Код МРНТИ 52.13.23

А.Қ. Матаев, *А.Ж. Имашев, Б. Хусан, Н.К. Шайке
НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова»
(г. Караганда, Казахстан)

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ВИДА КРЕПЛЕНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК НА ОСНОВЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПОДЗЕМНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Аннотация. Статья посвящена исследованию прогноза формирования вторичного напряженно-деформированного состояния (НДС) в массиве горных пород в границах влияния очистных работ на Хромтауском месторождении. Численное моделирование напряженно-деформационного состояния массива горных пород и расчет несущей способности видов крепи, применяемых на шахте, выполнено в программе RS2, которая работает на основе метода конечных элементов в двумерной постановке, который дает возможность учесть значительное количество факторов, влияющих на состояние горного массива. Данные, полученные в программе RS2, более близки к натурным процессам, происходящим в условиях разработок месторождений полезных ископаемых. На основе проведенных построений и расчетов обосновано в качестве приоритетного способа управления устойчивостью выработок предварительное (опережающее) закрепление приконтурного массива горных пород в зоне неупругих (разрушающих) деформаций.
Ключевые слова: *Хромтауское месторождение, шахта, крепление выработок, напряженное состояние, моделирование, зона неупругих деформаций, рамная крепь, порода, очистные работы.*

Жер асты құрылымдарының кернеулі күйін модельдеу негізінде тау кен қазбаларын бекітудің оңтайлы түрін таңдау

Аңдатпа. Мақала Хромтау кен орнында тазарту жұмыстарының әсер ету шекарасындағы тау жыныстары массивінде қайталама кернеулі-деформацияланған күйдің (ҚҚС) пайда болу болжамын зерттеуге арналған. Тау жыныстары массивінің кернеулі-деформациялық күйін сандық модельдеу және шахтада қолданылатын бекіту түрлерінің жүк көтергіштігін есептеу RS2 бағдарламасында жүзеге асырылады, ол екі өлшемді өндірісте ақырлы элементтер әдісі негізінде жұмыс істейді, бұл тау массивінің жағдайына әсер ететін факторлардың едәуір санын ескеруге мүмкіндік береді. RS2 бағдарламасында алынған мәліметтер пайдалы қазбалар кен орындарын игеру жағдайында болатын табиғи процестерге жақын. Жүргізілген құрылыстар мен есептеулер негізінде қазбалардың тұрақтылығын басқарудың басым тәсілі ретінде серпімді емес (бұзатын) деформациялар аймағында тау жыныстарының контурға жақын массивін алдын ала (озыңқы) бекіту негізделеді.
Түйінді сөздер: *Хромтау кен орны, шахта, қазбаларды бекіту, кернеулі күй, модельдеу, серпімді емес деформация аймағы, рамалық бекіткіш, тау жынысы, тазарту жұмыстары.*

Selection of the optimal type of fastening of mine workings based on modeling of the stressed state of underground structures

Abstract. The article is devoted to the study of the forecast of the formation of a secondary stress-strain state (VAT) in a rock mass within the boundaries of the influence of cleaning operations at the Khromtau field. Numerical modeling of the stress-strain state of the rock mass and calculation of the bearing capacity of the types of supports used in the mine were performed in the RS2 program, which works on the basis of the finite element method in a two-dimensional formulation, which makes it possible to take into account a significant number of factors affecting the state of the rock mass. The data obtained in the RS2 program are closer to the full-scale processes occurring in the conditions of mining of mineral deposits. On the basis of the carried out constructions and calculations, the preliminary (advanced) fixation of the contour rock mass in the zone of inelastic (destructive) deformations is justified as a priority method for controlling the stability of workings.
Key words: *Khromtau deposit, mine, workings fastening, stress state, modeling, inelastic deformation zone, frame support, rock, cleaning works.*

Введение

Проанализированы методики определения напряженно-деформационного состояния массива горных пород и выбран метод конечных элементов.

Выполнена прогнозная оценка запаса устойчивости горных выработок до и после очистных работ, по результатам которой следует предполагать, что запас устойчивости пройденных выработок в зоне очистного пространства ниже минимально допустимого, следовательно, возможны обрушения и увеличение нагрузки на крепь.

Геомеханические условия Хромтауского месторождения являются типичными для большинства хромитовых месторождений, приуроченных к сильнотрещиноватым массивам скальных горных пород ультраосновного состава: серпентинитам по дуниту, амфиболиту, перидотиту и т.п. [1, 2, 3]. Характерной особенностью таких массивов является низкая устойчивость, обусловленная многочисленными хаотичными трещинами и разно ориентированными тектоническими нарушениями мощностью до 20-50 м, разделяющими массив на структурные блоки различных масштабно-иерархических уровней со слабой междублочной связью, падающей практически до нуля при увлажнении, когда тальковидный милонитовый или серпофитовый заполнитель трещин становится на ощупь мыльным [4, 5]. Кроме того, на обнажениях серпентинизированные породы склонны к ускоренному выветриванию до мелкоблочного состояния с дилатационным увеличением объема [6]. Все это обусловливает проблемы обеспечения устойчивости горных выработок и выбора технологических решений с учетом всего комплекса закономерностей формирования напряженно-деформированного состояния горного массива.

На стадии проектирования основной задачей является выбор местоположения и трассировки выработок с учетом изменений первоначального и вторичного полей напряжений и деформаций, а также в зависимости от принятого порядка разработки и взаимного влияния выработок в различных геомеханических условиях. На стадии проведения и крепления горных выработок на глубоких горизонтах Хромтауского месторождения управление их устойчивостью осуществляют в двух основных направлениях [7]. Первое – это ограничение подвижности структурных породных блоков в приконтурном массиве вокруг выработки путем его глубинного анкерования и цементации в уже сформировавшемся своде обрушения кровли или его удержания с помощью «проколотов» (имеется в виду предварительное упрочнение массива по трассе выработки как по своду, так и, возможно, по всему периметру) с целью

обеспечения оптимальной высоты свода обрушения массива над кровлей и зоны неупругих деформаций вокруг сооружаемой выработки, от которых зависит размер зоны негативного влияния проводимой выработки на соседние. Также должен быть минимизирован риск воздействия на постоянную крепь выработки концентрированных пригрузок от подвижек структурных блоков приконтурного массива [8, 9]. Второе направление – снижение напряжений в постоянной крепи за счет уменьшения влияния на крепь смещений породных стенок выработки в призабойной зоне [10, 11] оптимальной крепи для глубоких горизонтов Хромтауского месторождения.

Задача

Осуществить прогноз закономерностей формирования напряженно-деформированного состояния в границах влияния различных вариантов очистных работ блока 20-28 гор. -480 м с учетом оптимизации выполнения основных технологических процессов.

Методика исследования

Проанализирован комплекс геолого-инженерных данных свойств вмещающих пород. Выполнено численное моделирование напряженно-деформационного состояния массива горных пород и расчет несущей способности видов крепи, применяемых на шахте в программе RS2, которая работает на основе метода конечных элементов (Finite Element Method) в двумерной постановке, что позволило учесть значительное количество факторов, влияющих на состояние массива. В качестве модели поведения массива использовалась модель Хоека-Брауна, отличительным преимуществом которой является ее нелинейность.

Принимая во внимание значения δ, C и φ как параметры прямолинейной огибающей кругов Кулона-Мора, величину сцепления C находят из выражения:

$$C = \delta/A, \text{ МПа},$$

где $A = 2 \cos \varphi/1\text{-}\sin\varphi = 2.85$, при $\varphi = 20°$ – параметр линеаризации, огибающей кругов Кулона-Мора;

C и φ – соответственно, сцепление и угол междублокового трения рассматриваемого объема массива, численно равные значениям, получаемым при лабораторных испытаниях образцов.

Тогда значения сцепления C при показанных выше величинах φ составят: для категории устойчивости V – 0.07 МПа; IV – 0.18 МПа; промежуточной между IV и III – 0.35 МПа. Например, в соответствии с предложенной методикой для крепи, сооружаемой на глубине H = 900 м в породах IV категории устойчивости, построены математические модели – расчетные эпюры, установлены конфигурация и размеры неупругих деформаций вокруг выработки. Исходные данные, принятые для расчетов, приведены ниже.

Глубина разработки месторождения – 900 м; сечения горных выработок в черне 15,9 м^2; E_0 – модуль деформации массива горных пород, 5000 Мпа, C – коэффициент сцепления – 0,18; угол внутреннего трения ϕ – 20 градусов; коэффициент Пуассона горных пород – 0,3.

Результаты и обсуждения

Определения зон неупругих деформаций и коэффициента запаса устойчивости выработок

Крепление горных выработок и технологических камер в зависимости от горнотехнических условий предусмотрено по типовым паспортам крепления, разработанным на Донском ГОКе на основании «Инструкции по расчету нагрузок на крепь горных выработок в условиях шахт Донского ГОКа».

Для обоснованного применения мероприятий, направленных на снижение повышенного давления на крепь, интервалы пород, подверженных ускоренному и интенсивному выветриванию, целесообразно выявлять в процессе проходки каждой горно-капитальной и горно-подготовительной выработки по керну опережающих скважин.

Диагональное развитие очистных работ в горизонте (блока, панели) обеспечивает не только сокращение продолжительности эксплуатации горных выработок в зоне опорного давления, но существенно влияет на перераспределение горного давления, способствуя повышению эксплуатационной надежности подготовительно-нарезных выработок. Если при ранее применяемых схемах максимальные горизонтальные напряжения действовали перпендикулярно продольной оси откаточного орта, то при диагональной схеме развития очистных работ и комбинированной ортово-штрековой подготовке максимальные горизонтальные напряжения действуют под углом 35-500 к оси откаточной подготовительной выработки, а продолжительность воздействия горного давления на крепь выработок на отдельных участках сокращается в 1,5-2 раза. При данной схеме увеличивается количество действующих блоков, что позволяет управлять горным давлением и ремонтными работами (перекрепка) на горизонте.

Сечения и тип крепи очистных выработок определяются конкретными горно-геологическими и горнотехническими условиями. Сопряжение заходок с разрезным штреком (ортом) необходимо крепить металлическими рамами с затяжкой кровли. Все сопряжения горизонтальных выработок прямоугольного ответвления и прямоугольного (крестообразного) пересечения крепятся металлической арочной крепью (рисунок 1).

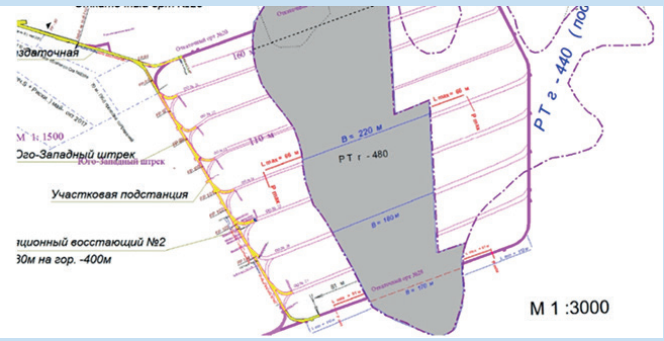

Рис. 1. Обоснование границ влияния очистных работ в первом очистном блоке гор. -480 м.
Сурет 1. -480 гор. тазарту жұмыстарының әсер ету шекараларын негіздеу.
Figure 1. Justification of the boundaries of the impact of cleaning works in the first cleaning block of the mountains -480 m.

Для определения размеров зон неупругих деформаций вокруг выработки построены математические модели в программе RS2, результаты которых приведены на рисунке 2.

Как следует из проведенных расчетов, вокруг выработки образуются зоны разрушений от 4,4 м в своде и до 4,8 м в подошве.

Результаты моделирования позволяют заключить следующее. При минимальной площади сечения выработок площадь поперечного сечения области пластического деформирования, а значит и объем потенциального вывала с увеличением глубины растут линейно для других сечений выработок, это зависимость нелинейна.

С точки зрения увеличения объемов вывала в выработку самым неблагоприятным поперечным сечением является сечение площадю ***S = 16.71 м***; на это указывает наибольший прирост объемов вывала с увеличением глубины заложения выработки.

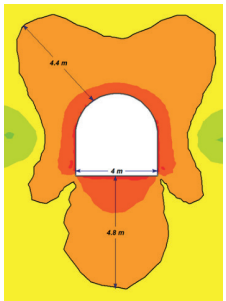

Рис. 2. Зона неупругих деформаций вокруг выработки.
Сурет 2. Қазба айналасындағы серпімді емес деформациялар аймағы.
Figure 2. Inelastic deformation zone around the mine.

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы.

Самой благоприятной, при минимальных объемах разрушенных пород на контуре выработки, является выработка с площадью поперечного сечения ***S = 13,71 м²;*** на это указывают максимальные значения и максимальный прирост объема вывала с учеличением глубины заложения выработки. Самой неблагоприятной, при максимальных объемах разрушенных пород на контуре выработки является выработка с площадью поперечного сечения ***S = 16.71 м²;*** на это указывают максимальные значения и максимальный прирост объема вывала с увеличением глубины заложения выработки.

Результаты моделирования коэффициентов запаса устойчивости приведены ниже в графиках в сводной части выработки, в бортах выработки и почве выработки. Значения коэффициентов запаса устойчивости массива вокруг выработки приведены на рисунке 3.

Сведеные коэффициенты устойчивости вокруг выработок приведены в таблице 1.

Существующие аналитические решения геомеханических задач о напряженно-деформированном состоянии в большинстве своем выполнены для выработок круглой формы. Это связано, в частности, с тем, что описание круглого контура в таких задачах облегчает получение решения.

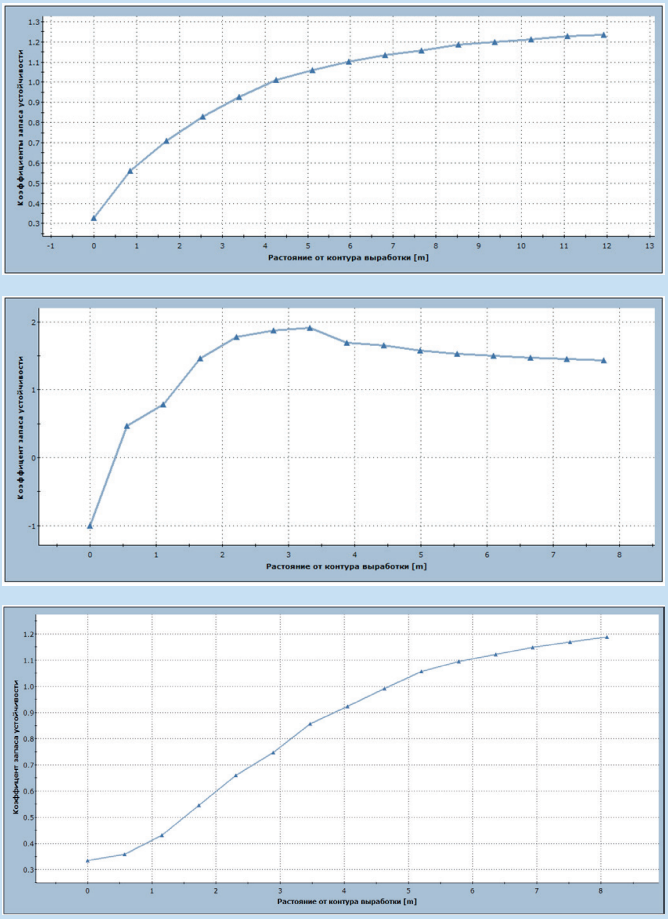

Рис. 3. Коэффициенты запаса устойчивости:
(а) – в сводной части выработки; (б) – в бортах выработки; (в) – в почве выработки.
Сурет 3. Тұрақтылық коэффициенттері:
(а) – қазбаның төбе бөлігінде; (б) – қазбаның борттарында; (в) – қазбаның табанында.
Figure 3. Coefficients of the stability margin:
(a) – in the consolidated part of the workings; (b) – in the sides of the workings; (c) – in the soil of the workings.

Вместе с тем, реальные горные выработки в шахтах имеют очертания контура, отличные от круглого. Таким образом, имеющиеся решения могут быть распространены на реальные объекты с известной долей вероятности.

Прогноз развития геомеханической ситуации в массиве горных пород в границах влияния очистных работ

Для прогноза размеров зон разрушений вокруг выработки при проведении проходческих работ в крест простирания, по простиранию и по диагонали рудного тела построены математические модели в программе RS2, результаты которых приведены на рисунке 4.

По результатам математического моделирования методом конечных элементов прогнозные зоны неупругих деформаций при проведении проходческих работ в крест простирания пород равен в сводной части 4,3 м, в подошве 4,8 м, при направлении проходки по диагонали, ЗНД равен в сводной части 5,0 м, в подошве 5,5 м и при направлении проходки по простиранию пород, ЗНД равен в сводной части 5,6 м, в подошве 5,8 м. Из чего следует утверждать,

Таблица 1

Коэффициенты устойчивости выработок

Кесте 1

Қазбалардың тұрақтылық коэффициенттері

Table 1

Coefficients of stability of workings

Растояние от контура выработки, м	Коэффициент запаса устойчивости		
	в кровле	в бортах	в почве
1	0,6	0,7	0,3
2	0,7	1,5	0,6
3	0,81	1,8	0,75
4	1,0	1,6	0,91
5	1,05	1,5	1,05
6	1,1	1,4	1,1
7	1,11	1,35	1,11
8	1,18	1,3	1,19
9	1,2	1,3	1,19
10	1,22	1,3	1,19
11	1,24	1,3	1,19
12	1,26	1,3	1,19

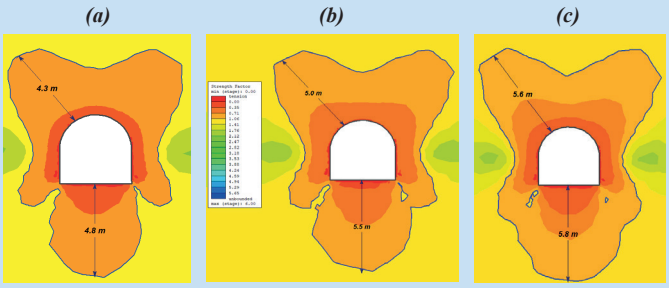

Рис. 4. Прогнозная зона неупругих деформаций:
(a) – при проведении выработок в крест простирания; (b) – при проведении выработок по диагонали; (c) – при проведении выработок по простиранию пород.
Сурет 4. Серпімді емес деформациялардың болжамды аймағы: *(a) – қазбаларды созылу крестіне жүргізу кезінде; (b) – қазбаларды диагональ бойынша жүргізу кезінде; (c) – жыныстарды созу бойынша қазбаларды жүргізу кезінде.*
Figure 4. Forecast zone of inelastic deformations:
(a) – when carrying out workings in the strike cross; (b) – when carrying out workings along the diagonal; (c) – when carrying out workings along the strike of rocks.

что выработки будут наиболее устойчивы при направлении проходки в крест простирания рудного тела.

Ниже на рисунке 5 ***(a, b, c, d, e, f, g, h, i)*** приведены результаты численного анализа по определению зон возможных разрушений в промежутке между осями 20-28.

Как следует из проведенных расчетов, вокруг выработки образуются зоны неупругих деформаций (разрушений) от 4,4 м в своде и до 4,8 м в подошве.

Прогноз зон неупругих деформаций при проведении проходческих работ по простиранию, в крест простирания и по диагонали рудного тела показал, что наиболее благоприятными является проходка выработок в крест простирания рудного тела (проходка ортами).

Определены зоны неупругих деформаций между осями 20-28, по результатам которых видно, что максимальные зоны разрушения наблюдаются в оси №24, а наименьшее в осях №20 и №28. Результаты численного моделирования приведены в таблице 2.

Прогноз опасных проявлений горного давления при недостаточной изученности геомеханических условий разработки, свойственной начальному этапу освоения месторождения, может производиться по результатам математическиго моделирования НДС в окрестности горных выработок, позволяющим дать предварительную оценку состояния приконтурной части и проследить характер его изменения на различных этапах отработки. Точность полученных оценок определяется соответствием принятых в расчетной модели параметров реальному состоянию со свойствами массива.

В задачах о математическом моделировании НДС массив горных пород может рассматриваться как сплошная упругая среда с заданными механическими свойствами. Такой подход не всегда отражает реальную ситуацию. Однако для задач горной практики, связанных с анализом изменения НДС массива под влиянием техногенных воздействий, предположение о сплошности упругой среды позволяет получить достаточно хорошо согласующиеся с практикой результаты.

Существующие теории прочности позволяют определить разрушение горных пород при любом виде напряженного состояния на основании опытных данных, полученных при каких-либо простейших видах нагружения.

Таблица 2

Результаты численного моделирования

Кесте 2

Сандық модельдеу нәтижелері

Table 2

Numerical simulation results

Ось	Зона неупругих деформаций (м)		Ось	Зона неупругих деформаций (м)	
	в кровле	в почве		в кровле	в почве
20	3,0	20	25	4,5	25
21	3,8	21	26	4,2	26
22	4,3	22	27	3,2	27
23	4,6	23	28	3,1	28
24	5,1	24			

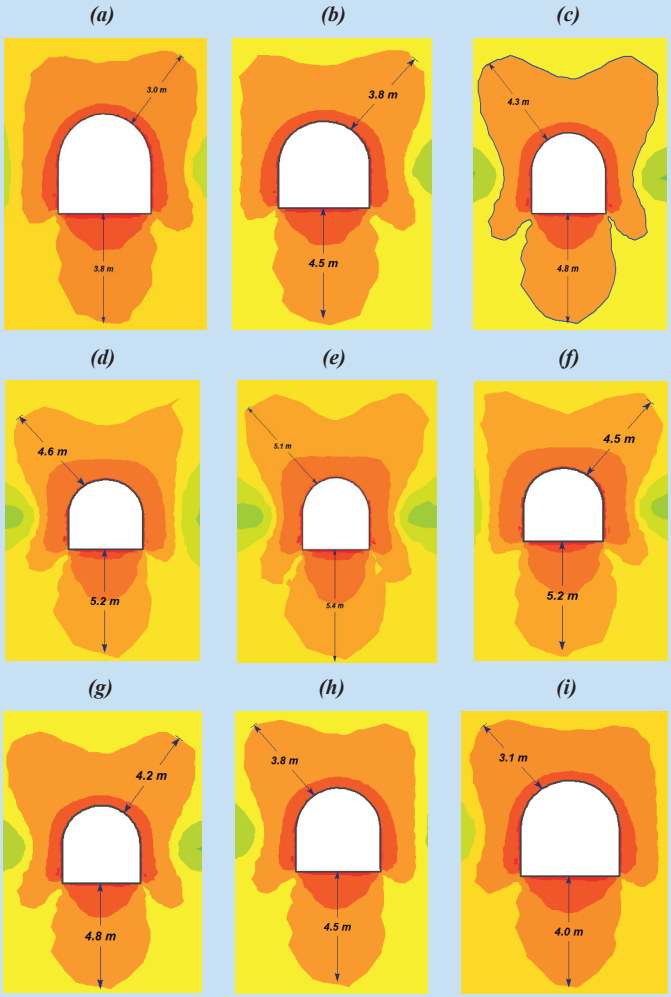

Рис. 5. Прогнозная зона неупругих деформаций по оси: *(a) – №20; (b) – №21; (c) – №22; (d) – №23; (e) – №24; (f) – №25; (g) – №26; (h) – №27; (j) – №28.*
Figure 5. Forecast zone of inelastic deformation along the axis: *(a) – №20; (b) – №21; (c) – №22; (d) – №23; (e) – №24; (f) – №25; (g) – №26; (h) – №27; (j) – №28.*
Сурет 5. Ось бойынша серпімді емес деформациялардың болжамды аймағы: *(a) – №20; (b) – №21; (c) – №22; (d) – №23; (e) – №24; (f) – №25; (g) – №26; (h) – №27; (j) – №28.*

Заключение

Выполненные расчеты показали, что вычисленный отпор крепи оказывается несоизмеримо малым по сравнению с величинами компонент поля начальных напряжений в массиве. В таких условиях проведение мероприятий по укреплению массива в окрестности выработки может быть более эффективным, чем установка большего числа рам или переход на более массивные профили крепи. Способ повышения надежности крепления за счет установки замков с повышенным сопротивлением податливости, обеспечивающих более высокий отпор рам крепи, как показывают исследования, не позволяет достигать ощутимых положительных результатов. Таким образом, разработанный метод моделирования напряженного состояния подземной конструкции и выполненные на его основе расчеты позволили обосновать наиболее эффективный способ управления устойчивостью горных выработок в процессе их проведения, строительства и эксплуатации на глубоких горизонтах шахт Хромтауских месторождений путем предварительного (опережающего) закрепления приконтурного массива горных пород.

В научной статье были выполнены следующие задачи: анализ горно-геологических и горнотехнических условий разработки шахты; анализ методик определения напряженно-деформационного состояния; численный анализ напряженно-деформационного состояния массива горных пород гор. -480 м; прогнозная оценка НДС массива, основанная на применении эффективных численных методов и позволяющая повысить надежность прогноза «горно-геомеханической» обстановки на выемочном участке. Как следует из проведенных расчетов, вокруг выработки образуются зоны неупругих деформаций (разрушений) от 4,4 м в своде и до 4,8 м в подошве.

Прогноз зон неупругих деформаций при проведении проходческих работ по простиранию, в крест простирания и по диагонали рудного тела показал, что наиболее благоприятной является проходка выработок в крест простирания рудного тела (проходка ортами).

Определены зоны неупругих деформаций между осями 20-28, по результатам которых видно, что максимальные зоны разрушения наблюдаются в оси №24, а наименьшие в осях №20 и №28.

Благодарность

Данная статья опубликована в рамках грантового финансирования исследований молодых ученых по проекту Комитета науки Министерства и высшего образования Республики Казахстан «Жас ғалым» на 2022-2024 годы, ИРН – AP14972815.

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. Вып. 15. Ч. 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. *Арыстан И.Д. Выбор и обоснование технологии крепления подготовительных выработок в условиях неустойчивых массивов на примере рудника «10-лет Независимости Казахстана». / И.Д. Арыстан, М.Б. Баизбаев, А.К. Матаев, Л.М. Абдиева, Ж.К. Богжанова, Р.М. Абдрашев. // Уголь. 2020. №6. С. 10-16 (на русском языке)*
4. *Арыстан И.Д., Абеуов Е.А., Абдрашев Р.М. и др. Крепление горизонтальных горных выработок в условиях шахт Донского ГОКа. // VIII Международная научно-практическая конференция «Современные тенденции и инновации в науке и производстве», 3-4 апреля 2019. Кемерово: КузГТУ (на русском языке)*
5. *Griffiths D.V. Анализ устойчивости склона с помощью конечных элементов. / Griffiths D.V. and Lane P.A. // Геотехника. 1999. Вып. 49. №3. С. 387-403 (на английском языке)*
6. *Hoek E., Carranza-Torres C. and 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. 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. *Haimson B.C. Предлагаемые ISRM методы оценки напряжений в горных породах. Гидравлический разрыв пласта (ГРП) и/или гидравлические испытания ранее существовавших трещин (HTPF). / Haimson B.C. and Cornet F. // Международный журнал механики горных пород и горных наук. 2003. Ч. 40. С. 1011-1020 (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)*
11. *Barton N.R. Инженерная классификация сочлененных горных массивов для проектирования крепи тоннеля. / Barton N.R., Line R., Lunde J. // Механика горных пород. 1974. Том 6. С. 189-236 (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. *Арыстан И.Д. «Қазақстан Тәуелсіздігіне 10 жыл» кенішінің мысалында тұрақсыз массивтер жағдайында дайындық қазбаларын бекіту технологиясын таңдау және негіздеу. / И.Д. Арыстан, М.Б. Баизбаев, А.К. Матаев, Л.М. Абдиева, Ж.К. Богжанова, Р.М. Абдрашев. // Көмір. 2020. №6. Б. 10-16 (орыс тілінде)*
4. *Арыстан И.Д., Абеуов Е.А.,. Абдрашев Р.М, Матаев А.Қ. Дон КБК шахталары жағдайында көлденең тау-кен қазбаларын бекіту. // «Ғылым мен өндірістегі заманауи үрдістер мен инновациялар» VIII Халықаралық ғылыми-практикалық конференция, 3-4 сәуір 2019. Кемерово: КузГТУ. 2019 (орыс тілінде)*

5. Griffiths D.V. Соңғы элементтердің көмегімен көлбеу тұрақтылықты талдау. / Griffiths D.V. and Lane P.A. // Геотехника. 1999. Шығ. 49. №3. Б. 387-403 (ағылшын тілінде)
6. Hoek E., Carranza-Torres C. and 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, eds. Р.Э. Хаммах және басқалар. Шығ. 2002. 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. Haimson B.C. ISRM тау жыныстарындағы кернеуді бағалау әдістерін ұсынды-3 бөлім. / Haimson B.C. and F. Cornet. // Гидравликалық сыну (HF) және/немесе бұрыннан бар жарықтарды гидравликалық сынау (HTPF). 2003. Бөл. 40. Б. 1011-1020 (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. 223 б. (ағылшын тілінде)
11. Barton N.R. Туннель бекіткішін жобалауға арналған буын тау жыныстарының инженерлік классификациясы. / Barton N.R., Line R., Lunde J. // Тау жыныстарының механикасы. 1974. Т. 6. Б. 189-236 (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. / A.K. Matayev, A.S. Kainazarova, I.D. Arystan, Ye. Abeuov, A.S. Kainazarov, M.B. Baizbayev, V.F. Demin, M.G. Sultanov. // Mining of Mineral Deposits. 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 [The choice of the parameters of the support and the technology of its construction at the Voskhod Coal deposit. // «Coal». 2020. №10. P. 17-22] (in Russian)
3. Arystan I.D. Vybor i obosnovanie tekhnologii krepleniya podgotovitel'nykh vyrabotok v usloviyakh neustoichivykh massivov na primere rudnika «10-let Nezavisimosti Kazakhstana». / I.D. Arystan, M.B. Baizbayev, A.K. Mataev, L.M. Abdieva, Zh.K. Bogzhanova, R.M. Abdrashev. // «Ugol'». 2020. №6. S. 10-16 [Selection and justification of the technology of fastening preparatory workings in unstable massifs on the example of the mine «10 years of Independence of Kazakhstan». // «Coal». 2020. №6. P. 10-16] (in Russian)
4. Arystan I.D., Abeuov E.A., Abdrashev R.M. etc. Kreplenie gorizontal'nykh gornykh vyrabotok v usloviyakh shakht Donskogo GOKa. // VIII Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Sovremennye tendentsii i innovatsii v nauke i proizvodstve», 03-04 aprelya 2019. Kemerovo: KuzGTU, 2019 [Fastening of horizontal mine workings in the conditions of the mines of the Donskoy GOK. // VIII International Scientific and Practical Conference «Modern trends and innovations in science and production», April 03-04, 2019. Kemerovo: KuzSTU, 2019] (in Russian)
5. Griffiths D.V. Slope stability analysis by finite elements. / Griffiths D.V. and Lane P.A. // Geotechnique. 1999. Vol. 49. №3. P. 387-403 (in English)
6. Hoek E., Carranza-Torres C. and 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. 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. Haimson B.C. Cornet. Int. J. of Rock Mech., Min. Sci. / B.C. Haimson and F. Cornet. // ISRM Suggested Methods for Rock Stress Estimation – Part 3: Hydraulic Fracturing (HF) and/or Hydraulic Testing of Pre-existing Fractures (HTPF). 2003. P. 40. P. 1011-1020 (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: thes. ... m.a.sc. Vancouver, University of British Columbia: 1992. 223 p. (in English)
11. Barton N.R. Engineering classification of jointed rock masses for the design of tunnel support. / N.R. Barton, R. Lien, J. Lunde. // Rock Mechanics. 1974. Vol. 6. P. 189-236 (in English)

Сведения об авторах:
Матаев А.Қ., PhD, старший преподаватель кафедры «Разработка месторождения полезных ископаемых», НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), *mataev.azamat@mail.ru*; https://orcid.org/0000-0001-9033-8002
Имашев А.Ж., Доктор PhD, заведующий кафедры «Разработка месторождения полезных ископаемых», НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), *imashev_85@mail.ru*; https://orcid.org/0000-0002-9799-8115
Хусан Б., старший преподаватель кафедры «Разработка месторождения полезных ископаемых», НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), *hbolat@mail.ru;* https://orcid.org/0000-0003-0996-348X
Шайке Н.К., PhD докторант, старший преподаватель кафедры «Разработка месторождения полезных ископаемых», НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» (г. Караганда, Казахстан), *nurlan_shaike@mail.ru;* https://orcid.org/0000-0002-2395-4566

Авторлар туралы мәліметтер:
Матаев А.Қ., PhD, «Пайдалы қазбалар кенорындарын игеру» кафедрасының аға оқытушысы, КеАҚ «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» (Қарағанды қ., Қазақстан)
Имашев А.Ж., PhD Докторы, қауымдастырылған профессор, «Пайдалы қазбалар кенорындарын игеру» кафедрасының меңгерушісі, КеАҚ «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» (Қарағанды қ., Қазақстан)
Хусан Б., PhD, «Пайдалы қазбалар кенорындарын игеру» кафедрасының аға оқытушысы, КеАҚ «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» (Қарағанды қ., Қазақстан)
Шәйке Н.Қ., PhD докторант, «Пайдалы қазбалар кенорындарын игеру» кафедрасының аға оқытушысы, КеАҚ «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» (Қарағанды қ., Қазақстан)

Information about the authors:
Matayev A.K., PhD, senior lecturer of the Department «Development of mineral deposits», NAO «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)
Imashev A.Zh., PhD, Head of the Department «Development of mineral deposits», NAO «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)
Khussan B., PhD, Senior lecturer of the Department «Development of mineral deposits», NAO «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)
Shayke N.K., PhD doctoral student, senior lecturer of the Department of Mineral Deposit Development, NAO «Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov» (Karaganda, Kazakhstan)