

малогабаритной, термомеханической пресс-сдвиговой установке интенсивного действия, в которой одновременно происходит измельчение (истирание) известняка, его механическое активирование, нагрев за счёт теплоты внутреннего трения до температуры его обжига и сама термическая диссоциация, при этом в качестве исходного сырья используется известняк с крупностью зерен < 5 мм из отвалов отходов его рассева после измельчения. Ускорение процесса обезуглероживания на 23-25%, снижение энергопотребления на 28-32%, сокращение выбросов газов в атмосферу в 4 раза и улучшение экологической обстановки за счет использования мелкозернистой извести в качестве первичного сырья из дробленого урожая. Показана возможность получения строительных растворов термомеханической обработкой извести на прессовальном агрегате. Полученные результаты подтверждают возможность регулирования степени декарбонизации известняка, активности получаемой известковой массы посредством варьирования величины давления на обрабатываемый слой известняка, скорости вращения и диаметра ротора установки.

Результаты научно-экспериментальных исследований позволяют использовать в качестве сырьемелкодисперсный меловые отходы.

УДК 622.016
МРНТИ 52.13.25

DOI 10.52578/2305-9397-2022-1-2-194-201

Кыдрашов А.Б., техника ғылымдарының магистрі, негізгі автор, <http://orcid.org/0000-0002-1404-1589>

Қарағанды техникалық университеті, 100027, Н. Назарбаев даңғылы, 56, Қарағанды қ., Қазақстан Республикасы, a.kydrashov@mail.ru

Ашекенова А.А., педагогика ғылымдарының магистрі, <http://orcid.org/0000-0003-1194-1110>
«Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті» КеАҚ, Жәңгір хан көшесі, 51, Орал қ., 090009, Қазақстан Республикасы, aliusha_3314609@mail.ru

Тажимаев Д.К., техника ғылымдарының кандидаты, <http://orcid.org/0000-0002-6303-5644>
ҚР ҰҒА Жер қойнауын игеру және геомеханика институты, 720052, Медеров көш., 98, Бішкек қ., Қырғыз Республикасы, a.dantaji@mail.ru

Kydrashov A.B., Master of technical sciences, the main author, <http://orcid.org/0000-0002-1404-1589>

«Karaganda technical university», 100027, 56 N. Nazarbayev Avenue, Karaganda city, Republic of Kazakhstan, a.kydrashov@mail.ru

Ashekenova A.A., Master of pedagogical sciences, <http://orcid.org/0000-0003-1194-1110>
NJSC «West Kazakhstan Agrarian and Technical University named after Zhangir khan», Uralsk, st. Zhangir khan 51, 090009, Kazakhstan, aliusha_3314609@mail.ru

Tazhibayev D.K., candidate of technical sciences, <http://orcid.org/0000-0002-6303-5644>
«Institute of Geomechanics and Subsoil» Development of the National Academy of Sciences of the Kyrgyz Republic, 720052, 98, Mederov Str., Bishkek city, Republic of Kyrgyzstan, a.dantaji@mail.ru

**ТҮЙІСПЕ ҚАЗБАСЫНА КЕРНЕУДІҢ ӘСЕРІН ТАУ-КЕН ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ
ПАРАМЕТРЛЕРДІ ЕСКЕРІП САНДЫҚ МОДЕЛЬДЕУ
NUMERICAL MODELING OF THE EFFECT OF STRESSES WHEN JOINING
WORKINGS, TAKING INTO ACCOUNT MINING AND TECHNOLOGICAL
PARAMETERS**

Аннотация

Әртүрлі бекітпелердің функционалдық мүмкіншіліктерін анықтау үшін салыстырмалы аналитикалық зерттеулер жүргізілді. Тау-кен қазбаларды қарнақтармен, құрама тіреумен, рамалық тіреумен бекіткенде тау қысымы анықталып, олардың жұмыс жасау деңгейі пысықталды. Сонымен шақтыдағы бақылаудан алынған мәліметтер мен барлау ұңғымасының геологиялық құрылымын модельге енгізіп көп сатылы модельдедік. Сатылап модельдеудің нәтижесі көрсеткеніндей, қазбалар арасындағы түйіспеге дейінгі қашықтықтың кернеудің

мәніне әсер ететін негізгі фактор екенін көрсетті. Қазбаға дейінгі қашықтыққа кернеудің тәуелділігін көреміз. Кернеудің максималды мәні 57 МПа қазбалардың түйіскен жерінде туындайды және 3-6 м аралықта тау сілемінің контур маңына технологиялық әсер етуді қажет етеді. Түйіспе қазбалардың жапсарласуы аймағында кернеудің кілт өзеруі байқалады. Қазбалардың бірлескен аймағында орналасқан кентіректің вертикальды қысымды өзіне алады. Ұсынылған мақалада Phase² бағдарламасын қолдану арқылы тау сілемінің кернеулі-деформациялы күйін есептеу нәтижелерімен игерудің тау-кен-технологиялық параметрлеріне тәуелді қазбаның орнықтылығына әсер ететін кернеудің параметрлері анықталды.

ANNOTATION

Comparative analytical studies were carried out to determine the functionality of various types of support. When securing the working with anchors, combined or frame support, the occurrence of rock pressure was established and the level of their operation was revealed. Thus, a multistage modeling of the geological structure of the exploration well and the data obtained as a result of observations was carried out. The results of step-by-step modeling showed that the distance to the joint between workings is the main factor affecting the magnitude of stresses. We see the dependence of the stress on the distance to working. The maximum stress is 57 MPa at the junction of the pits and requires technological action along the contour of the mine working at a distance of 3-6 m. Stress fluctuations are observed in the junction zone. It takes on the vertical pressure of the workings located in the conjugation zone. In the presented article, based on the results of calculating the stress-strain state of a rock mass using the Phase² program, the parameters of stresses affecting the stability of a mine are determined, depending on the mining and technological parameters of development.

Түйін сөздер: кернеулі-деформациялы күйі, тау-кен-технологиялық үрдістері, сандық модельдеу, бекітпе, конвергенция, тау сілемі.

Key words: stress-strain state, mining and technological processes, numerical modeling, support, convergence, massif.

Кіріспе. Жер асты кеніштеріндегі бекітпенің түрін таңдау екі міндетпен сипатталады: бір жағынан, бекітудің пайдалану шығындарын азайту, екінші жағынан, тау — кен жұмыстарының қауіпсіздігін қамтамасыз ету. Осыған байланысты учаскелік геологтың тау жыныстарының тұрақтылығын анықтауы, әсіресе тау — кен кәсіпорындарының қиын экономикалық жағдайында, бекітпенің түрі мен параметрлерін таңдау әрдайым қарапайым бола бермейді. Тау-кен қазбаларының бекітпесі мынадай негізгі талаптарды қанағаттандыруы тиіс:

- ✓ қазбалардың жұмыс жағдайын және ондағы қауіпсіз жұмыс жағдайын барлық қызмет мерзімі ішінде қамтамасыз ету;
- ✓ бекітпені дайындауға, орнатуға және оны бүкіл қызмет ету мерзімі ішінде пайдалануға арналған бастапқы шығындардың сомасы ең аз болуы тиіс;
- ✓ бекітпе өндірістік процестердің орындалуына кедергі келтірмеуі, қазбаларды жүргізу және пайдалану кезінде техникалық асқынулар туғызбауы тиіс [1].

Тау-кен жұмыстары барысында мамандармен дайындама қазбасы жасалады, бұл ретте бекітпелердің қажетті түрін анықтау маңызды рөл атқарады. Дайындама қазбасын қазып өту кезінде белгілі қарнақтық жүйелерді қолдануға мүмкіндігіне әсер ететін факторлар: қарнақтық бекітпенің беріктілігі; тау-кен қазбасының маңайындағы тау жынысының қауіпті деформациялық аймағының өлшемі; қазбаның төбесінде тұрған тау жыныстарының жылжуының шамасы, конвергенция шамасы, қазбаның қызмет ету мерзімі, тау-кен қазбасының бекітілген төбесінің қауіпсіз ығысуының (түсуінің) шекті шамасы болып табылады [2].

Зерттеу әдістері. Компьютерлік технологияның дамуына байланысты математикалық модельдеуде дәстүрлі аналитикалық әдістермен қатар сандық әдістер кеңінен қолданылуда. Геомеханиканың маңызды қолданбалы мәселелерін шешуде инженерлік және ғылыми ортада соңғы элементтер әдісі, соңғы айырмашылық әдісі, шекаралық интегралдық тендеулер әдісі және басқа әдістер кең таралған [3].

Соңғы элементтер әдісі.

Соңғы элементтер әдісін кернеулі-деформацияланған массивті зерттеу үшін, соның ішінде көмір шахталарындағы гео- және газ-динамикалық құбылыстардың есептерін шешу үшін математикалық модельдеу құралдарының бірі ретінде қолдануға болады [4].

Соңғы элементтер әдісімен барлық мәселелік домен - бір-бірімен қабаттаспайтын болып бөлінеді, түйіндер деп аталатын нүктелер арқылы бір-бірімен байланысқан аймақтардан тұрады. Әрқайсысының сипатын, тепе-теңдік шарттарын қанағаттандыратын элемент, үйлесімділік, материалды құрушы сипаты және шекаралық жағдайлар сипатталады және элементтер бірге жинақталады. Бұл инженерлік есептер үшін ең танымал әдіс [5]. Қолданбалы инженерлік есептерді кей жағдайда ғана аналитикалық түрде шешуге мүмкін болады [6], көбіне сызықтық емес жоғары ретті дифференциалдық теңдеулер жүйесін шешуге тура келеді. Сол себепті әмбебап есептеу бағдарламаларына негізделген компьютер құрылғылары қажет. Соңғы элементтер әдісі есептеуде компьютердің үлкен қуатын талап етеді. Үлкен жиынтық теңдеулерді бірмезетте бірнеше шешімдерді алу үшін сақтау керек.

Соңғы айырмашылық әдісі

Мұнда қатты дене төртбұрыштан тұратын ақырғы элементтер торға бөлінеді, бірақ шешім қабылдау схемасы басқаша.

Қозғалыс теңдеулерін пайдаланып кернеулер мен деформациялардан алынған, деформация жылдамдығы жаңа жылдамдықтардан және деформация жылдамдығынан жаңа кернеулерден алынған есептеу циклінде жаңа жылдамдықтар мен орын ауыстырулар болады [7]. Сызықты емес модельдер жақсы шешімдердің нақты схемаларымен өңделеді. Компьютер жадына қойылатын талаптар төменірек үлкен матрицаларды сақтаудың қажеті жоқ, бірақ шешім уақыты аз уақытқа байланысты көбірек болуы мүмкін сандық тұрақтылықты қамтамасыз ететін қадамдар арқылы іске асады [8].

Эксперименттік бөлім. Геомеханиканың көптеген қолданбалы міндеттері (массивтің сенімді болжамды механикалық күйлерін, оның ішінде кернеу, деформация және қозғалыс өрістерінің параметрлерін қамтамасыз ету) әртүрлі контурларды қамтитын тау жыныстары массивінің кернеулі-деформацияланған күйін анықтаумен байланысты. Мұндай мәселелерді көптеген зерттеушілер математикалық және физикалық модельдеудің әртүрлі әдістерімен шешті. Мысалы, [9] еңбегінде көрсетілгендей, В.З. Власов тау жыныстарының гетерогенді қабатты массивінде тікбұрышты қиманың бекітілмеген өндірісінің кернеулі-деформацияланған күйін вариациялық әдіс негізінде анықтауды сипаттап өткен.

Түйіспе қазбасына кернеудің әсерін тау-кен технологиялық параметрлерді ескеріп сандық модельдеу үшін әр түрлі бекітпелердің қызметтік мүмкіншіліктерін анықтау бойынша салыстырмалы зерттеу жүргізілді. Бекітпенің жұмыс қабілетінің деңгейі мен рамалық және құрама, қарнақтық бекітпемен қазбаны бекітуде тау қысымының болуы анықталды. Тазартпа жұмыстарының әсер ететін және әсер етпейтін аймақтарындағы қазбаның бекітпедегі тау жыныстарының сілемдегі қысымның ерекшеліктерін анықтау; қазбаның әртүрлі типтегі төбелер үшін сілемдегі тау жыныстарында құрылымдық құрылыстың жылжуы, физикалық-механикалық үрдістердің әсер ету сипатын бекіту зерттеудің тапсырмасы болып табылады [10]. Деформация мен кернеулер өрісін тудыратын факторларға мыналарды жатқызуға болады: сілемдегі тау жыныстарының физикалық-механикалық қасиеттерінің алшақтығы (деформациялық, беріктілік және т.б.), сыртқы әсерлер, сілем шекарасының ауытқуы. Статикалық әдісті пайдалана отырып, тау жыныстары механикасының тапсырмаларын сәйкесінше шешуге болады: массивтердегі деформациялық процестерді зерттеу, олардың деформациялық қасиеттері бойынша статистикалық біртекті емес, массивтердегі шекті тепе-теңдік жағдайға көшу, статистикалық олардың беріктілігі бойынша гетерогенді қасиеттері; массивтердегі механикалық процестердің әсер ететін шекаралары [11].

Нәтижелерді бақылау. Зерттеу жұмысын баяндау барысында қолданбалы инженерлік есептерде қуатты және тиімді есептеу құрылғысы саналатын бағдарламалардың қажеттілігі аталды. Гук заңы шеңберінде деформацияланатын тау жыныстары массивінің кернеулі-деформацияланған жай-күйінің болжамын модельдеу үшін Flac бағдарламасы тиімді болса [12], тау сілемінің кернеулі-деформациялы күйін бағалау үшін Phase 2 бағдарламасын қолдануға болатындығы төменде көрсетілген.

Phase 2 бағдарламасы инженерлік есептеулердің кең ауқымын шешу, оның ішінде жобалау және тұрақтылықты соңғы-элементтік талдау үшін пайдаланылады. Бағдарлама күрделі, көп сатылы модельдерді тез құруға және талдауға мүмкіндік береді: сынғыш және көп

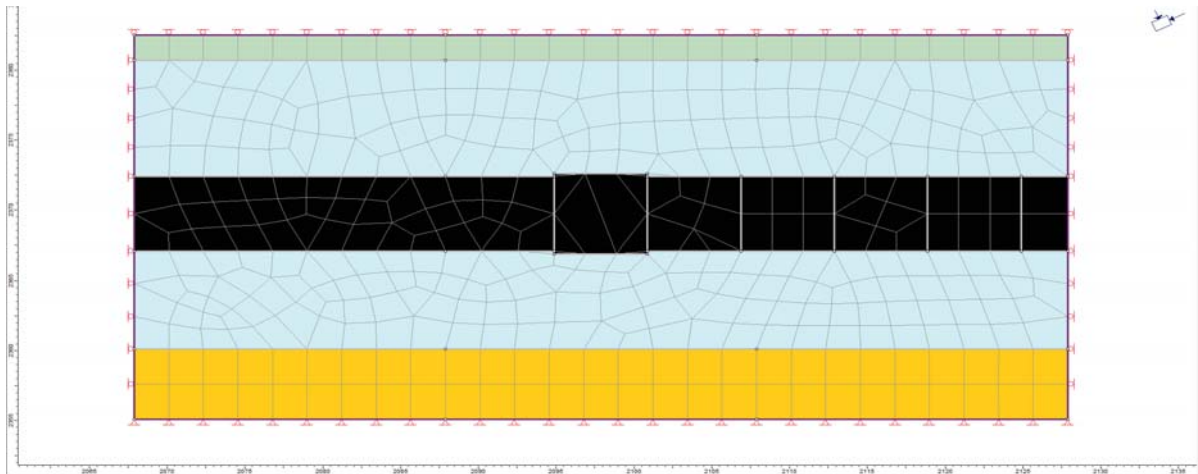
қабатты тау жыныстарындағы туннельдер, терең жерасты шақтылары, карьерлер мен көлбеу қазбалар, қорғандар, бөгеттер, жер құрылыстары және басқалары [13].

Жазықтықта жинау-бөлшектеу кен үңгірінің кіре-берісіндегі тазалау механикаландырылған кешені немесе түйіспе қазбасын салу кезіндегі тау-кен жұмыстары кезіндегі туындайтын жазықтықтағы кернеулерді анализдеу үшін қажет. Нәтижелерді анализдеу үшін соңғы элементтер әдісін қолданамыз [14].

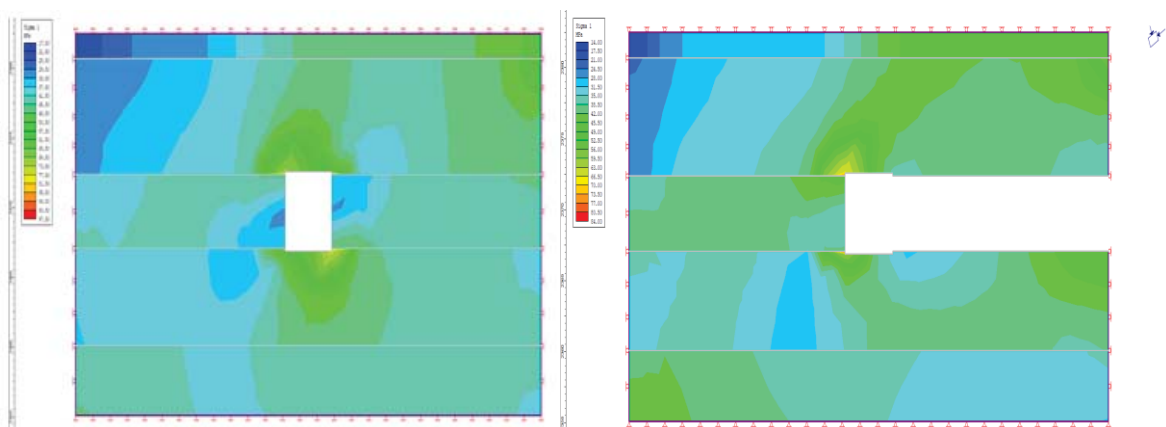
“АрселорМитталТемиртау” АҚ ҚД “Қазақстан” шақтысында Дб көмір қабатын бірнеше сатыда модельдеу іске асырылды. Бірінші сатыда түйіспе мен тау-кен қазбасының контурлары және көмір қабаты мен бос тау жыныстарының параметрлері берілді. Олардың орналасу параметрлері 1 суретте бейнеленген.

Тау-кен қазбасының қимасы - тіктөртбұрышты ені 6 метр биіктігі 4 метр [15].

Көмір мен тау жынысының параметрлері енгізілгеннен соң, соңғы элементтеріне тор тұрғызылды. Қабаттық қазба жүргізілген кездегі кернеулерге және кернелі-деформациялы күйіне зерттеу жүргізілді. Қазба контурының бұрыштарында кернеудің артқаны байқалды. Қазбалар қосылған кезде тау қысымының білінгенін көреміз. Түйіспе қазбасын біртіндеп өткен кезде 2.а) және 2.б) суреттерде сатылары бейнеленген [16].



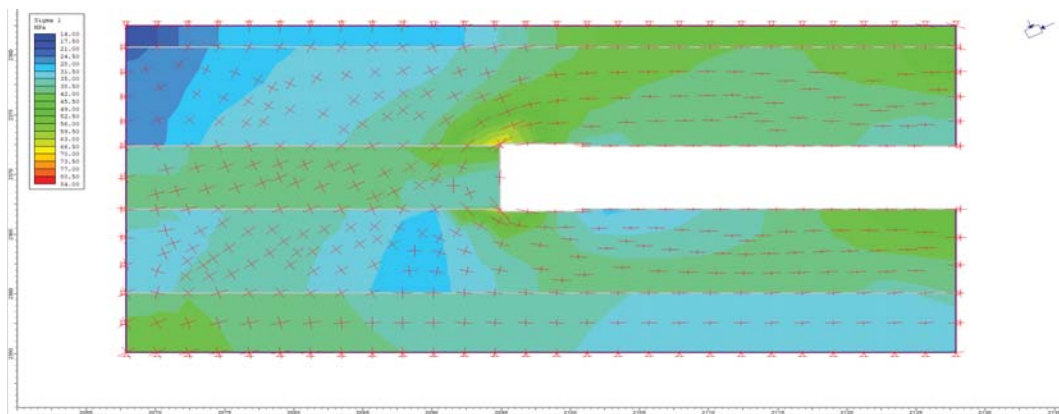
Сурет 1 - Көмір қабаты мен тау жыныстарының орналасу параметрлері



а - тау-кен қазбасының контуры бойынша аймағындағы кернеулер

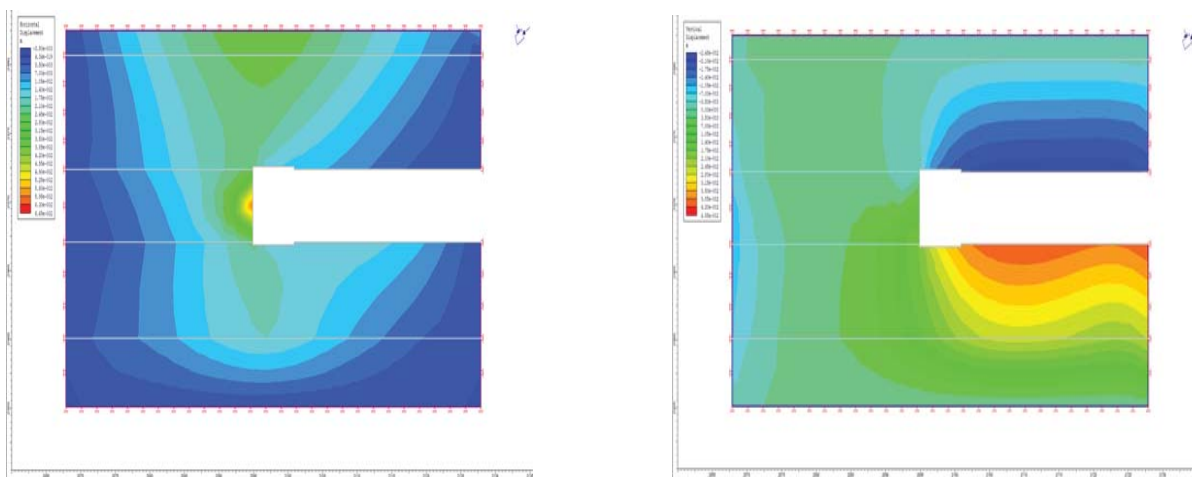
б - түйіспе қазбасындағы тау сілемінің кернеулі күйінің бағамы

Сурет 2 – кернеу сатылары



Сурет 3 - Түйіспе қазбасының маңайындағы кернеудің траекториялары

Кернеудің минималды мәні σ_3 10-20 МПа құрайды. 3 суретте қызыл крестик түріндегі бейнеленген кернеудің траекториясы көрсетілген.

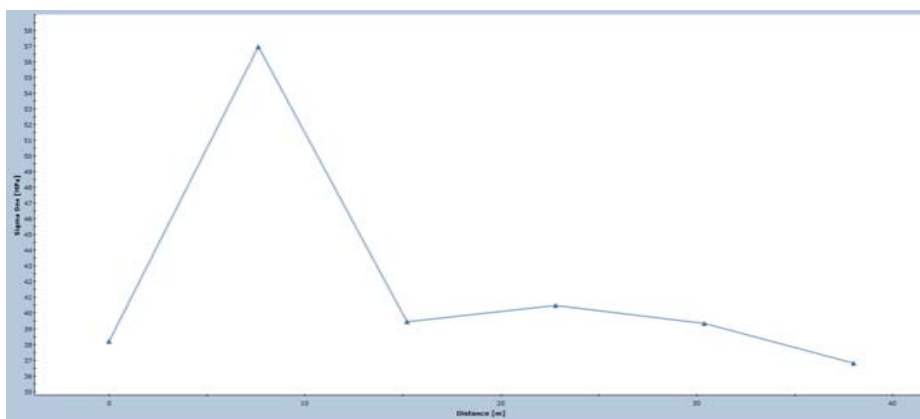


а - қазбаның жапсарласуы кезіндегі горизонтальды ығысуы

б - қазбалардың бірігуі кезіндегі вертикальды ығыс

Сурет 4 – қазбалардың ығысуы

Вертикальды және горизонтальды ығысулардың бағалауы 4.а) және 4.б) суреттерде көрсетілген. Горизонтальды ығысу U_x қазбаның барлық жағынан белсенді білінеді. Вертикальды ығысу U_y қазбаның табанында максималды ығысу соңғы сатысында 0,04-0,1 м дейін байқалады [18].



Сурет 5 – Тазартпа қазбасынан қашықтығына байланысты қазбалар аймағындағы кернеулер

Қазбаның біріккен жеріне кернеудің әсерін көреміз. Қазбаның бұрыштарындағы кернеудің B_1 максимальды мәні 49-61МПа жетеді [17].

Қорытынды. Сатылап модельдеудің нәтижесі көрсеткеніндей, қазбалар арасындағы түйіспеге дейінгі қашықтықтың кернеудің мәніне әсер ететін негізгі фактор екенін көрсетті. 5 суреттегі бейнеленген графиктен қазбаға дейінгі қашықтыққа кернеудің тәуелділігін көреміз.

Кернеудің максимальды мәні 57 МПа қазбалардың түйіскен жерінде туындайды және 3-6 м аралықта тау сілемінің контур маңына технологиялық әсер етуді қажет етеді. Түйіспе қазбалардың жапсарласуы аймағында кернеудің кілт өзеруі байқалады [19, 20]. Қазбалардың бірлескен аймағында орналасқан кентіректің вертикальды қысымды өзіне алады. Ұсынылған мақалада Phase 2 бағдарламасын қолдану арқылы тау сілемінің кернеулі-деформациялы күйін есептеу нәтижелерімен игерудің тау-кен-технологиялық параметрлеріне тәуелді қазбаның орнықтылығына әсер ететін кернеудің параметрлері анықталды.

Конфликт. Корреспондент автор авторлардың атынан мүдделер қақтығысының жоқ екендігін баяндайды.

Алғыс айту. Ғылыми жетекшім Бахтыбаев Нурбол Бахтыбаевичке ақыл-кеңесімен әрқашан қолдау білдірген үшін алғыс айтамын.

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Крупник, Л. Пути совершенствования технологии анкерного крепления на горнодобывающих предприятиях Казахстана [Текст] / Л. Крупник, Ю.Шапошник, С. Шапошник // Инженерная безопасность. – 2016. - №1.- С. 61-66.
2. Hoek, E. Practical estimates of rock mass strength [Текст] / E. Hoek, E.T. Brown // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. – 1997. - №34(8). – p. 1165-1186.
3. Господариков, А.П. Численное моделирование на основе метода конечных разностей некоторых прикладных задач геомеханики [Текст] / А.П. Господариков, М.А. Зацепин., А.В.Мелешко // Записки Горного института. – 2009. - №4.- С. 238-240.
4. Исабек, Т.К. Моделирование выбросоопасного состояния массива с дизъюнктивным нарушением и горной выработкой методом конечных элементов [Текст]/ Т.К. Исабек, Н. Хуанган, А.Р. Айтпаева, Р.Т. Шаймерденова // Уголь. - 2020. - №2. – С. 55-61.
5. Зейнуллин, А.А., Оценка способов поддержания горных выработок на основе применения анкерной крепи на шахтах Карагандинского угольного бассейна [Текст]/ А.А. Зейнуллин, Е.А. Абеуов, В.Ф. Демин, С.Б. Алиев, А.С. Кайназарова, А.С. Кайназаров // Уголь. – 2020. - №2. - С. 4-9.
6. Господариков, А.П. Алгоритм расчета слоистого массива для прогноза напряженного состояния кровли угольного пласта в зоне очистных работ [Текст]/А.П. Господариков, С.В.Васильев, М.А. Зацепин // Записки Горного института. – 2003. - №155 (1). – С. 48-56.
7. Калиткин, Н.Н. Численные методы [Текст]: учебник / Н.Н. Калиткин. - БХВ-Петербург, 2011, 592 с.
8. Парамонов, В.Н. Метод конечных элементов при решении нелинейных задач геотехники [Текст]: учебник / В.Н. Парамонов. – С-Петербург: СПб, 2012.- 264 с.
9. Господариков, А.П. Нелинейное деформирование слоистого породного массива с учетом обжатия по вертикали [Текст]: учебник / А.П. Господариков. - С-Петербург: СПГИ (ТУ) 1999. – 285 с.
- 10.Имашев, А.Ж. Обоснование оптимальной формы сечения горных выработок в соответствии с рейтинговой классификацией [Текст] / А.Ж. Имашев, А.М. Суимбаева, Ш.А. Абдибайтов, А.А. Мусин, С.Ю. Асан // Уголь. – 2020.- №6. – С. 4-9.
- 11.Арыстан, И.Д. , Выбор и обоснование технологии крепления подготовительных выработок в условиях неустойчивых массивов на примере рудника «10-лет Независимости Казахстана» [Текст] / И.Д. Арыстан, М.Б. Баизбаев, А.К. Матаев, Л.М. Абдиева, Ж.К. Богжанова, Р.М.Абдрашев // Уголь. – 2020.- №6. – С. 10-14.
- 12.Daniel, B. FLAC and Numerical Modeling in Geomechanics/B. Daniel, X. Rachez // Lyon: Second international FLAC symposium. - 29-31 October 2001.
- 13.Шпаков, П.С. Численное моделирование напряженно-деформированного состояния массива в окрестностях чистого пространства в программе "Phase 2" [Текст]/П.С. Шпаков, В.Н.Долгоносков, А.А. Нагибин, Е.В. Кайгородова / Уголь. – 2015.- №6. – С. 59-66.

14. Rafiee, A. Application of geostatistical characteristics of rock mass fracture systems in 3D model generation [Текст] / A. Rafiee, V. Vinches // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. – June 2008. - №45(4). - Pages 644-652.

15. Katelyn, K. Uncertainty quantification of structural and geotechnical parameter by geostatistical simulations applied to a stability analysis case study with limited exploration data [Текст] / Katelyn Kring, Snehamoy Chatterjee // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. – 2020. - №125. 104157.

16. Qibin, Lin Strength and failure characteristics of jointed rock mass with double circular holes under uniaxial compression: Insights from discrete element method modelling [Текст] / Qibin Lin, PingCao, JingjingMeng, Rihong Cao, Zhiye Zhao // Theoretical and Applied Fracture Mechanics. – 2020. - №109. – 102692.

17. Lee, H. An experimental and numerical study of fracture coalescence in pre-cracked specimens under uniaxial compression [Текст] / H. Lee, S. Jeon // Int. J. Solids Struct. – 2011. - №, 48 (6) - pp. 979-999.

18. Fan, Xiang Mechanical behavior of rock-like jointed blocks with multi-non-persistent joints under uniaxial loading: A particle mechanics approach [Текст]/Xiang Fan, P.H.S.W. Kulatilake, Xin Chen // Engineering Geology. – 2015. - №190. - Pages 17-32.

19. Takhanov, D. Geomechanics substantiation of pillars development parameters in case of combined mining the contiguous steep ore bodies [Текст] / D. Takhanov, B. Muratuly, Zh. Rashid., A. Kydrashov // Mining Of Mineral Deposits. – 2021. - № 15(1). – pages 50-58.

20. Имашев, А.Ж. Численное моделирование геомеханических процессов с помощью программы "Phase 2" [Текст] / А.Ж. Имашев, Н.Б. Бахтыбаев, Н. Тилеухан, Г. Жунусбекова, К. К. Жаканов // Горный журнал Казахстана. – 2013. - №7.- С.10-13.

REFERENCES

1. Krupnik, L. Puti sovershenstvovaniya tehnologii ankernogo krepneniya na gornodobyvajushhih predpriyatijah Kazahstana [Tekst] / L. Krupnik, Ju. Shaposhnik, S. Shaposhnik // Inzhenernaja bezopasnost'. – 2016. - №1.- S. 61-66.

2. Hoek, E. Practical estimates of rock mass strength [Tekst] / E. Hoek, E.T. Brown // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. – 1997. - №34(8). – p. 1165-1186.

3. Gospodarikov, A.P. Chislennoe modelirovanie na osnove metoda konechnyh raznostej nekotoryh prikladnyh zadach geomehaniki [Tekst] / A.P. Gospodarikov, M.A. Zacepin, A.V. Meleshko // Zapiski Gornogo instituta. – 2009. - №4.- S. 238-240.

4. Isabek, T.K. Modelirovanie vybrosoopasnogo sostojaniya massiva s dizjunktivnym narusheniem i gornoj vyrabotkoj metodom konechnyh jelementov [Tekst] / T.K. Isabek, N. Huangan, A.R. Ajtpaeva, R.T. Shajmerdenova // Ugol'. - 2020. - №2. – S. 55-61.

5. Zeynullin, A.A. Otsenka sposobov podderzhaniya gornykh vyrabotok na osnove primeneniya ankernoy krepni na shakhtakh Karagandinskogo ugolnogo basseyna [Tekst]/ A.A. Zeynullin, E.A. Abeuov, V.F. Demin, S.B. Aliyev, A.S. Kaynazarova, A.S. Kaynazarov // Ugol'. – 2020. - №2. - S. 4-9.

6. Gospodarikov, A.P. Algoritm rascheta sloistogo massiva dlja prognoza naprjazhennogo sostojaniya krovli ugol'nogo plasta v zone ochistnyh rabot [Tekst] / A.P. Gospodarikov, S.V. Vasil'ev, M.A. Zacepin // Zapiski Gornogo instituta. – 2003. - №155 (1). – S. 48-56.

7. Kalitkin, N.N. Chislennye metody [Tekst]: uchebnik/N.N. Kalitkin.-Izdatel'stvo: BHV-Peterburg, 2011, 592 s.

8. Paramonov, V.N. Metod konechnyh jelementov pri reshenii nelinejnyh zadach geotehniki [Tekst]: uchebnik / V.N. Paramonov. - Izdatel'stvo: S-Peterburg, 2012. - 264 s.

9. Gospodarikov, A.P. Nelinejnoe deformirovanie sloistogo porodnogo massiva s uchedom obzhatija po vertikali [Tekst]: uchebnik / A.P. Gospodarikov. - S-Peterburg: SPGTI (TU) 1999. – 285 s.

10. Imashev, A.Zh. Obosnovaniye optimalnoy formy secheniya gornykh vyrabotok v sootvetstviy s reytingovoy klassifikatsiyey [Tekst] / A.Zh. Imashev, A.M. Suimbaeva, Sh.A. Abdibaitov, A.A. Musin, S.Yu. Asan // Ugol'. – 2020.- №6. – S. 4-9.
11. Arystan, I.D. (2020) Vybory i obosnovaniye tekhnologii krepleniya podgotovitelnykh vyrabotok v usloviyakh neustoychivyykh massivov na primere rudnika «10-let Nezavisimosti Kazakhstana» [Tekst] / I.D. Arystan, M.B. Baizbayev, A.K. Matayev, L.M. Abdiyeva, Zh.K. Bogzhanova, R.M. Abdrashev // Ugol'. – 2020.- №6. – S. 10-14.
12. Daniel, B. FLAC and Numerical Modeling in Geomechanics/B. Daniel, X. Rachez // Lyon: Second international FLAC symposium. - 29-31 October 2001.
13. Shpakov, P.S. Chislennoye modelirovaniye naprjazhenno-deformirovannogo sostojaniya massiva v okrestnosti ochistnogo prostranstva v programme «Phase 2» [Tekst]/ P.S. Shpakov, V.N. Dolgonosov, A.A. Nagibin, E.V. Kajgorodova / Ugol'. – 2015. - №6. – S. 59-66.
14. Rafiee, A. Application of geostatistical characteristics of rock mass fracture systems in 3D model generation [Tekst] / A. Rafie, V. Vinches // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. – June 2008. - №45(4). - Pages 644-652.
15. Katelyn, K. Uncertainty quantification of structural and geotechnical parameter by geostatistical simulations applied to a stability analysis case study with limited exploration data [Tekst] / Katelyn Kring, Snehamoy Chatterjee // International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. – 2020. - №125. 104157.
16. Qibin, Lin Strength and failure characteristics of jointed rock mass with double circular holes under uniaxial compression: Insights from discrete element method modelling [Tekst] / Qibin Lin, PingCao, JingjingMeng, Rihong Cao, Zhiye Zhao // Theoretical and Applied Fracture Mechanics. – 2020. - №109. – 102692.
17. Lee, H. An experimental and numerical study of fracture coalescence in pre-cracked specimens under uniaxial compression [Tekst] / H. Lee, S. Jeon // Int. J. Solids Struct. – 2011. - №, 48 (6) - pp. 979-999.
18. Fan, Xiang Mechanical behavior of rock-like jointed blocks with multi-non-persistent joints under uniaxial loading: A particle mechanics approach [Tekst]/ Xiang Fan, P.H.S.W. Kulatilake, Xin Chen // Engineering Geology. – 2015. - №190. - Pages 17-32.
19. Takhanov, D. Geomechanics substantiation of pillars development parameters in case of combined mining the contiguous steep ore bodies [Tekst] / D. Takhanov, B. Muratuly, Zh. Rashid, A. Kydrashov // Mining Of Mineral Deposits. – 2021. - № 15(1). – pages 50-58.
20. Imashev, A.Zh. Chislennoye modelirovaniye geomekhanicheskikh protsessov s pomoshch'yu programmy “Phase²” [Tekst] / A.Zh. Imashev, N.B. Bakhtybaev, N. Tileukhan, G. Zhunusbekova, K.K. Zhakanov // Gornyy Zhurnal Kazakhstana. - 2013. - №7.- S.10-13.

РЕЗЮМЕ

В представленной статье по результатам расчета напряженно-деформированного состояния горного массива с помощью программы Phase² определены параметры напряжений, влияющих на устойчивость выработки в зависимости от горно-технологических параметров разработки. Были проведены сравнительные аналитические исследования для определения функциональности различных видов крепи. Установлено появление горного давления при креплении выработки анкерами, комбинированной или рамной крепью, определен уровень их эксплуатации. Таким образом, выполнено многоступенчатое моделирование на основе данных, полученных в результате наблюдений и из геологических разведочных скважин. Результаты пошагового моделирования показали, что расстояние до стыка между выработками является основным фактором, влияющим на величину напряжений. Показана зависимость напряжений от расстояния до сопряжения. Максимальное напряжение составляет 57 МПа на стыке горных выработок при технологическом воздействии по контуру горной выработки на расстоянии 3-6 м. В зоне сопряжения наблюдаются колебания напряжения. Зона сопряжения воспринимает на себя вертикальное давление.