

Код МРНТИ 52:31:47:52.13.05

А.Қ. Матаев, *Ж.М. Асанова, А.М. Хамзе, А.А. Рахимберлина
 НАО «Қарағандинский технический университет имени Абылқаса Сағинова»
 (г. Қарағанда, Қазақстан)

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОРОД РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С ОЦЕНКОЙ ЕСТЕСТВЕННОГО 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. Настоящее исследование посвящено оценке влияния водонасыщения на механические свойства горных пород Жиландинской группы месторождений и определению природного поля напряженного состояния массива. Применялась комплексная методика, включающая гидроразрыв пород в скважинах. Выявлено значительное снижение прочностных характеристик при водонасыщении.

Ключевые слова: поле напряжений, гидроразрыв, прочностные характеристики, Жыландинская группа, месторождения, руда.

Массивтің табиғи кернеулі күйін бағалай отырып кен кен орындарының тау жыныстарының физикалық механикалық қасиеттерін 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. Бұл зерттеу Жиланды тобы кен орындарының тау жыныстарының табиғи кернеу өрісіне әсерін және олардың суға қанығуының механикалық қасиеттерге әсерін зерттеуге арналған. Гидрожарылыс әдісі арқылы табиғи кернеу өрісін анықтау үшін кешенді әдіс қолданылды. Нәтижелер тау жыныстарының суға қанығуы кезінде беріктік сипаттамаларының едәуір төмендейтінін көрсетті.

Түйінді сөздер: табиғи кернеу өрісі, гидрожарылыс, беріктік сипаттамалары, Жиланды тобы, кен орындары, кен.

Investigation of the physical and mechanical properties of rocks of ore deposits with an assessment of the natural stress 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 Zhylandinskaya group deposit, as well as an assessment of the natural stress field of the massif to solve geomechanical problems in optimizing mining operations. This study focuses on assessing the impact of water saturation on the mechanical properties of rocks from the Zhylandy group deposits and determining the natural stress field of the rock mass. A comprehensive method including borehole hydraulic fracturing was applied. The results showed a significant reduction in strength characteristics during water saturation.

Key words: stress field, hydraulic fracturing, strength characteristics, Zhylandinskaya group, deposits, ore.

Введение

В глубинах Казахстана обнаружено около 100 типов полезных ископаемых, что связано с благоприятным географическим положением страны, включающим разнообразные геологические структуры и различные типы горных пород, сформированные на протяжении длительного времени – от древних архейских формаций до молодых четвертичных отложений [1-2].

С развитием горнодобывающей промышленности и постоянным увеличением глубины добычи возникают новые вызовы. Напряженно-деформированное состояние породного массива под воздействием горнодобывающих работ может существенно измениться, что негативно отразится на устойчивости подземных выработок. Перераспределение действующих в массиве напряжений может негативно влиять на устойчивость подземных выработок, что влечет капитальные затраты на их крепление. Сложность горно-геологических условий также существенно влияет на устойчивость горных выработок и предъявляет достаточно жесткие требования к проектированию подготовительных и очистных работ. В таких условиях возрастает значимость проблемы предотвращения негативных проявлений горного давления и обеспечения устойчивости горных выработок, для решения которой необходима информация о естественном поле напряжений [3]. Поэтому оценка напряженного состояния пород в массиве является актуальной задачей.

Проявление герцинского тектогенеза привело к образованию здесь структур II и более высокого порядков (ку-

полов, мульд), осложненных продольными зонами сжатия типа флексур и дизъюнктивными нарушениями. Жиландинская группа месторождений расположена в 30-35 км к северу от рудников Жезказгана и включает в себя 5 месторождений (с запада на восток): Итауз, Западная Сары-Оба, Восточная Сары-Оба, Кипшакпай и Северный Карашошак. В целом месторождения характеризуются сложным геологическим строением, особенно это относится к крупным: Восточная Сыры-Оба, Западная Сары-Оба, Итауз. Данные районы являются зонами наибольших напряжений, которые и привели к образованию не только складчатых, но и крупных разрывных нарушений.

Рудные залежи характеризуются весьма изменчивой мощностью и неравномерным распределением полезных компонентов. В плане рудные тела имеют плащеобразную, округло-вытянутую, ленточную форму, часто характеризуются довольно сложными контурами. На флангах или во внутренней части они разбиваются пустыми породами или забалансовыми рудами [4-6].

Методика

Выбор участков для контроля действующих в массиве напряжений, а также мест заложения замерных станций проводится на возможно максимальном удалении от зоны очистных работ [7]. Конструкция замерной станции предусматривает проведение не менее трех скважин диаметром 76 мм глубиной до 12 м. Далее осуществляется обследование поверхности стенок скважины. Предпочтительно

в торцевой части скважины устанавливается измерительный зонд и выполняется тест гидроразрыва. Фиксируется критическое давление флюида в момент гидроразрыва и давление его стабилизации после прекращения подачи флюида. Давление стабилизации регистрируется в течение 5 мин. Давление нагнетания сбрасывается до нулевого значения, процесс нагружения стенок скважины повторяется 2-3 раза с регистрацией в каждом случае. Перестановка измерительного зонда осуществляется в направлении к устью скважины с размещением его в двух-трех местах по длине скважины с шагом 1.0-1.5 м. В каждом месте установки выполняются тесты гидроразрыва. По параметрам гидравлического теста определяют значение меньшей и рассчитывают значение большей горизонтальной компонент действующих напряжений. После этого измерительный зонд извлекают из скважины.

Определение физико-механических свойств горных пород

В таблице 1 приводятся: номер пробы, наименование породы, место отбора, номера лабораторных образцов, выбуренные из этой пробы и соответствующие им виды испытаний, проведенные на данных образцах в естественном и водонасыщенном состояниях.

При выборе места отбора проб стремились к максимальной типичности отбираемых проб, т.е. к их соответ-

ствию по структуре и свойствам породам в местах, для которых решаются поставленные задачи. В каждой подготовительной выработке и/или в очистном забое пробы отбирались не менее чем в двух местах.

Пробы помещались в герметичные емкости или в пакеты из воздухонепроницаемых материалов. При использовании полиэтиленовых пакетов каждая проба упаковывалась в двойной пакет. Каждый полиэтиленовый пакет герметизировался. Перед герметизацией пакета воздух из него удалялся. В мешок с пробой вкладывался лист бумаги с информацией о дате и времени отбора пробы, месте отбора, природного типа руды, из которого эта проба была отобрана.

Испытания деформационно-прочностных свойств образцов руд и вмещающих пород Жиландинского месторождения проведены на сертифицированном оборудовании.

Пресс обеспечивает режимы мягкого (программа нагружения задается по нагрузкам, для выявления склонности пород к хрупкому разрушению и удароопасности) и жесткого (программа нагружения задается по перемещению захвата) нагружения с автоматической записью в память компьютера результатов измерений. В процессе экспериментов проводится непрерывное измерение и запись осевой нагрузки, продольных и поперечных деформаций в средней части образца (база 25 мм) с применением тензо-

Таблица 1
Кесте 1
Table 1

Наименование проб, место отбора, виды испытаний и соответствующие номера образцов
Сынамалардың атауы, іріктеу орны, сынақ түрлері және үлгілердің тиісті нөмірлері
Name of samples, place of sampling, types of tests and corresponding sample numbers

№ пробы	Наименование породы	Место отбора	Номера образцов, виды испытаний, состояние			
			Сжатие		Растяжение	
			естественное	водонасыщенное	естественное	водонасыщенное
I	Песчаник серый рудный	Руда (Восточная Сары-Оба, П-6, залежь I-II, гор. 300 м, МКЦ)	1-1-1n, 1-1-2n, 1-1-3n, 1-1-4n, 1-1-5n, 1-1-6n	1-1-1w, 1-1-2w, 1-1-3w, 1-1-4w, 1-1-5w, 1-1-6w	1-2-1n, 1-2-2n, 1-2-3n, 1-2-4n, 1-2-5n, 1-2-6n	1-2-1w, 1-2-2w, 1-2-3w, 1-2-4w, 1-2-5w, 1-2-6w
II	Руда (месторождение Итауз)	Руда (Итауз, заезд на подэтаж 270 м)	2-1-1n, 2-1-2n, 2-1-3n, 2-1-4n, 2-1-5n, 2-1-6n	2-1-1w, 2-1-2w, 2-1-3w, 2-1-4w, 2-1-5w, 2-1-6w	2-2-1n, 2-2-2n, 2-2-3n, 2-2-4n, 2-2-5n, 2-2-6n	2-2-1w, 2-2-2w, 2-2-3w, 2-2-4w, 2-2-5w, 2-2-6w
III	Песчаник серый безрудный	Песчаник серый (Восточная Сары-Оба, П-5, гор. 200 м, всячий блок)	3-1-1n, 3-1-2n, 3-1-3n, 3-1-4n, 3-1-5n, 3-1-6n	3-1-1w, 3-1-2w, 3-1-3w, 3-1-4w, 3-1-5w, 3-1-6w	3-2-1n, 3-2-2n, 3-2-3n, 3-2-4n, 3-2-5n, 3-2-6n	3-2-1w, 3-2-2w, 3-2-3w, 3-2-4w, 3-2-5w, 3-2-6w
IV	Песчаник красный	Песчаник красный (Восточная Сары-Оба, штрек 3 запад, горизонт 100 м); Песчаник красный (Итауз, подэтаж 270 м)	4-1-1n, 4-1-2n, 4-1-3n, 4-1-4n, 4-1-5n, 4-1-6n	4-1-1w, 4-1-2w, 4-1-3w, 4-1-4w, 4-1-5w, 4-1-6w	4-2-1n, 4-2-2n, 4-2-3n, 4-2-4n, 4-2-5n, 4-2-6n	4-2-1w, 4-2-2w, 4-2-3w, 4-2-4w, 4-2-5w, 4-2-6w
V	Алевролит	Алевролит серый (карьер Северный Карашошак); Алевролит песчаный (карьер Северный Карашошак)	1-1-1n, 1-1-2n, 1-1-3n, 1-1-4n, 1-1-5n, 1-1-6n	1-1-1w, 1-1-2w, 1-1-3w, 1-1-4w, 1-1-5w, 1-1-6w	1-2-1n, 1-2-2n, 1-2-3n, 1-2-4n, 1-2-5n, 1-2-6n	1-2-1w, 1-2-2w, 1-2-3w, 1-2-4w, 1-2-5w, 1-2-6w

метров фирмы INSTRON, а также величины перемещения траверсы пресса. При испытаниях на объемное сжатие проводится дополнительная запись бокового давления, подаваемого на образец, помещенный в компрессионную камеру. Оборудование соответствует требованиям международных стандартов и позволяет получить прочностные, деформационные характеристики на всех стадиях нагружения образцов, в том числе постпиковой, вплоть до их разрушения.

Диаметр образцов (d), изготавливаемых из керна, составлял не менее 30 мм, отношение высоты (L) к диаметру (коэффициент формы L/d) составляли: 0.5-1 при испытании на разрыв; 2.0 – при испытании на сжатие. Подготовка образцов проводилась на специальном оборудовании для обработки кернов – системе для высокоточного изготовления цилиндров и торцевых поверхностей кернов производства Coretest Systems, США. Отклонение от параллельности торцевых поверхностей образцов для испытаний составляло не более 0,05 мм по диаметру основания образца; отклонение от перпендикулярности торцов к образующим цилиндра не более 0.05 мм; выпуклость торцов – менее 0.003 мм согласно требованиям ГОСТ 28985-91 [8].

Определение предела прочности при одноосном сжатии

Предел прочности пород при одноосном сжатии определялся согласно ГОСТ 21153.2-84. Для испытаний использовались цилиндрические образцы диаметром 30 мм с соотношением высоты (h) к его диаметру (d) равным $m = h/d = 2.0$. Измерение диаметров образца производилось в трех местах по его высоте (в середине и у торцов). За расчетный диаметр принималось среднеарифметическое значение результатов всех измерений. Измерения проведены цифровым штангенциркулем с погрешностью ± 0.001 мм.

Нагружение образцов при испытаниях производилось со скоростью движения подвижного траверса пресса 0.1 мм/мин. Значение предела прочности при одноосном сжатии $\sigma_{сж}, i$ (МПа) вычислялось по формуле:

$$\sigma_{сж}^o = \frac{P_{max}}{S}, \quad (1)$$

где P_{max} – максимальная разрушающая нагрузка;
 S – площадь поперечного сечения образца.

Определение деформационных характеристик при одноосном сжатии

Изучение деформационных свойств горных пород проводилось в соответствии с ГОСТ 28985-91. Данный нормативный документ применяется к твердым породам, у которых предел прочности при одноосном сжатии составляет не менее 5 МПа, и определяет способ измерения их деформационных параметров.

Для проведения эксперимента по определению механических свойств образца были зарегистрированы продольные (ε_1) и поперечные (ε_2) деформации, а также осевая нагрузка (P) с помощью измерительного комплекса, который работал автоматически в течение всего процесса

нагружения до разрушения образца. Частота измерений составляла 10 Гц.

Напряжение вычислялось из выражения:

$$\sigma = \frac{4P}{\pi d^2}. \quad (2)$$

Модуль деформаций E и коэффициент поперечной деформации ν определялись согласно ГОСТ 28985-9 в выбранном диапазоне напряжений $\sigma_s - \sigma_f$ прямолинейного участка нагрузочной ветви по формулам:

$$E_d = \frac{\sigma_f - \sigma_s}{\varepsilon_{1f} - \varepsilon_{1s}}, \quad \nu = \frac{\varepsilon_{2k} - \varepsilon_{2n}}{\varepsilon_{1k} - \varepsilon_{1n}}, \quad (3)$$

где σ_f – значения уровней напряжения в конце диапазона при нагрузке, МПа;

σ_s – значения уровней напряжения в начале диапазона при нагрузке, МПа;

ε_{1s} – относительные продольные напряжения материала в начале диапазона при нагрузке;

ε_{1f} – относительные продольные напряжения материала в конце диапазона при нагрузке;

ε_{2f} – поперечные деформации образца, измеренные относительно конечного значения нагрузки в пределах заданного диапазона

ε_{2s} – поперечные деформации образца, измеренные относительно начального значения нагрузки в пределах заданного диапазона.

В случае нелинейной зависимости «напряжение – деформация» применялся метод линейной аппроксимации.

Предел прочности пород при растяжении (бразильский тест) определялся согласно ГОСТ 21153.3-85. Стандарт распространяется на горные породы с пределом прочности при одноосном растяжении не менее 0,5 МПа. Подготовленные цилиндрические образцы диаметром 30 мм соответствовали требованиям п. 1.3.4 и п. 2.3.4 ГОСТ 21153.3-85.

Определение предела прочности при косвенном растяжении производилось по методу разрушения цилиндрических образцов сжатием по образующим. При испытаниях образец помещался в центре опорной плиты испытательной машины (пресса) между плитами-прокладками. Нагружение образца производилось равномерно со скоростью 0.1 мм/мин до его разрушения. Величина разрушающей силы (P) фиксировалась силоизмерителем испытательной машины. Предел прочности при растяжении (σ_p) вычислялся по формуле:

$$\sigma_p = 0.64 \frac{P}{S}, \quad (4)$$

где P – разрушающая образец сила;

S – площадь разрыва образца, равная произведению диаметра образца (d) на его длину (L).

В натуральных экспериментах применяются измерительные зонды двух конструкций. На измерительном зонде, оснащенном четырьмя пакерами, имеются два гидроцилиндра, которые используются для осевого сжатия пакерующих элементов. При проведении исследований существовала возможность изменять размер межпакерного пространства путем замены центрального сегмен-

та несущего стержня. При проведении гидроразрыва в ходе испытаний, размер межпакерного пространства составлял 5-6 диаметров. Для удобства установки прибора в измерительную скважину диаметром 76 мм, измерительный зонд был оснащен направляющими пластинами. Измерительный зонд выполнен в виде цилиндрического металлического корпуса, на котором равномерно расположены четыре кольцевых уплотнительных элемента, изготовленных из полиуретана. Эти элементы, благодаря своей гибкости и прочности, обеспечивают надежную герметизацию и плотное прилегание зонда к окружающей среде, предотвращая проникновение жидкости или газа. Металлический корпус изготовлен из нержавеющей стали, что гарантирует долговечность и устойчивость к коррозии, а полиуретановые пакеры обладают высокой износостойкостью, что делает их подходящими для использования в агрессивных средах, таких как нефтегазовые скважины или геологические исследования. Пакеры имеют гладкую поверхность и надежно закреплены на корпусе, создавая технически продуманный и устойчивый к внешним воздействиям прибор. В зонде также имеются направляющие пластины, гидроцилиндры и втулка для заполнения межпакерного пространства [9].

В двухпакерном зонде осевое сжатие пакерующих элементов производится с помощью гидроцилиндра, расположенного в центральной части. В конструкции было предусмотрено использование пакерующих элементов, армированных пружинами.

Результаты и обсуждения

На основе замеров установлено, что водонасыщение значительно снижает предел прочности пород при одноосном сжатии и растяжении. Выявлены линейные зависимости изменения напряжений с глубиной. Проведено численное моделирование клинообразных вывалов в программе Unwedge.

В период бурения скважин под замер природного поля был задокументирован керн с данных скважин. По результатам документирования керна качество массива в данном участке достаточно устойчивое. В то же время наблюдалось много механических трещин, образованных в результате бурения и при транспортировке керна. Наблюдалось разрушение керна в начале скважины, что говорит о низком качестве буровзрывных работ и напряжениях на контуре выработки.

Всего было произведено около 280 замеров трещиноватости массива методом линейного картирования по шахте Итауз. Пример изображения трещиноватости массива на месторождении Итауз представлено на рис. 1.

Исходя из представленных данных, можно сделать вывод, что массив горных пород, представленных в исследовании, обладает условно средним до хорошего качеством по RQD (Rock Quality Designation). RQD – это показатель, используемый для оценки качества горного массива на основе количества трещин и их распределения в образцах породы.

Устойчивость горных пород в значительной степени зависит от характеристик трещин, таких как их заполне-



Рис. 1. Изображение трещиноватости массива месторождения Итауз.

Сурет 1. Итауз кен орны массивінің жарықшақтығының бейнесі.

Figure 1. Image of fracturing of the Itaуз deposit massif.

ние и микрошероховатость. Заполнение трещин может влиять на проницаемость горных пород и их устойчивость к воде, что в свою очередь сказывается на их прочности при водонасыщении. Микрошероховатость, или мелкая шероховатость поверхности трещин также важна, поскольку она может усиливать трещиностойкость породы и уменьшать вероятность разрушения под воздействием механической нагрузки. Анализ характеристик трещин в горных породах позволяет сделать вывод об их устойчивости.

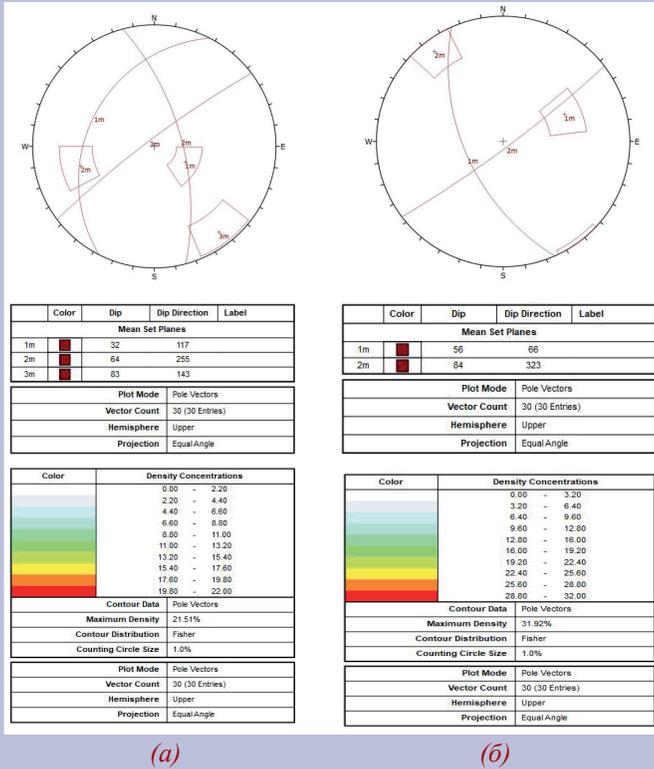
Для массива скальных пород характерна неравномерная трещиноватость. Она имеет тектоническое происхождение и для различных литологических разновидностей в среднем составляет: для месторождения Итауз – 10-15 трещин на метр.

Примеры полярных диаграмм трещиноватости массива горных пород вокруг заезда №5 (подэтаж 270 м) и массива вокруг выработки (подэтаж 290 м) месторождения Итауз представлены на рис. 2.

Для определения образования клинообразных вывалов в кровле выработки в зависимости от азимута ее проходки и трещиноватости проведено численное моделирование в программе Unwedge. Прямыми замерами установлено, что на месторождении имеются от трех до четырех систем трещин (рис. 3).

Таким образом по результатам моделирования установлены критические направления по существующим системам трещин, по которым образуются максимальные клинья, т.е. направления проходки в данных азимутах будет сопровождаться риском больших клиновидных обрушений [10].

По результатам замера природного поля напряжений на месторождении Жиландинской группы установлен тектонический режим Trust Faulting, т.е. тектонические максимальные, минимальные и вертикальные напряжения ($\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$). Зависимость напряжения с глубиной по результатам замеров представлена на рис. 4.



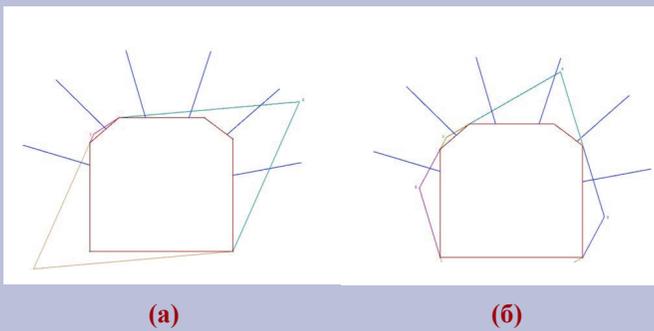
(a)

(б)

Рис. 2. Диаграмма трещиноватости массива горных пород месторождения Итауз: (а) – подэтаж 270 м; (б) – подэтаж 290 м.

Сурет 2. Итауз кен орнының тау жыныстары массивінің жарылу диаграммасы: (а) – 270 м қосалқы қабат; (б) – 290 м қосалқы қабат.

Figure 2. Fracturing diagram of the rock mass of the Itauz deposit: (a) – sub-floor 270 m; (b) – sub-floor 290 m.



(a)

(б)

Рис. 3. Клины при разных азимутах проходки выработок: (а) – 120°; (б) – 141°.

Сурет 3. Қазбаларды үңгілеудің әртүрлі азимуттары кезіндегі сыналар: (а) – 120°; (б) – 141°.

Figure 3. Wedges at different azimuths of excavation: (a) – 120°; (b) – 141°.

По качеству данных RQD и FF массив относится от среднетрещиноватых до массивных с локальными зонами дробления и разломов. По результатам съемки трещиноватости были определены неблагоприятные направления для участков. При последующей проходке рекомендуем квартировать выработки (геологической и геомеханической службой рудника) для кинематического анализа

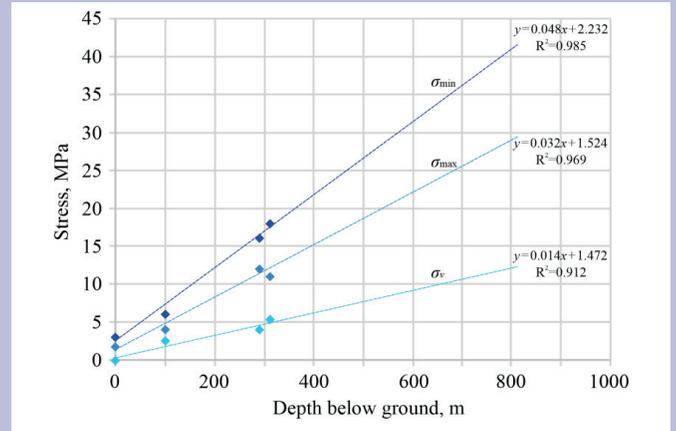


Рис. 4. Линейные зависимости изменения напряжения с глубиной по результатам замеров.

Сурет 4. Өлшеу нәтижелері бойынша терендігі бар кернеудің өзгеруінің сызықтық тәуелділігі.

Figure 4. Linear dependences of voltage variation with depth based on measurement results.

устойчивости выработок и управления кровлей. В основном на устойчивость выработок влияют заполнитель и микрошероховатость трещин, которые требуют более детально изучения, так как при документировании керна скважин под гидроразрыв заполнитель трещин был представлен карбонатом.

Литостатическое давление ($\sigma_h = \gamma h$) для замерной станции №1 на отметке 123.5 м составляет около 9.0 МПа. На замерной станции №1 выполнено 17 тестов гидроразрыва. В результате обработки $p-t$ диаграмм установлены следующие значения напряжений, действующих в массиве:

$$\begin{aligned} - \sigma_{min} &= 10.55-11.68 \text{ MPa} \approx 1.2 \gamma h; \\ - \sigma_{max} &= 18.36-20.76 \text{ MPa} \approx 2.14 \gamma h; \\ - \sigma_v &= 9.12 \text{ MPa}. \end{aligned}$$

Направление максимального горизонтального напряжения ориентировано по азимуту $70^\circ \pm 10$. За γh взято значение σ_v (σ_v может быть отличным от γh ввиду надработки или подработки массива). Данные замеры можно рассматривать как природное поле напряжений на данной глубине (расстояние от поверхности – около 310 м).

Литостатическое давление ($\sigma_h = \gamma h$) для замерной станции №2 на отметке 42 м составляет около 8.5 МПа. На замерной станции №2 выполнено 18 тестов гидроразрыва. В результате обработки $p-t$ диаграмм установлены следующие значения напряжений, действующих в массиве:

$$\begin{aligned} - \sigma_{min} &= 11.63-13.5 \text{ MPa} \approx 1.35-1.56 \gamma h; \\ - \sigma_{max} &= 15.0-17.2 \text{ MPa} \approx 1.74-2.0 \gamma h; \\ - \sigma_v &= 8.08-9.0 \text{ MPa}. \end{aligned}$$

Направление максимального горизонтального напряжения ориентировано по азимуту $70^\circ \pm 10$. За γh взято среднее значение полученного $\sigma_v = 8.61$ МПа.

Суммарно на двух замерных станциях выполнено 35 тестов гидроразрыва. Установлено, что на месторождении присутствует тектоническое напряжение, которое может быть обусловлено формой структурных складок и тектонической трещиноватостью. Азимут действия максимального горизонтального напряжения на исследуемых станциях совпадает и равен $70^\circ \pm 10$.

Выводы

Результаты исследования механических свойств материалов в естественном и водонасыщенном состояниях позволили сделать следующие общие выводы: все исследуемые материалы демонстрируют снижение предела прочности на сжатие, растяжение и к сдвигу при водонасыщении, что свидетельствует о том, что водонасыщение оказывает негативное влияние на прочность материалов; водонасыщение также приводит к уменьшению модуля деформации материалов, что указывает на их уменьшение жесткости под воздействием воды; под влиянием водонасыщения коэффициент поперечной деформации и угол внутреннего трения материалов также изменяются, что может влиять на их способность к деформации и сцеплению между частицами; водонасыщение приводит к умень-

шению коэффициента сцепления материалов, что может сказываться на их способности сопротивляться сдвиговым напряжениям и устойчивости к различным нагрузкам.

Для определения образования клинообразных вывалов в кровле выработки в зависимости от азимута ее проходки и трещиноватости проведено численное моделирование в программе Unwedge. Прямыми замерами установлено, что на месторождении имеются от трех до четырех систем трещин. По результатам моделирования установлены критические направления по существующим системам трещин, по которым образуются максимальные клинья, т.е. направления проходки в данных азимутах будут сопровождаться риском больших клиновидных обрушений. Установлены азимуты направления выработок с наибольшими и наименьшими объемами вывалов.

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. Қайназарова, И.Д. Арыстан, Е.А. Абеуов, А.С. Қайназаров, 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. Қуантай, 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 термомеханическое 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. / D.V. Griffiths, P.A. Lane. // 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 (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. – 223 с. (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Матаев А.Қ. 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. Султанов. // Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру. 2021. Т. 15. Шығ. 1. Б. 1-10 (ағылшын тілінде)
2. Султанов М.Г. «Восход» көмір кен орнында бекіту параметрлерін және оны салу технологиясын таңдау. / М.Г. Султанов, 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, З. Лю, Х. Чжоу, К. Ван, В. Шен. // Еуропалық экологиялық және азаматтық құрылыс журналы. 2023. №27 (4). Б. 1697-1714 (ағылшын тілінде)
5. Griffiths D.V. Соңғы элементтердің көмегімен көлбеу тұрақтылықты талдау. / D.V. Griffiths, P.A. Lane. // 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. Nickson S.D. Қатты тау жыныстары шахталарында жерасты жұмыстарына арналған кабельдерді бекіту бойынша нұсқаулық. Ванкувер: Британдық Колумбия университеті, 1992. – 223 б. (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 Deposits. 2021. V. 15. Issue 1. P. 1-10 (in English)
2. Sultanov M.G. Vybór parametrov krepі 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. V. 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. V. 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. V. 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. – 223 p. (in English)

Сведения об авторах:

Матаев А.К., Ph.D, и.о. доцента 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>

Асанова Ж.М., Ph.D, и.о. доцента кафедры «Разработка месторождения полезных ископаемых», НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), zh.asanova@kstu.kz; <https://orcid.org/0000-0002-1169-8729>

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>

Рахимберлина А.А., докторант кафедры «Разработка месторождения полезных ископаемых», НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), altuwa1986@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-3388-8096>

Авторлар туралы мәліметтер:

Матаев А.К., Ph.D, «Пайдалы қазбалар кенорындарын игеру» кафедрасының доцент м.а., КеАҚ «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» (Қарағанды қ., Қазақстан)

Асанова Ж.М., Ph.D, «Пайдалы қазбалар кенорындарын игеру» кафедрасының доцент м.а., 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)

Рахимберлина А.А., «Пайдалы қазбалар кенорындарын игеру» кафедрасының докторанты, КеАҚ «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» (Қарағанды қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Matayev A.K., Ph.D, acting Assistant Professor of the Department «Development of mineral deposits», NAO «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

Asanova Zh.M., Ph.D, acting Assistant Professor 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)

Rakhimberlina A.A., doctoral student of the department «Development of mineral deposits», NAO «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)



TECH MINING
СИБИРЬ

www.techmining.ru

**ТЕХНОЛОГИИ И ИННОВАЦИИ ДЛЯ
ГОРНОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**4-Я МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ, ВЫСТАВКА И ТЕХНИЧЕСКИЙ
ВИЗИТ НА НОВОАНГАРСКИЙ ОБОГАТИТЕЛЬНЫЙ КОМБИНАТ**



**НОВОАНГАРСКИЙ
ОБОГАТИТЕЛЬНЫЙ
КОМБИНАТ**

**12-14 марта 2025
Красноярск**



16+