*

Кен орындарының кені мен тау жыныстарының механикалық қасиеттерін массивтің кернеулі күйінің табиғи өрісін бағалай отырып зерттеу

Аңдатпа. Ғылыми мақаланың мақсаты Жиланды тобының кен орындары мен тау жыныстарының механикалық қасиеттеріне кешенді зерттеу жүргізу, сондай-ақ тау-кен жұмыстарын жүргізуді оңтайландыру кезінде геомеханикалық мәселелерді шешу үшін массивтің кернеулі күйінің табиғи өрісін бағалау. Өлшеу станцияларындағы фрекинг сынақтары құрылымдық қатпарлардың пішініне және массивтің жарылуына байланысты айтарлықтай тектоникалық кернеуді көрсетті. Тау жыныстарының массиві біркелкі емес жарықшақпен сипатталатыны анықталды. Ол тектоникалық шыққан және әр түрлі литологиялық сорттар үшін орташа есеппен бір метрге 10-15-тен 15-25 жарықшаққа дейін. Станциялардағы максималды көлденең кернеу 70°±10 азимутқа бағытталған.
Түйінді сөздер: *массивтің кернеу күйі, кен, тау жынысы, сандық талдау, жарықшақтық, кеніш, жыныс, қазба.*

The study of the mechanical properties of ore and rocks of ore deposits with an assessment of the natural field of the stressed state of the massif

Abstract. The purpose of the scientific article is to conduct a comprehensive study of the mechanical properties of ores and rocks of the Zhilandinsky group deposit, as well as an assessment of the natural field of the stressed state of the massif to solve geomechanical problems in optimizing mining operations. Hydraulic fracturing tests at measuring stations showed significant tectonic stress associated with the shape of structural folds and fracturing of the massif. It has been established that the rock mass is characterized by uneven fracturing. It has a tectonic origin and averages from 10-15 to 15-25 cracks per meter for various lithological varieties.
Key words: *stress state of the massif, ore, rock, numerical analysis, fracturing, mine, rock, production.*

Введение

Геологическое разнообразие Казахстана имеет важное значение для размещения основных видов полезных ископаемых в различных его регионах [1, 2].

Горнодобывающая промышленность Республики Казахстан стала одной из самых конкурентоспособных отраслей страны, достигнув стабильного роста в начале XXI века. Этот успех в значительной степени обусловлен привлечением иностранных инвестиций для развития данного сектора экономики [3-5].

Для решения таких геомеханических задач как управление состоянием массива горных пород, поддержание горных выработок в устойчивом состоянии и безопасная их эксплуатация требуется более широкое изучение поведения горных пород в приконтурной части массива. Это позволит получить надежную и своевременную информацию о динамике напряженно-деформированного состояния массива вблизи горных выработок [6].

Проявление герцинского тектогенеза привело к образованию здесь структур II и более высокого порядков (куполов, мульд), осложненных продольными зонами сжатия типа флексур и дизъюнктивными нарушениями.

Месторождение Итауз представлено субвертикальными рудными телами мощностью от первых метров до 25 м. Обычно рудные тела имеют мощность 5-10 м. В геологическом строении принимают участие тонкозернистые алевролиты и аргиллиты, а также грубозернистые песчаники с редкими прослоями внутриформационных конгломератов. Залегание пород крутопадающее с 75-80°. Породы разбиты сериями секущих трещин межпластовых и внутрипластовых. Трещины заполнены кальцитом, пустотами или материалом дробления. Верхняя часть месторождения отработана карьером. В настоящее время ведется подземная разработка системой подэтажного обрушения.

В данном исследовании мы анализируем механические свойства руд и пород месторождения Жиландинской группы с целью определения природного напряженного состояния массива. Это позволит нам эффективно решать геомеханические задачи и оптимизировать горные работы. Учитывая разнообразие геологических условий данной местности, наше исследование представляет ценность как для научного сообщества, так и для практического применения в горнодобывающей промышленности [7-10].

Методика

К числу наиболее универсальных методов оценки природного поля напряжений относится метод гидроразрыва пород в скважине. С одной стороны, использование гидроразрыва пород в скважине эффективно при подробном исследовании полей напряжений в зонах влияния подземных и наземных сооружений. С другой стороны, этот метод может быть применен для диагностики напряженного состояния в глубоких скважинах и является одним из немногих методов для этой цели.

Исходя из данных гидравлического испытания определяется меньшее значение горизонтальной компоненты напряжений, на основе которого вычисляется большее значение горизонтальной компоненты напряжений, при этом в расчете используются значения показателей физико-механических свойств массива горных пород в месте проведения эксперимента. Важно отметить, что вещественное содержание горных пород характеризует скорее качественное, а не количественное представление о физико-механических свойствах. Без измерения физико-механических свойств массива горных пород в месте проведения эксперимента результаты измерения напряжений методом гидроразрыва будут носить весьма приближенный характер.

Определение физико-механических свойств горных пород

Образцы горных пород

Исследованию поддавались пять проб горных пород. Из поставленных проб горных пород были выбурены лабораторные образцы для испытаний физико-механических свойств. Для каждой пробы проводились двенадцать испытаний (шесть испытаний в естественном и шесть – в водонасыщенном состояниях).

Технология отбора проб обеспечивала максимальное сохранение представительности руды или породы в пробе по составу, строению и состоянию. В качестве проб использовались монолиты, пригодные для выбуривания из них керна. Число и размеры проб определялись в зависимости от количества литологических разностей, вида намечаемых испытаний и числа изготовляемых из проб образцов, подвергаемых испытаниям (с учетом повторности испытаний для определения коэффициентов вариации показателей, характеризующих неоднородность породы).

Для испытаний образцы руд и вмещающих пород брались с такими параметрами: диаметр – не менее 30 ±1 мм, высота – 60 ±2 мм, количество каждого типа образцов – не менее 3 штук.

Минимальные размеры рудных кусков, пригодных в качестве пробы для механических испытаний, применялись для монолитов не менее 200×200×150 мм, не считая мест, нарушенных при отделении от массива. При отборе керновых образцов на Жиландинском месторождении данные условия были соблюдены.

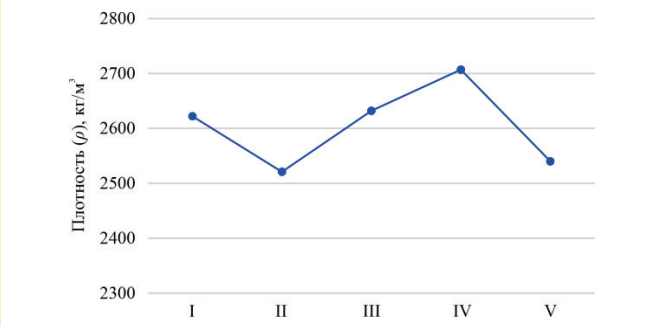
Приборы для выполнения экспериментов в шахтных условиях

В комплект оборудования для выполнения экспериментальных работ в шахтных условиях входят: измерительно-вычислительный комплекс «Гидроразрыв», скважинный видеозонд для обследования измерительных скважин, а также устройства для нарезания кольцевых и продольных щелей на стенках скважины. В состав измерительно-вычислительного комплекса «Гидроразрыв» входят: двухпакерный зонд, ручной насос, манометр, напорные трубопроводы, коммутирующее оборудование, а также система регистрации давления, состоящая из пресс-метра с датчиком давления, персональный компьютер, соединительные кабели и зарядное устройство. Этот состав оборудования является переносным и предназначен для применения в подземных условиях. В подземных условиях прессметр по беспроводной связи передает экспериментальные данные в персональный компьютер, в котором они сохраняются и автоматически обрабатываются.

Результаты и обсуждения

В результате проведения серии экспериментальных исследований ниже представлены результаты лабораторных испытаний, направленных на определение деформационно-прочностных характеристик образцов горных пород. Основные результаты представлены в виде графиков (рис. 1-7), а их анализ приведен в табл. 2-7.

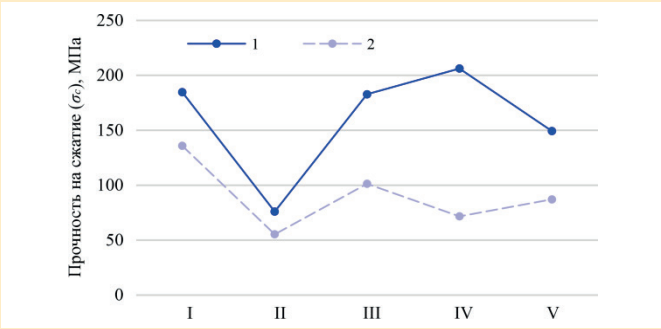
На рисунке 1 представлены результаты определения плотности проб при естественной влажности ***(ρ).*** Значения плотности проб колеблются в пределах от 2521 кг/м³ до 2707 кг/м³.



по горизонтали: исследуемый параметр

Рис. 1. Усредненные плотности проб при естественной влажности *(ρ)*, кг/м³.
Сурет 1. Табиғи ылғалдылықтағы сынамалардың орташа тығыздығы *(ρ)*, кг / м³.
Figure 1. Average sample densities at natural humidity *(ρ)*, kg/m³.

На рис. 2 представлены усредненные пределы прочности проб на одноосное сжатие (σ_c) в естественном и водонасыщенном состоянии.



по горизонтали: исследуемый параметр

Рис. 2. Усредненные пределы прочности проб на одноосное сжатие *(σ_c)*, МПа: *1 – в естественном состоянии; 2 – в водонасыщенном состоянии.*
Сурет 2. Бір осьті қысуға арналған сынамалар беріктігінің орташа шектері *(σ_c)*, МПа: *1 – табиғи жағдайда; 2 – суға қаныққан күйде.*
Figure 2. Average strength limits of samples for uniaxial compression *(σ_c)*, MPa: *1 – in the natural state; 2 – in the water-saturated state.*

Для анализа предоставленных данных сравним средний предел прочности проб в естественном состоянии на одноосное сжатие (σ_c^e) и в водонасыщенном состоянии (σ_c^w) для каждой из проб (табл. 1).

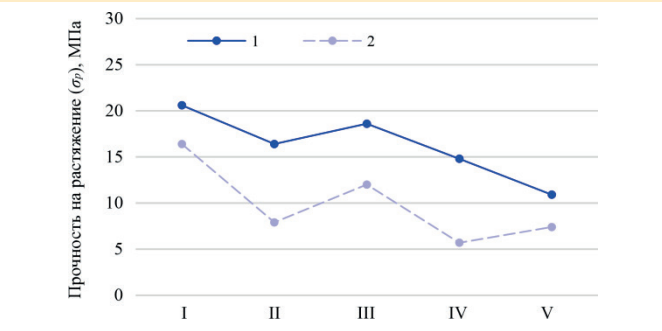
Во всех пробах наблюдается снижение предела прочности на одноосное сжатие при водонасыщении. Это указывает на то, что насыщение водой существенно ослабляет породы. Проба IV демонстрирует самое значительное снижение предела прочности: с 206.3 до 71.7 МПа, что составляет 134.6 МПа или 65.2%. Проба I имеет самое небольшое снижение в абсолютных значениях: с 184.7 до 135.9 МПа, что составляет 48.8 МПа или 26.4%. Таким образом наблюдается значительное снижение предела прочности при водонасыщении во всех представленных пробах. Наиболее уязвимой к водонасыщению является проба IV, которая теряет более 65% своей прочности. Наименее уязвима к водонасыщению проба I, теряющая около 26% прочности.

На рис. 3 представлены усредненные пределы прочности проб на одноосное растяжение (σ_p) в естественном и водонасыщенном состоянии.

Для анализа предоставленных данных сравним средний предел прочности проб в естественном состоянии на одноосное растяжение (σ_p^e) и в водонасыщенном состоянии (σ_p^w) для каждой из проб (табл. 2).

Подобно одноосному сжатию, все пробы демонстрируют снижение предела прочности на растяжение при водонасыщении. Проба IV демонстрирует самое значительное снижение предела прочности: с 14.8 до 5.7 МПа, что составляет 9.1 или 61.49%. Проба V имеет самое небольшое снижение в абсолютных значениях: с 10.9 до 7.4 МПа, что составляет 3.5 МПа или 32.11%. Соответственно во всех пробах наблюдается значительное снижение предела прочности на растяжение при водонасыщении. Наибольшее снижение, как в абсолютных, так и в процентных значениях, наблюдается у пробы IV, что подтверждает ее высокую уязвимость к водонасыщению. Наименьшее снижение у пробы I, что говорит о ее относительной устойчивости к воздействию воды.

На рис. 4 представлены усредненные модули деформации проб (*E*) в естественном и водонасыщенном состоянии.

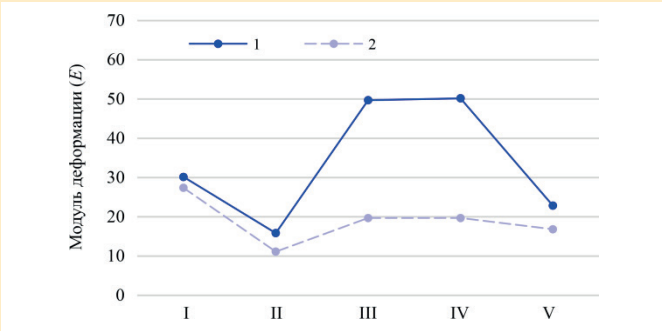


по горизонтали: исследуемый параметр

Рис. 3. Усредненные пределы прочности проб на одноосное растяжение (σ_p), МПа: *1 – в естественном состоянии; 2 – в водонасыщенном состоянии.*

Сурет 3. Бір осьтік созылу сынамаларының орташа беріктік шектері (σ_p), МПа: *1 – табиғи жағдайда; 2 – суға қаныққан күйде.*

Figure 3. Average strength limits of samples for uniaxial tension (σ_p), MPa: *1 – in the natural state; 2 – in the water-saturated state.*



по горизонтали: исследуемый параметр

Рис. 4. Усредненные модули деформации проб (*E*), ГПа: *1 – в естественном состоянии; 2 – в водонасыщенном состоянии.*

Сурет 4. Сынамалардың деформациясының орташа модульдері (*E*), ГПа: *1 – табиғи жағдайда; 2 – суға қаныққан күйде.*

Figure 4. Averaged modulus of deformation of samples (*E*), GPa: *1 – in the natural state; 2 – in the water-saturated state.*

Таблица 1

Сравнение данных пределов прочности проб на одноосное сжатие (σ_c)

Кесте 1

Бір осьті қысу сынамасының беріктік шектерінің деректерін салыстыру (σ_c)

Table 1

Comparison of data on the strength limits of uniaxial compression samples (σ_c)

Исследуемый параметр	I	II	III	IV	V
Средний предел прочности проб в естественном состоянии на одноосное сжатие (σ_c^e), МПа	184.7	76.0	182.8	206.3	149.3
Средний предел прочности проб в водонасыщенном состоянии на одноосное сжатие (σ_c^w), МПа	135.9	55.3	101.3	71.7	87.1
Разница (*Δ*), МПа	48.8	20.7	81.5	134.6	62.2
Процентное изменение (*Δ*), %	-26.4	-27.2	-44.6	-65.2	-41.6

Таблица 2

Сравнение данных пределов прочности проб на растяжение (σ_p)

Кесте 2

Созылу сынамасының беріктік шектерінің деректерін салыстыру (σ_p)

Table 2

Comparison of data on tensile strength of samples (σ_p)

Исследуемый параметр	I	II	III	IV	V
Средний предел прочности проб в естественном состоянии на одноосное растяжение (σ_p^e), МПа	20.6	16.4	18.6	14.8	10.9
Средний предел прочности проб в водонасыщенном состоянии на одноосное растяжение (σ_p^w), МПа	16.4	7.9	12.0	5.7	7.4
Разница (Δ), МПа	4.2	8.5	6.6	9.1	3.5
Процентное изменение (Δ), %	-20.3	-51.8	-35.4	-61.4	-32.1

Таблица 3

Сравнение данных модуля деформации проб (E)

Кесте 3

Үлгі деформациясы Модулінің деректерін салыстыру (E)

Table 3

Comparison of sample deformation modulus data (E)

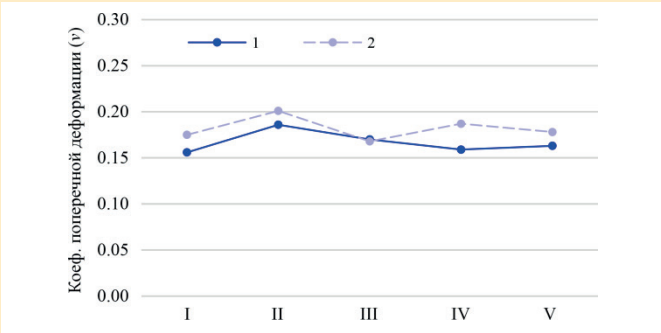
Исследуемый параметр	I	II	III	IV	V
Средний модуль деформации проб в естественном состоянии (E^e), ГПа	30.1	15.8	49.7	50.1	22.8
Средний модуль деформации проб в водонасыщенном состоянии (E^w), ГПа	27.3	11.1	19.6	19.6	16.8
Разница (Δ), ГПа	2.7	4.7	30.0	30.4	6.0
Процентное изменение (Δ), %	-9.1	-29.7	-60.3	-60.7	-26.2

Для анализа предоставленных данных сравним усредненные модули деформации проб в естественном (E^e) и в водонасыщенном (E^w) состоянии для каждой из проб (табл. 3).

Все пробы демонстрируют снижение модуля деформации при водонасыщении. Пробы III и IV показывают наиболее значительное снижение модуля деформации: у пробы III – с 49.7 до 19.6 ГПа, что составляет 30.0 ГПа или 60.37%, у пробы IV – с 50.1 до 19.6 ГПа, что составляет 30.4 или 60.7%. Проба I имеет самое небольшое снижение в абсолютных значениях: с 30.1 до 27.3 ГПа, что составляет 2.7 ГПа или 9.1%. Следовательно, во всех пробах наблюдается снижение модуля деформации при водонасыщении, что свидетельствует об уменьшении жесткости материала под воздействием воды. Наибольшее снижение наблюдается у проб III и IV, которые теряют более 60% своей жесткости. Наименьшее снижение у пробы I, что указывает на ее относительную устойчивость к воздействию воды.

На рис. 5 представлены усредненные коэффициенты поперечной деформации проб (ν) в естественном и водонасыщенном состоянии.

Для анализа предоставленных данных сравним усредненные коэффициенты поперечной деформации проб в естественном (ν^e) и в водонасыщенном (ν^w) состоянии для каждой из проб (табл. 4).



по горизонтали: исследуемый параметр

Рис. 5. Усредненные коэффициенты поперечной деформации проб в естественном состоянии *(ν)*: *1 – в естественном состоянии; 2 – в водонасыщенном состоянии.*

Сурет 5. Табиғи жағдайда алынған үлгілердің орташа көлденең деформация коэффициенттері *(ν)*: *1 – табиғи жағдайда; 2 – суға қаныққан жағдайда.*

Figure 5. The average coefficients of transverse deformation of samples in the natural state *(ν)*: *1 – in the natural state; 2 – in the water-saturated state.*

В большинстве проб коэффициент поперечной деформации увеличивается при водонасыщении, за исключением пробы III, где наблюдается незначительное снижение.

Таблица 4

Сравнение данных коэффициентов поперечной деформации проб (ν)

Кесте 4

Сынаманың көлденең деформация коэффициенттерінің деректерін салыстыру (ν)

Table 4

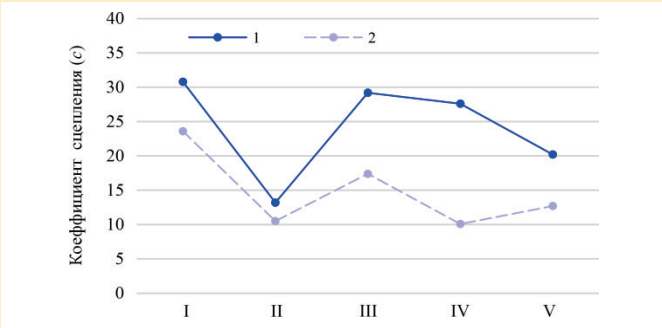
Comparison of these coefficients of transverse deformation of samples (ν)

Исследуемый параметр	I	II	III	IV	V
Средний коэффициент поперечной деформации проб в естественном состоянии (ν^e)	0.156	0.186	0.170	0.159	0.163
Средний коэффициент поперечной деформации проб в водонасыщенном состоянии (ν^w)	0.175	0.201	0.166	0.187	0.178
Разница (Δ)	0.019	0.015	-0.002	0.028	0.015
Процентное изменение (Δ), %	12.18	8.06	-1.18	17.61	9.20

Проба IV демонстрирует наибольшее увеличение коэффициента поперечной деформации: с 0.159 до 0.187, что составляет 0.028 или 17.61%. Проба IV показывает наибольшее увеличение коэффициента поперечной деформации: с 0.159 до 0.187, что составляет 0.028 или 17.61%. Во всех пробах, за исключением пробы III, наблюдается увеличение коэффициента поперечной деформации при водонасыщении, что указывает на повышение гибкости материала в поперечном направлении под воздействием воды. Наибольшее увеличение коэффициента поперечной деформации наблюдается у пробы IV, что свидетельствует о ее высокой чувствительности к водонасыщению.

На рис. 6 представлены усредненные коэффициенты сцепления проб ***(c)*** в естественном и водонасыщенном состоянии.

Для анализа предоставленных данных сравним усредненные коэффициенты сцепления проб в естественном (c^e) и в водонасыщенном (c^w) состоянии для каждой из проб (табл. 5).



по горизонтали: исследуемый параметр

Рис. 6. Усредненные коэффициенты сцепления проб *(c)*: *1 – в естественном состоянии; 2 – в водонасыщенном состоянии.*

Сурет 6. Үлгілердің орташа ілінісу коэффициенттері *(c): 1 – табиғи жағдайда; 2 – суға қаныққан жағдайда.*

Figure 6. The average coefficients of adhesion of samples *(c): 1 – in the natural state; 2 – in the water-saturated state.*

Таблица 5

Сравнение данных коэффициентов сцепления проб (c)

Кесте 5

Сынамалардың ілінісу коэффициенттерінің деректерін салыстыру (c)

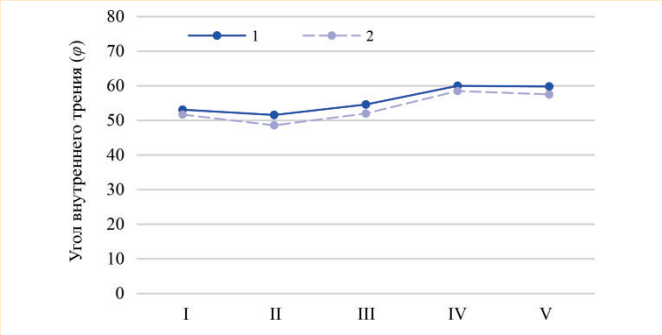
Table 5

Comparison of these sample adhesion coefficients (c)

Исследуемый параметр	I	II	III	IV	V
Средний коэффициент сцепления проб в естественном состоянии (c^e)	30.8	13.2	29.2	27.6	20.2
Средний коэффициент сцепления проб в водонасыщенном состоянии (c^w)	23.6	10.5	17.4	10.1	12.7
Разница (Δ)	7.2	2.7	11.8	17.5	7.5
Процентное изменение (Δ), %	-23.3	-20.45	-40.41	-63.41	-37.13

Во всех пробах наблюдается снижение коэффициента сцепления при водонасыщении. Проба IV демонстрирует самое значительное снижение коэффициента сцепления: с 27.6 до 10.1 МПа, что составляет 17.5 МПа или 63.41%. Проба II имеет самое небольшое снижение в абсолютных значениях: с 13.2 до 10.5 МПа, что составляет 2.7 или 20.45%. Таким образом во всех пробах наблюдается значительное снижение коэффициента сцепления при водонасыщении. Наибольшее снижение, как в абсолютных, так и в процентных значениях, наблюдается у пробы IV, что подтверждает ее высокую уязвимость к водонасыщению. Наименьшее снижение у пробы II, что говорит о ее относительной устойчивости к воздействию воды.

На рис. 7 представлены усредненные углы внутреннего трения ***(φ)*** в естественном и водонасыщенном состоянии.



по горизонтали: исследуемый параметр

Рис. 7. Усредненные углы внутреннего трения проб *(φ): 1 – в естественном состоянии; 2 – в водонасыщенном состоянии.*

Сурет 7. Сынамалардың ішкі үйкелісінің орташа бұрыштары *(φ): 1 – табиғи күйде; 2 – суға қаныққан күйде.*

Figure 7. The average angles of internal friction of the samples *(φ): 1 – in the natural state; 2 – in the water-saturated state.*

Для анализа предоставленных данных сравним усредненные углы внутреннего трения проб в естественном ***(φ^e)*** и в водонасыщенном ***(φ^w)*** состоянии для каждой из проб (табл. 6).

В большинстве проб средний угол внутреннего трения снижается при водонасыщении. Пробы II и IV показывают наибольшее снижение угла внутреннего трения: у пробы II с 51.6 до 48.6°, у пробы IV с 60.0 до 58.5°. Проба I показывает наименьшее снижение угла внутреннего трения: с 53.1 до 51.7°. Следовательно, средний угол внутреннего трения снижается в большинстве проб при водонасыщении, что указывает на уменьшение сцепления между частицами материала. Наибольшее снижение угла внутреннего трения наблюдается у пробы II и IV, что свидетельствует о более сильном размывании материала водой и ухудшении его способности сопротивляться сдвиговым напряжениям.

По результатам сокращенного геомеханического документирования керна геологоразведочных работ на месторождении Итауз, была проведена обработка данных по нарушенности массива трещинами. Породы месторождения изменяются от среднетрещиноватых до массивных, со средним RQD около 70-80% (рис. 8).

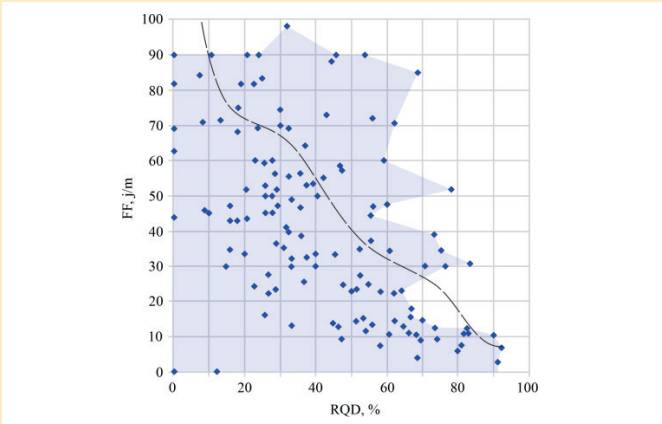


Рис. 8. Зависимость RQD от FF по данным всех скважин по месторождению Итауз.

Сурет 8. Итауз кен орны бойынша барлық ұңғымалардың деректері бойынша QD-нің FF-ге тәуелділігі.

Figure 8. Dependence of QD on FF according to data from all wells in the Itauz field.

Выводы

Таким образом важно акцентировать внимание на важности учета водонасыщения при оценке природного поля напряженного состояния массива. Такие данные позволяют более точно предсказывать поведение массива горных пород в различных условиях и принимать обоснованные решения при проектировании и эксплуатации горных выработок.

Установлено, что для массива скальных пород характерна неравномерная трещиноватость. Она имеет тектоническое происхождение и для различных литологических разновидностей в среднем составляет от 10-15 до 15-25 трещин на метр.

На двух замерных станциях проведено в общей сложности 35 тестов гидроразрыва, которые выявили параметры

Таблица 6

Сравнение данных углов внутреннего трения проб (φ)

Кесте 6

Сынамалардың ішкі үйкеліс бұрыштарының деректерін салыстыру (φ)

Table 6

Comparison of the data of the internal friction angles of the samples (φ)

Исследуемый параметр	I	II	III	IV	V
Средний угол внутреннего трения проб в естественном состоянии ***(φ^e)***, град	53.1	51.6	54.6	60.0	59.8
Средний угол внутреннего трения проб в водонасыщенном состоянии ***(φ^w)***, град	51.7	48.6	52.0	58.5	57.5
Разница ***(Δ)***, град	1.4	3.0	2.6	1.5	2.3
Процентное изменение ***(Δ)***, %	-2.6	-6.1	-5.0	-2,5	-3.8

напряжений в массиве пород. Для замерной станции №1 на глубине 123.5 м литостатическое давление составляет около 9.0 МПа, при этом минимальное горизонтальное напряжение варьируется от 10.55 до 11.68 МПа, максимальное горизонтальное – от 18.36 до 20.76 МПа, а вертикальное напряжение равно 9.12 МПа. Для замерной станции №2 на глубине 42 м литостатическое давление составляет около 8.5 МПа, минимальное горизонтальное напряжение варьируется от 11.63 до 13.5 МПа, максимальное горизонтальное – от 15.0 до 17.2 МПа, а вертикальное напряжение составляет от 8.08 до 9.0 МПа. Максимальное горизонтальное напряжение на обеих станциях ориентировано по азимуту 70°±10. В целом, данные указывают на наличие тектонического напряжения в массиве, которое связано с формой структурных складок и тектонической трещиноватостью.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Матаев А.К. Исследование геомеханической обстановки массива горных пород в зоне влияния очистных работ на шахте имени 10-летия Независимости Казахстана. / А.К. Матаев, А.С. Кайназарова, И.Д. Арыстан, Е.А. Абеуов, А.С. Кайназаров, М.Б. Байзбаев, В.Ф. Демин, М.Г. Султанов. // Разработка месторождений полезных ископаемых. 2021. Т. 15. Вып. 1. С. 1-10 (на английском языке)*
2. *Султанов М.Г. Выбор параметров крепи и технологии ее возведения на месторождении «Восход». / М.Г. Султанов, А.К. Матаев, Д.С. Кауметова, Р.М. Абдрашев, А.С. Куантай, Б.М. Орынбаев. // Уголь. 2020. №10. С. 17-22 (на русском языке)*
3. *Сладковский А. Определение рациональной вместимости бункера для циклической и непрерывной технологии в карьерах. / А. Сладковский, А. Утегенова, К. Елемесов, И. Столповских. // Научный вестник Национального Горного университета. 2017. №6. С. 29-33 (на английском языке)*
4. *Ванг К. Новое трехосное испытательное устройство с высокотемпературным модулем для определения термомеханических свойств твердых пород. / К. Ванг, З. Лю, Х. Чжоу, К. Ванг, У. Шен // Европейский журнал охраны окружающей среды и гражданского строительства. 2023. №27 (4). С.1697-1714 (на английском языке)*
5. *Griffiths D.V. Анализ устойчивости склона с помощью конечных элементов. / Griffiths D.V., Lane P.A. // Геотехника. 1999. Вып.49. №3. С. 387-403 (на английском языке)*
6. *Hoek E., Carranza-Torres C., Corkum B. Критерий Хука-Брауна – издание 2002 года. // В материалах 5-го Североамериканского симпозиума по механике горных пород и 17-й Ассоциации проходчиков Канады: NARMS-TAC 2002, Торонто, Канада, под ред. Р.Э. Хамма и др. 2002. Вып. 1. – С. 267-273 (на английском языке)*
7. *Duncan J.M. Современное состояние: предельное равновесие и конечно-элементный анализ склонов. // Журнал геотехнической инженерии. 1996. Вып. 122. №7. С. 577-596 (на английском языке)*
8. *Брейди Х.Г., Браун Э.Т. Механика горных пород: для подземных горных работ: Нью-Йорк: Springer Science & Business Media, 1985, С. 628 с (на английском языке)*
9. *Stephenson R.M., Sandy M.P. Оптимизация проектирования очистных забоев и наземной поддержки – тематическое исследование. // Наземная поддержка 2013: продолжение 7-го междунар. симпозиума по наземной поддержке в горнодобывающей промышленности и подземном строительстве, Перт, 2013. – С. 387-400 (на английском языке)*
10. *Nickson S.D. Руководство по прокладке кабелей для подземных горных работ в твердых породах, Ванкувер, Университет Британской Колумбии, 1992. – С. 223 (на английском языке)*

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. *Матаев А.К. Қазақстан Тәуелсіздігінің 10 жылдығы атындағы шахтадағы тазарту жұмыстарының әсер ету аймағындағы тау алабындағы геомеханикалық жағдайды зерттеу. / А.К. Матаев, А.С. Қайназарова, И.Д. Арыстан, Е. Абеуов, А.С. Қайназаров, М.Б. Байзбаев, В.Ф. Демин, М.Г. Сұлтанов/ // Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру. 2021. Т. 15. Шығ. 1. Б. 1-10 (ағылшын тілінде)*
2. *Сұлтанов М.Г. «Восход» көмір кен орнында бекіту параметрлерін және оны салу технологиясын таңдау. / М.Г. Сұлтанов, А.К. Матаев, Д.С. Кауметова, Р.М. Абдрашев, А.С. Қуантай, Б.М. Орынбаев. // Көмір. 2020. №10. Б. 17-22 (орыс тілінде)*
3. *Сладковский А. Карьерлердегі циклдік және үздіксіз технология үшін бункердің ұтымды сыйымдылығын анықтау. / А. Сладковский, А. Утегенова, К. Елемесов, И. Столповских. // Ұлттық тау-кен университетінің ғылыми хабаршысы. 2017. №6. Б. 29-33 (ағылшын тілінде)*
4. *Ван К. Қатты жыныстардың термиялық механикалық қасиеттерін сипаттауға арналған жоғары температуралы модулі бар жаңа шынайы триаксиалды сынақ құрылғысы. / К. Ван,*

3. Лю, Х. Чжоу, К. Ван, В. Шен. // Европалық экологиялық және азаматтық құрылыс журналы. 2023. №27 (4). Б. 1697-1714 (ағылшын тілінде)
5. Griffiths D.V. Соңғы элементтердің көмегімен көлбеу тұрақтылықты талдау. / Griffiths D.V., Lane P.A. // Геотехника. 1999. Шығ. 49. №3. Б. 387-403 (ағылшын тілінде)
6. Hoek E., Carranza-Torres C., Corkum B. Хук-Браун критерийі – 2002 жылғы басылым. // 5-ші Солтүстік Америка тау жыныстары механикасы симпозиумының және Канаданың 17-ші өткізгіштер қауымдастығының материалдарында: Narms-tac 2002, Торонто, Канада, өңдеген Р.Э. Хаммах және басқалар. 2002. Шығ. 1. – Б. 267-273 (ағылшын тілінде)
7. Duncan J.M. Қазіргі жағдай: шекті тепе-теңдік және беткейлердің ақырлы элементтік талдауы. // Геотехникалық инженерия журналы. 1996. Шығ. 122. № 7. Б. 577-596 (ағылшын тілінде)
8. Брейди Х.Г., Браун Э.Т. Тау жыныстарының механикасы: жерасты тау-кен жұмыстары үшін: Нью-Йорк: Springer Science & Business Media, 1985, Б. 628 (ағылшын тілінде)
9. Stephenson R.M., Sandy M.P. Тазарту кенжарының дизайны мен жердегі қолдауды оңтайландыру – кейс-стади. // Жердегі қолдау 2013: 7-ші интернационалдан. симпозиумдар. тау-кен өнеркәсібіндегі және жерасты құрылысындағы жер үсті тірегі туралы, Перт, 2013. – Б. 387-400 (ағылшын тілінде)
10. Nikson S.D. Қатты тау жыныстары шахталарында жерасты жұмыстарына арналған кабельдерді бекіту бойынша нұсқаулық, Ванкувер: Британдық Колумбия университеті, 1992. – Б. 223 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Matayev A.K. Research into rock mass geomechanical situation in the zone of stope operations influence at the 10th Anniversary of Kazakhstan's Independence mine. / Matayev A.K., Kainazarova A.S., Arystan I.D., Abeuov Ye., Kainazarov A.S., Baizbayev M.B., Demin V.F., Sultanov M.G. // Mining of Mineral Deposists. 2021. Vol. 15. Issue 1. P. 1-10 (in English)
2. Sultanov M.G. Vybor parametrov krepi i tekhnologii ee vozvedeniya na mestorozhdenii «Voskhod». / M.G. Sultanov, A.K. Mataev, D.S. Kaumetova, R.M. Abdrashev, A.S. Kuantai, B.M. Orynbaev. // Ugol'. 2020. №10. S. 17-22 [Sultanov M.G. The choice of the parameters of the support and the technology of its construction at the Voskhod deposit. / Sultanov M.G., Mataev A.K., Kaumetova D.S., Abdrashev R.M., Kuantai A.S., Orynbaev B.M. // Coal. 2020. №10. P. 17-22] (in Russian)
3. Sladkowski A. Determining of the rational capacity of a bunker for cyclic-andcontinuous technology in quarries. / Sladkowski A., Utegenova A., Elemesov K., Stolpovskikh I. // Scientific Bulletin of the National Mining University. 2017. №6. P. 29-33 (in English)
4. Wang C. A novel true triaxial test device with a high-temperature module for thermalmechanical property characterization of hard rocks. / Wang C., Liu Z., Zhou H., Wang K., Shen W. // European Journal of Environmental and Civil Engineering. 2023. №27 (4). P. 1697-1714 (in English)
5. Griffiths D.V. Slope stability analysis by finite elements. / Griffiths D.V., Lane P.A. // Geotechnique. 1999. Vol. 49. №3. P. 387-403 (in English)
6. Hoek E., Carranza-Torres C., Corkum B. Hoek-Brown criterion – 2002 edition. // In Proceedings of the 5th North American Rock Mechanics Symposium and the 17th Tunnelling Association of Canada: NARMS-TAC. 2002, Toronto, Canada eds. R.E. Hammah et al. 2002. Vol. 1. – P. 267-273 (in English)
7. Duncan J.M. State of the art: limit equilibrium and finite-element analysis of slopes. // Journal of Geotechnical Engineering. 1996. Vol. 122. №7. P. 577-596 (in English)
8. Brady H.G., Brown E.T. Mechanics of rocks: For underground mining: New York: Springer Science & Business Media, 1985, P. 628 (in English)
9. Stephenson R.M., Sandy M.P. Optimising stope design and ground support – a case study. // Ground Support 2013: proceed of the 7th Internat. sympos. on Ground Support in Mining and Underground Construction, Perth, 2013. – P. 387-400 (in English)
10. Nickson S.D. Cable support guidelines for underground hard rock mine operations, Vancouver, University of British Columbia, 1992. – P. 223 (in English)

Сведения об авторах:
Арыстан И.Д., к.т.н., профессор кафедры «Разработка месторождения полезных ископаемых», НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), *arystan39@mail.ru;* https://orcid.org/ 0000-0002-1434-8644
Матаев А.К., Ph.D, старший преподаватель кафедры «Разработка месторождения полезных ископаемых», НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), *a.mataev@kstu.kz;* https://orcid.org/0000-0001-9033-8002

Хамзе А.М., магистр технических наук, преподаватель кафедры «Разработка месторождения полезных ископаемых», НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), *a.hamze@kstu.kz;* https://orcid.org/0009-0006-7170-8438
Ибырханов Т.С., докторант кафедры «Горное дело» НАО «Казахский национальный исследовательский технический университет имени Каныша Сатпаева» (г. Алматы, Казахстан), *ibyrkhanov.t@stud.satbayev.university;* https://orcid.org/0009-0001-6344-8270

Авторлар туралы мәліметтер:
Арыстан И.Д., т.ғ.к., «Пайдалы қазбалар кенорындарын игеру» кафедрасының профессоры, КеАҚ «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» (Қарағанды қ., Қазақстан)
Матаев А.Қ., Ph.D, «Пайдалы қазбалар кенорындарын игеру» кафедрасының аға оқытушысы, КеАҚ «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» (Қарағанды қ., Қазақстан)
Хамзе А.М., техника ғылымдарының магистрі, «Пайдалы қазбалар кенорындарын игеру» кафедрасының оқытушысы, КеАҚ «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» (Қарағанды қ., Қазақстан)
Ибырханов Т.С., «Тау-кен ісі» кафедрасының докторанты, «Қаныш Сәтпаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті» (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:
Arystan I.D., candidate of Technical Sciences, Professor of the department «Development of mineral deposits», NAO «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)
Matayev A.K., Ph.D, senior lecturer of the Department «Development of mineral deposits», NAO «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)
Khamze A.M., Master of Technical Sciences, lecturer of the department «Development of mineral deposits», NAO «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)
Ibyrkhanov T.S., doctoral student of the Mining Department of the Kazakh National Research Technical University named after Kanysh Satpayev (Almaty, Kazakhstan)

МЕЖДУНАРОДНАЯ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ВЫСТАВКА
СПТОКРАНЫ
СПЕЦТЕХНИКА И ПОДЪЕМНО-ТРАНСПОРТНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

18-20 марта 2025 г.
УВК Тимирязев центр

ЭКСПОДИЗАЙН
ВЫСТАВОЧНАЯ КОМПАНИЯ