

Код МРНТИ 52.31.47

А.Қ. Матаев, *А.М. Хамзе, Ж.О. Садық, А.А. Қайырбек

НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан)

ГЕОМЕХАНИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ БУРОВЗРЫВНЫХ РАБОТ В ТЕКТОНИЧЕСКИ НАРУШЕННЫХ ЗОНАХ ПОДЗЕМНЫХ ВЫРАБОТОК

Аннотация. Целью данной статьи является разработка и научное обоснование эффективной технологии крепления горных выработок, функционирующих в условиях сложных геомеханических и гидрогеологических факторов. В работе проведен анализ деформационного состояния приконтурного массива горных пород, а также выполнена оценка эффективности существующих типов крепления, применяемых в подземных выработках. Особое внимание уделено исследованию поведения материалов и конструкций крепи в процессе длительной эксплуатации под воздействием горного давления и внешних факторов. На основе полученных результатов предложены технические решения и рекомендации, направленные на повышение устойчивости горных выработок, снижение риска деформаций и аварийных ситуаций, а также на обеспечение безопасного и эффективного ведения горных работ.

Ключевые слова: напряженное состояние, массив, руда, порода, скважина, крепь, Q -индекс Бартона.

Тектоникалық бұзылған аймақтардағы жерасты тау-кен қазбаларында бұрғылау-жару жұмыстарының параметрлерін геомеханикалық негіздеу

Аңдатпа. Мақаланың мақсаты – күрделі геомеханикалық және гидрогеологиялық жағдайларда жұмыс істейтін тау-кен қазбаларын бекітудің тиімді технологиясын әзірлеу және ғылыми тұрғыдан негіздеу. Жұмыста қазба контуры маңындағы тау жыныстары массивінің деформациялық күйіне талдау жүргізіліп, жер асты қазбаларында қолданылатын қолданыстағы бекіту түрлерінің тиімділігі бағаланды. Сондай-ақ тау қысымы мен сыртқы факторлардың әсерінен бекіту материалдары мен конструкцияларының ұзақ мерзімді пайдалану кезіндегі мінез-құлқы зерттелді. Алынған нәтижелер негізінде тау-кен қазбаларының тұрақтылығын арттыруға, деформациялар мен апаттық жағдайлардың қаупін төмендетуге, сондай-ақ тау-кен жұмыстарын қауіпсіз әрі тиімді жүргізуді қамтамасыз етуге бағытталған техникалық шешімдер мен ұсынымдар ұсынылды.

Түйінді сөздер: кернеулі күй, массив, кен, жыныс, ұңғыма, тірек, Бартонның Q -индексі.

Geomechanical justification of blasting parameters in tectonically disturbed zones of underground mine workings

Abstract. The purpose of this article is to develop and scientifically substantiate an effective technology for supporting mine workings operating under complex geomechanical and hydrogeological conditions. The study analyzes the deformation state of the rock mass surrounding the excavation contour and evaluates the efficiency of existing types of support used in underground workings. Particular attention is given to the behavior of support materials and structural elements during long-term operation under the influence of rock pressure and external factors. Based on the obtained results, technical solutions and recommendations are proposed aimed at improving the stability of mine workings, reducing the risk of deformations and accidents, and ensuring safe and efficient mining operations.

Key words: stress state, rock mass, ore, rock, borehole, support system, Barton Q -index.

Введение

Горнодобывающая промышленность Казахстана, благодаря своим природным ресурсам, занимает стратегически важное место в экономике страны, обеспечивая значительную долю экспорта и являясь основным источником сырья для многих отраслей [1–3]. В частности, Казахстан известен своими запасами угля, меди, золота, урана и других минералов, что делает его одним из ведущих производителей на мировом рынке [4–5]. Однако с увеличением глубины добычи и переходом к разработке более сложных и труднодоступных месторождений возрастает необходимость в решении таких проблем, как безопасность горных работ, обеспечение устойчивости горных выработок, а также повышение эффективности использования природных ресурсов. Эти вопросы приобретают особую значимость в свете повышения требований к экологическим стандартам и оптимизации производственных процессов [6].

Руды с содержанием окиси хрома более 45% не требуют обогащения. Они составляют 86.7% запасов месторождений (208.013 млн т / 240.197 млн т). Содержание составляет в богатых рудах – 52.3%, в рядовых – 38.9% окиси хрома.

На месторождении шахтной зоны «10-летия независимости Казахстана» (ДНК) серпентиниты широко распространены в дунитах, в то время как по пироксеновым дунитам они встречаются реже. Эти породы простираются на глубину от 35 до 110 м от поверхности Земли. На глубинах 10–20 м наблюдается наибольшее проявление усыхания пород, где они, первоначально мелкозернистые, со временем трансформировались в глинистую массу [7–8].

В ходе лабораторных исследований выделены четыре инженерно-геологических комплекса пород:

- *третье карбонатные мелкозернистые серпентиниты – породы низкой прочности ($R_c \approx 15$ МПа, $R_t \approx 1.3$ МПа, $f = 2-3$, категория буримости III), характерные для верхней части месторождения;*

- *серпентинизированные дуниты – породы от средней до высокой прочности ($R_c = 27-65$ МПа, $R_t = 2.7-4.5$ МПа, $f = 8-9$, категория буримости VII), а также ослабленные разности ($R_c \approx 17$ МПа, $R_t \approx 1.6$ МПа, $f \approx 6$, категория VI);*

- *серпентинизированные перидотиты – породы различной прочности: от низкой до высокой ($R_c = 8-58$ МПа, $R_t = 0.8-4.7$ МПа, $f = 2-8$, категории буримости III–VII).*

С увеличением глубины прочность горных пород возрастает, и сопротивление сжатию малотоннажных пород и руд на больших глубинах может варьироваться от 60 до 120 МПа.

Основная рудная залежь на месторождении в основном состоит из сплошных и густо-вкрапленных руд, а горные породы представлены различной степенью серпентинизации: безпироксеновыми дунитами, пироксеновыми дунитами и перидотитами [9–10].

Общий вид забоя на момент передачи выработки представлен на рис. 1.

На рис. 1 представлена графическая интерпретация забоя в момент передачи выработки на объекте горного производства, с акцентом на участок, подверженный тектоническому нарушению.

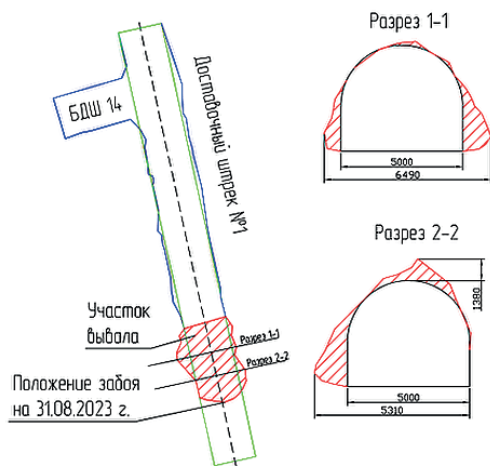


Рис. 1. Эскиз на вывалы в зоне тектонического нарушения.

Сурет 1. Тектоникалық бұзылу аймағындағы жыныс опырылуларының сызбалық көрінісі.

Figure 1. Sketch of rock falls in the tectonic disturbance zone.

Общий вид забоя отражает текущее положение выработки с указанием ее параметров по состоянию на 31 августа 2023 года. Схема демонстрирует расположение тоннельной выработки относительно геологической структуры и учитывает проектные данные по бурению и креплению. Отмеченная зона тектонического нарушения характеризуется измененной структурой массива, наличием разломов и сдвигов, что может снижать устойчивость пород и повышать требования к инженерным решениям

по креплению выработки.

Проходческие работы на опытном участке ДШ № 1 велись в породах средней крепости 30–60 МПа, что является более благоприятным условием по сравнению с участком БДШ № 9. На рис. 2 представлен общий вид забоя в процессе горнопроходческих работ на опытном участке ДШ № 1.

Проходческие работы на опытном участке ДШ-1 выполнялись в породах средней крепости с пределом прочности 30–60 МПа, что создает относительно благоприятные условия для проходки, однако требует применения надежных систем крепления. На начальном этапе наблюдались разрыхление породы и локальные обрушения, вызванные перераспределением напряжений в приконтурной зоне забоя (рис. 2а). Установка первичных креплений позволила локализовать зону разрушений и ограничить развитие деформаций.

После монтажа временных креплений отмечалась стабилизация массива: основные деформации сохранялись в приконтурной зоне, тогда как центральная часть забоя оставалась относительно устойчивой (рис. 2б). Применение сетчатых покрытий и анкерных систем снизило риск повторных обрушений.

На последующих этапах установка анкерных и каркасных креплений обеспечила дополнительную поддержку и повысила устойчивость забоя (рис. 2с). На глубине 12 п.м. процесс крепления был практически завершен, что позволило минимизировать деформации и снизить риск локальных обрушений (рис. 2д). Финальный этап характеризуется установкой постоянных креплений, перераспределяющих нагрузки в массиве и обеспечивающих долговременную устойчивость выработки (рис. 2е–ф).

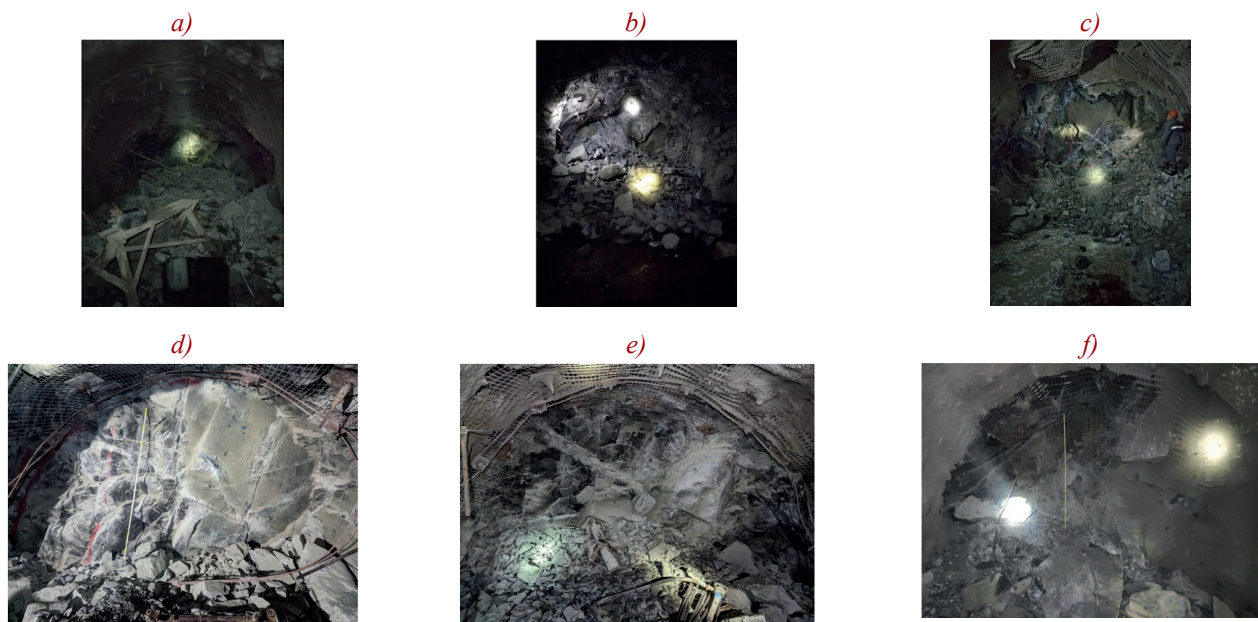


Рис. 2. Общий вид забоя ДШ-1 на момент крепления:

(a) – 3 п.м.; (b) – 6 п.м.; (c) – 9 п.м.; (d) – 12 п.м.; (e) – 14 п.м.; (f) – 16 п.м.

Сурет 2. ДШ-1 қазбасының бекіту кезіндегі жалпы көрінісі:

(a) – 3 п.м.; (b) – 6 п.м.; (c) – 9 п.м.; (d) – 12 п.м.; (e) – 14 п.м.; (f) – 16 п.м.

Figure 2. General view of heading No. 1 at the time of support installation:

(a) – 3 r.m.; (b) – 6 r.m.; (c) – 9 r.m.; (d) – 12 r.m.; (e) – 14 r.m.; (f) – 16 r.m.

Методология

Обследование и наблюдение за фактическим состоянием горной выработки ДШ № 1 (гор. –175 м, ШДНК-1) в период проведения опытно-промышленных испытаний выполнялось на участке длиной 30 п.м. с 25.07.2023 по 20.11.2023. Согласно техническому заданию после передачи выработки был организован геотехнический мониторинг в соответствии с «Методикой проведения геотехнического мониторинга состояния контура и крепи опытных участков на ШДНК-1 Донского ГОКа (АО «ТНК «Казхром»).

В ходе мониторинга проводилась геотехническая оценка состояния массива: определялись показатели RMR (по Бенявскому), Q-индекс Бартона, коэффициент трещиноватости RQD, прочность пород на одноосное сжатие (UCS) и категории устойчивости массива. Дополнительно выполнялось визуальное обследование состояния опытного участка.

Результаты представлены в таблице 1.

Измерение прочностных характеристик горных пород на одноосное сжатие (UCS) осуществляется с применением экспресс-метода, основанного на ударном импульсе, с использованием электронного склерометра ОНИКС-2.5. Этот метод позволяет оперативно оценить механические свойства породы непосредственно в полевых условиях. Для повышения точности определения прочностных характеристик также выполняется отбор образцов с последующим лабораторным испытанием их механических свойств на приборе сосредоточенного нагружения ПСН-0.16.10. Данный комплексный подход обеспечивает более достоверную оценку прочностных характеристик, что критически важно для геомеханических расчетов и прогноза устойчивости горных массивов.

Результаты и обсуждения

Опытный участок находится в зоне III тектонического нарушения и тектонического нарушения «Бука Запад», а также в зоне контакта с рудой. Средняя крепость пород 30–60 МПа. В связи с чем ведение проходческих работ осложнено, массив характеризуется как сильнотрещиноватый от неустойчивого до весьма неустойчивого, трещины заполнены тальк-подобным минералами, поверхности которых представлены зеркалами скольжения (IV и V ка-

тегория устойчивости). Результаты геологической оценки опытного участка ДШ № 1 приведены на рис. 3.

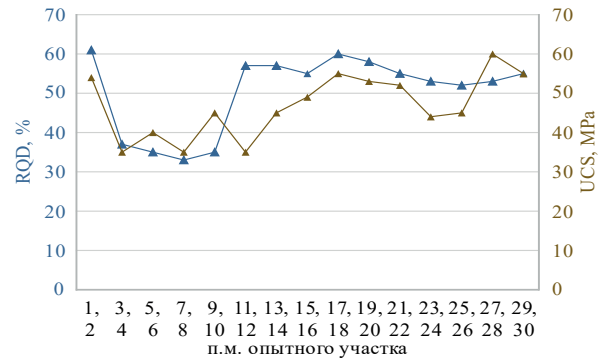


Рис. 3. Изменения RQD и UCS по длине опытного участка, п.м.

Сурет 3. Тәжірибелік учаске бойымен RQD және UCS көрсеткіштерінің өзгеруі, ж.м.

Figure 3. Variation of RQD and UCS along the experimental section, m.

В период ведения проходческих работ наблюдался водоприток с вышележащего горизонта по системам трещин, проявлялся в виде локального капежа, что также влияло на снижение устойчивости. После крепления опытного участка капеж отсутствует, но наблюдается локальное намочение торкретбетона.

Массив сильнотрещиноватый, трещины заполнены тальк подобными минералами и сопровождаются зеркалами скольжения. Во время проходки было наличие водопритока в виде капежа, который негативно влияет на устойчивость. Массив слабый, неустойчивый. При вскрытии узла трещин происходит сползание отдельных блоков.

Оценка зон расслоения и трещиноватости видеозендоскопом. Первичная оценка зон расслоений и трещиноватости методом видеозендоскопии приконтурного массива проводилась на 10 м опытного участка ДШ № 1.

Скважина № 1 Ø32 мм, глубиной 9.31 м отбурена в кровлю ДШ № 1, на расстоянии 10 м от начала опытного участка, для последующей установки РГМ. Геомеханическое состояние ствола скважины представлено на

Таблица 1

Сводные данные по выработке и свойствам массива

Кесте 1

Қазба және жыныс массивінің қасиеттері бойынша жиынтық деректер

Table 1

Summary data on the excavation and rock mass properties

Участок, п.м.	RMR	Q	Категория устойчивости	RQD, %	UCS, МПа
1–2	36	0.165	IV (неустойчивые)	61	54
3–6	19–21	0.076–0.079	V (весьма неустойчивые)	35–37	35–40
7–12	20–21	0.078–0.081	V (весьма неустойчивые)	33–35	35–45
13–18	35–43	0.14–0.21	IV (неустойчивые)	55–60	45–55
19–24	38–42	0.19–0.22	IV (неустойчивые)	53–58	44–53
25–30	36–41	0.16–0.22	IV (неустойчивые)	52–55	45–60

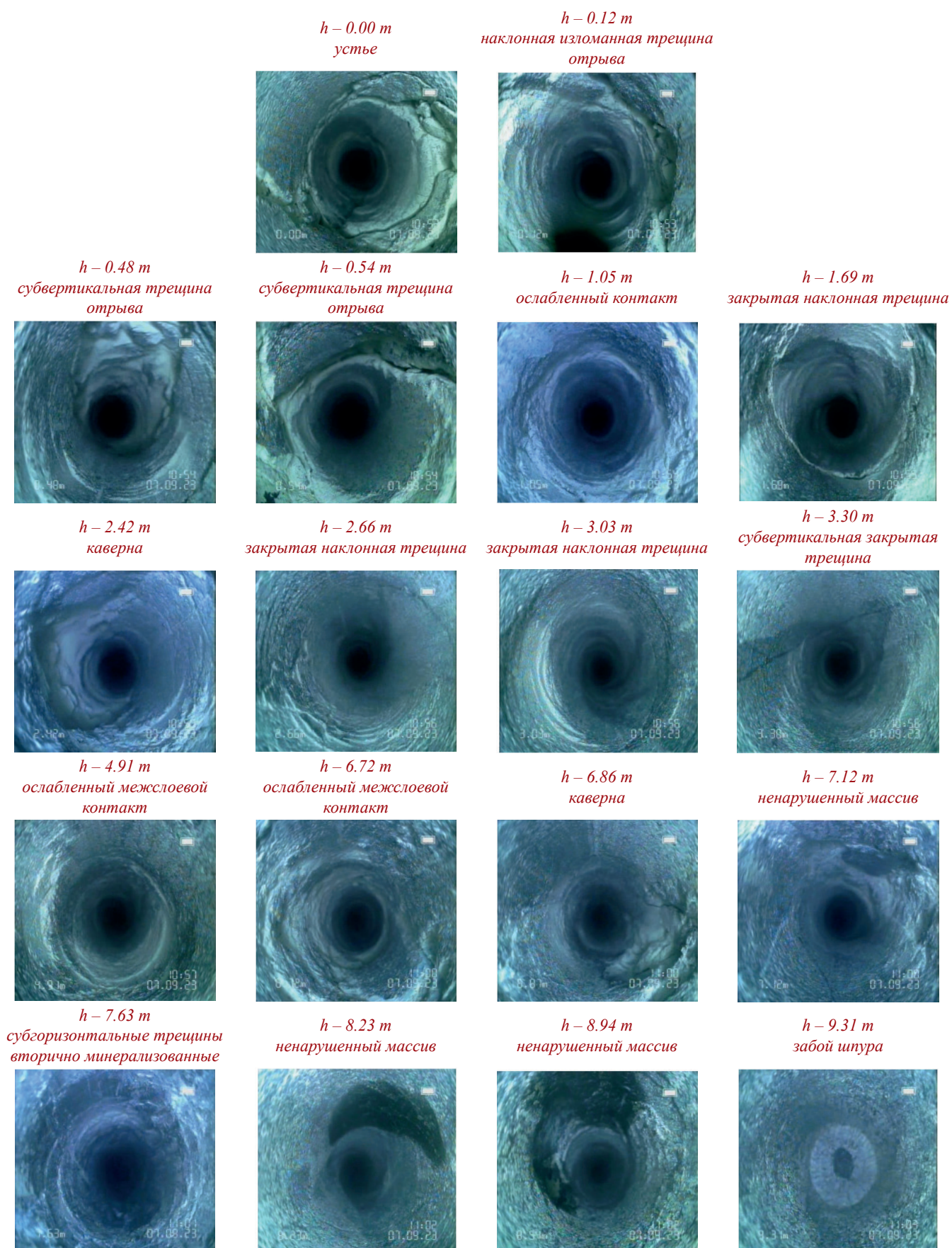


Рис. 4. Обследование геомеханического состояния ствола скважины № 1.
Сурет 4. № 1 ұңғыма оқпанының геомеханикалық жағдайын зерттеу.
Figure 4. Examination of the geomechanical condition of Borehole No. 1.

рис. 4. Изображения фиксируют состояние горных пород на различных глубинах, что позволяет детально проанализировать характер трещиноватости, ослабленных зон и стабильных участков породного массива.

На начальных глубинах скважины ($h = 0.00$ м) нарушения структуры массива практически отсутствуют. На глубине 0.12 м зафиксирована наклонная трещина отрыва, а на глубинах 0.48–0.54 м – субвертикальные трещины, снижающие прочность пород. Ослабленный межслоевой контакт выявлен на глубине 1.05 м, тогда как закрытые наклонные трещины на глубинах 1.69–3.03 м свидетельствуют об относительной устойчивости массива.

Каверны на глубинах 2.42 и 6.86 м указывают на возможное вымывание материала и повышение риска неустойчивости. Ослабленные контакты на глубинах 4.91 и 6.72 м могут служить зонами локальных смещений. В интервале 7.12–8.94 м породы остаются относительно стабильными, а на глубине 9.31 м структура массива сохраняет устойчивость.

Видеоэндоскопическое обследование приконтурного массива на 10 и 20 м опытного участка ДШ № 1 включало бурение четырех скважин диаметром 32 мм (две в кровлю и две в левый борт). На глубине 3.40 м выявлена поверхность ослабления, на 3.80 и 10.30 м – породные вкрапления, предположительно рудного происхождения. На глубине 7.10 м породы устойчивы, однако на 9.10 м вновь отмечена поверхность ослабления, что указывает на наличие потенциально опасных зон.

Контроль за смещением пород с применением РГМ.

Для оценки устойчивости массива пород в ходе исследования проводился мониторинг смещений кровли с использованием РГМ. Методика контроля предусматривала установку реперов в ключевых точках опытного участка с регулярной фиксацией изменений их положения. Данные, полученные с реперных маркеров, позволили определить динамику смещений и оценить стабильность горного массива в зоне наблюдений. В таблице 2 приведены результаты измерений смещений пород кровли на опытном участке, полученные в процессе мониторинга с использованием РГЗ № 1 и РГЗ № 2.

Таблица 2

Результаты наблюдений за смещениями пород кровли опытного участка

Кесте 2

Тәжірибелік учаскедегі төбе жыныстарының ығысуын бақылау нәтижелері

Table 2

Results of monitoring roof rock displacements at the experimental section

РГЗ	Дата	R1, мм	R2, мм	R3, мм
№ 1	01.08.2023	0	0	0
	07.09.2023	2	3	4
	12.10.2023	3	3	5
	18.11.2023	5	4	7
№ 2	07.10.2023	0	0	0
	12.10.2023	3	3	5
	18.11.2023	4	5	5

Результаты измерений показывают постепенное увеличение смещений кровли в течение периода наблюдений. На участке РГЗ № 1 за 3,5 месяца максимальное смещение достигло 7 мм и носило равномерный характер без резких скачков, что свидетельствует об относительной стабильности массива. Все значения оставались в пределах «зеленой зоны», указывая на отсутствие критических деформаций.

Аналогичная динамика зафиксирована по РГЗ № 2, где максимальное смещение составило 5 мм. Постепенное увеличение значений также подтверждает устойчивость массива и не требует дополнительных стабилизационных мероприятий.

Коэффициент вариации составил 4.27–7.43%, что указывает на высокую однородность материала. График изменения прочности торкретбетона в зависимости от количества ударов (рис. 5) демонстрирует устойчивый рост прочностных характеристик материала в течение первых 28 суток.

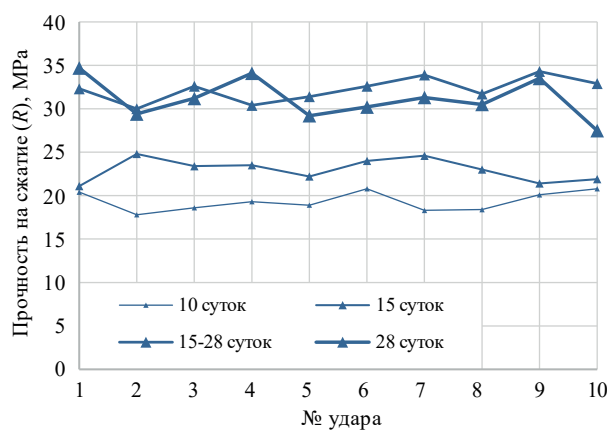


Рис. 5. График изменения прочности торкретбетона от № удара и времени.

Сурет 5. Торкретбетон беріктігінің соққы санына және уақытқа байланысты өзгеру графигі.

Figure 5. Graph of shotcrete strength variation versus impact number and time.

Для оценки долговечности и устойчивости торкретбетонной крепи проведены испытания прочностных характеристик материала на различных участках опытной выработки (левый и правый бок) на интервалах 0–10 м, 11–20 м и 21–30 м. Определялись прочность на сжатие (R, МПа) и отклонение от среднего значения (Δ , %), что позволило оценить вариацию свойств и классифицировать торкретбетон по прочности.

Результаты показали, что на участке 0–10 м средняя прочность составляет 39.49 МПа (класс В30). На интервале 11–20 м прочность снижается до 30.94–34.63 МПа (класс В22.5). На участке 21–30 м прочность стабилизируется на уровне 31.08–32.63 МПа, что соответствует классу В22.5–В25.0. Динамика изменения прочности торкретбетона по длине опытного участка представлена на рис. 6.

Коэффициент вариации (V) составляет 7.19–15.70%, что указывает на умеренный разброс значений, наи-

более выраженный на участке 21–30 м. В целом прочностные характеристики торкретбетона остаются на приемлемом уровне и соответствуют требованиям. Полученные значения прочности (30–40 МПа) и коэффициента вариации (5–15%) согласуются с результатами ранее опубликованных исследований торкретбетонных крепей в горных выработках [10]. Снижение прочности на отдельных участках связано с условиями нанесения и твердения бетона.

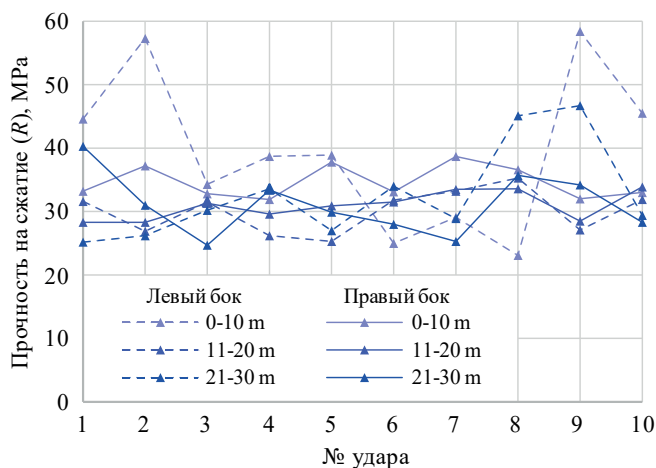


Рис. 6. График изменения прочности торкретбетона от № удара по длине опытного участка.

Сурет 6. Тәжірибелік учаске ұзындығы бойынша соққы санына байланысты торкретбетон беріктігінің өзгеру графигі.

Figure 6. Graph of shotcrete strength variation versus impact number along the experimental section.

Выводы

В результате исследований установлено, что опытный участок расположен в зоне III тектонического нарушения и характеризуется IV–V категорией устойчивости массива. Значения RMR составляют 19–43 балла, Q-индекс Бартон – 0.076–0.22, RQD – 33–61%, а прочность пород на одноосное сжатие (UCS) – 35–60 МПа, что свидетельствует о высокой трещиноватости и неустойчивости приконтурного массива. Видеоэндоскопические исследования скважин глубиной до 9.31 м выявили ослабленные контакты, каверны и поверхности скольжения на глубинах 0.12–6.86 м, указывающие на наличие потенциально опасных зон. Мониторинг смещений кровли показал постепенное развитие деформаций: максимальные значения составили 7 мм (РГЗ № 1) и 5 мм (РГЗ № 2), оставаясь в пределах допустимой «зеленой зоны». Прочность торкретбетона по длине участка составила 30.94–39.49 МПа (классы В22.5–В30), коэффициент вариации 4.27–15.70%, что соответствует нормативным требованиям.

Таким образом, применение комбинированной крепи в условиях тектонически нарушенного массива обеспечивает устойчивость выработки и ограничивает деформации кровли до безопасных значений (до 7 мм).

Благодарность

Исследование выполнено при финансовой поддержке НАО Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова по научной теме «Исследование по совершенствованию параметров буровзрывных работ при ведении подземных горных работ на месторождении Западный Каражал» договора № 3 от 27.06.2025 г., выполняемого в рамках конкурса «SAGINOV'S JAS ZERTTEÝSHILERI».

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Исследование геомеханической обстановки массива горных пород в зоне влияния очистных работ на шахте имени 10-летия Независимости Казахстана. / Матаев А.К. [и др.] // Разработка месторождений полезных ископаемых. 2021. Т. 15. № 1. С. 1–10 (на английском языке)
2. Выбор параметров крепи и технологии ее возведения на месторождении «Восход» / Султанов М.Г. [и др.] // Уголь. 2020. № 10. С. 17–22 (на русском языке)
3. Определение рациональной вместимости бункера для циклической и непрерывной технологии в карьерах. / Сладковский А. [и др.] // Научный вестник Национального Горного университета. 2017. № 6. С. 29–33 (на английском языке)
4. Новое трехосное испытательное устройство с высокотемпературным модулем для определения термомеханических свойств твердых пород. / Ванг К. [и др.] // Европейский журнал охраны окружающей среды и гражданского строительства. 2023. № 27 (4). С. 1697–1714 (на английском языке)
5. Griffiths D.V., Lane P.A. Анализ устойчивости склона с помощью конечных элементов // Геотехника. 1999. Вып. 49. № 3. С. 387–403 (на английском языке)
6. Ноек Е., Carranza-Torres С., Corkum В. 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. Қазақстан Тәуелсіздігінің 10 жылдығы атындағы шахтадағы тазарту жұмыстарының әсер ету аймағындағы тау алабындағы геомеханикалық жағдайды зерттеу / Матаев А.К. [және т. б.] // 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. / Сұлтанов М.Г. [және т. б.] // Көмір. 2020. № 10. Б. 17–22 (орыс тілінде)
3. Карьерлердегі циклдік және үздіксіз технология үшін бункердің ұтымды сыйымдылығын анықтау / Сладковский А. [және т. б.] // Ұлттық тау-кен университетінің ғылыми хабаршысы. 2017. № 6. Б. 29–33 (ағылшын тілінде)
4. Қатты жыныстардың термиялық механикалық қасиеттерін сипаттауға арналған жоғары температуралы модуль бар жаңа шынайы триаксиалды сынақ құрылғысы / Ван К. [және т. б.] // Еуропалық экологиялық және азаматтық құрылыс журналы. 2023. № 27 (4). Б. 1697–1714 (ағылшын тілінде)
5. Griffiths D.V., Lane P.A. Соңғы элементтердің көмегімен көлбеу тұрақтылықты талдау // 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. 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. [et al.] // Mining of Mineral Deposits. 2021. V. 15. Issue 1. 1–10 pp. (in English)
2. Vybor parametrov krepki i tekhnologii ee vozvedeniya na mestorozhdenii «Voskhod» [The choice of the parameters of the support and the technology of its construction at the Voskhod deposit], Sultanov M.G. [et al.], Ugol' [Coal]. 2020. No.10. 17–22 pp. (in Russian)
3. Determining of the rational capacity of a bunker for cyclic-andcontinuous technology in quarries / Sladkowski A. [et al.] // Scientific Bulletin of the National Mining University. 2017. No. 6. 29–33 pp. (in English)
4. A novel true triaxial test device with a high-temperature module for thermalmechanical property characterization of hard rocks. / Wang C. [et al.] // European Journal of Environmental and Civil Engineering. 2023. No. 27 (4). 1697–1714 pp. (in English)
5. Griffiths D.V., Lane P.A. Slope stability analysis by finite elements // Geotechnique. 1999. V. 49. No. 3. 387–403 pp. (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. 267–273 pp. (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. No. 7. 577–596 pp. (in English)
8. Brady H.G., Brown E.T. Mechanics of rocks: For underground mining: New York: Springer Science & Business Media, 1985. 628 p. (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. 387–400 pp. (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 им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), a.mataev@ktu.edu.kz; <https://orcid.org/0000-0001-9033-8002>

Хамзе А.М., магистр техн. наук, преподаватель кафедры «Разработка месторождения полезных ископаемых», НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), a.khamze@ktu.edu.kz; <https://orcid.org/0009-0006-7170-8438>

Садық Ж.О., магистрант кафедры «Разработка месторождения полезных ископаемых», НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), sadzhad03@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0006-8557-1532>

Қайырбек А.А., магистр техн. наук, преподаватель кафедры «Разработка месторождения полезных ископаемых», НАО «Карагандинский технический университет им. Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), ayazhan.kairbek@gmail.com; <https://orcid.org/0009-0004-4991-4935>

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)

Хамзе А.М., техника ғылымдарының магистрі, «Пайдалы қазбалар кенорындарын игеру» кафедрасының оқытушысы, КеАҚ «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» (Қарағанды қ., Қазақстан)

Садық Ж.О., «Пайдалы қазбалар кенорындарын өндіру» кафедрасының магистранті, КеАҚ «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» (Қарағанды қ., Қазақстан)

Қайырбек А.А., техника ғылымдарының магистрі, «Пайдалы қазбалар кенорындарын игеру» кафедрасының оқытушысы, 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)

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)


Sadyk Zh.O., Master's student of the department «Mining deposits», NAO «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)

Kaiyrbek A., Master of Technical Sciences, lecturer of the department «Development of mineral deposits», NAO «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)



7-9 UZ 
MINING
EXPO

АПРЕЛЯ
2026 года

 Место проведения:
Ташкент, Узбекистан

 +998 71 238 59 59

 www.ieg.uz

