

Код МРНТИ 52.13.25:52.01.77

Д.К. Тажибаев¹, *А.Б. Кыдрашов², А.А. Мурзагалиева³, А.К. Абдыгалиева³

¹Қырғыз Ұлттық Ғылым академиясының Жер қойнауын игеру және геомеханика институты (Бішкек қ., Қырғызстан),

²Қарағанды техникалық университеті (Қарағанды қ., Қазақстан),

³Қазақстан, Орал, Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті (Орал қ., Қазақстан)

ТҮЙІСПЕ ҚАЗБАСЫНА КЕРНЕУДІҢ ӘСЕРІН ТАУ-КЕН ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ПАРАМЕТРЛЕРДІ ЕСКЕРІП САНДЫҚ МОДЕЛЬДЕУ

Аңдатпа. Әртүрлі бекітпелердің функциональдық мүмкіншіліктерін анықтау үшін салыстырмалы аналитикалық зерттеулер жүргізілді. Тау-кен қазбаларды карнактармен, құрама тіреумен, рамалық тіреумен бекіткенде тау қысымы анықталып, олардың жұмыс жасау деңгейі пысықталды. 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. 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.

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

Численное моделирование влияния напряжений при сопряжении выработок с учетом горно-технологических параметров

Аннотация. Проведены сравнительные аналитические исследования для определения функциональности различных видов крепи. Установлено проявление 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. По результатам расчета напряженно-деформированного состояния горного массива с помощью программы «Phase 2» определены параметры напряжений, влияющих на устойчивость выработки в зависимости от горно-технологических параметров разработки.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, горно-технологические процессы, численное моделирование, крепь, сопряжение, конвергенция, массив.

Numerical modeling of the effect of stresses when joining workings, taking into account mining and technological parameters

Abstract. 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. 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. Based on the results of calculating the stress-strain state of a rock mass using the «Phase 2» program, the parameters of stresses affecting the stability of a mine are determined, depending on the mining and technological parameters of development.

Key words: stress-strain state, mining and technological processes, numerical modeling, support, convergence, massif, «Phase 2» program, stability of a mine, rock pressure, step-by-step modeling.

Кіріспе

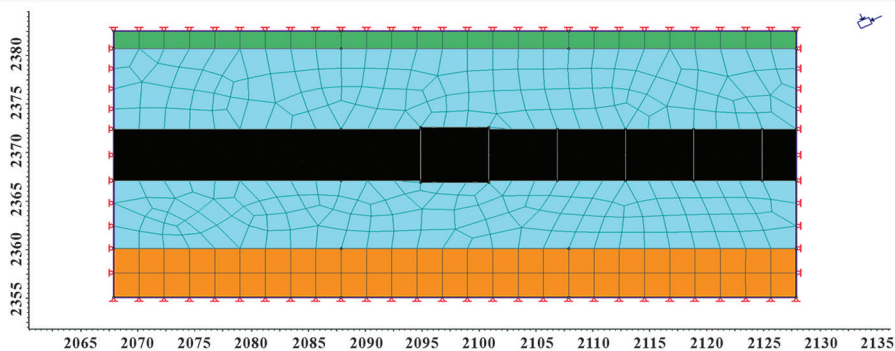
Дайындама қазбасын қазып өту кезінде белгілі қарнақтық жүйелерді қолдануға мүмкіндігіне әсер ететін факторлар: қарнақтық бекітпенің беріктілігі; тау-кен қазбасының маңайындағы тау жынысының қауіпті деформациялық аймағының өлшемі; қазбаның төбесінде тұрған тау жыныстарының жылжуының шамасы, конвергенция шамасы, қазбаның қызмет ету мерзімі, тау-кен қазбасының бекітілген төбесінің қауіпсіз ығысуының (түсуінің) шекті шамасы болып табылады [1].

Соңғы элементтер әдісі

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



Сурет 1. Көмір қабаты мен тау жыныстарының орналасу параметрлері.

Figure 1. Parameters of coal seams and rocks.

Рис. 1. Параметры угольных пластов и горных пород.

жинақталады. Бұл инженерлік есептер үшін ең танымал әдіс, бірақ әдіс есептеуде компьютердің үлкен қуатын талап етеді. Үлкен жиынтық теңдеулерді бірізетте бірнеше шешімдерді алу үшін сақтау керек [2].

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. 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 [3].

Эксперименттік бөлім

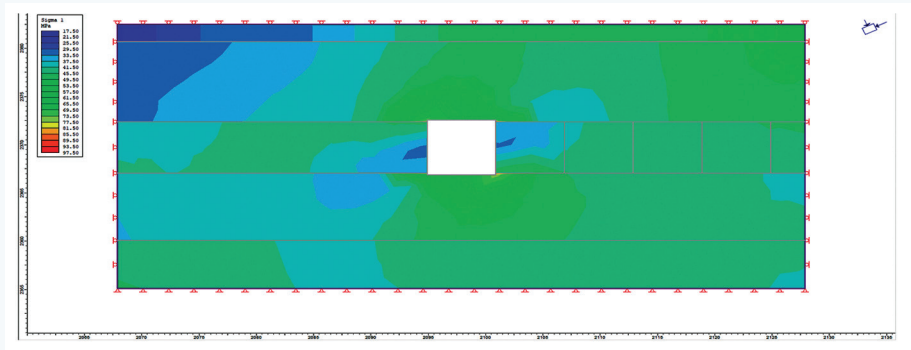
Әртүрлі бекітпелердің қызметтік мүмкіншіліктерін анықтау бойынша салыстырмалы зерттеу жүргізілді. Бекітпенің жұмысқабілетінің деңгейі мен рамалық және құрама, қарнақтық бекітпемен қазбаны бекітуде тау қысымының болуы анықталды. Тазартпа жұмыстарының әсер ететін және әсер етпейтін аймақтарындағы қазбаның 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 [4]. 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 [5].

Нәтижелерді бақылау

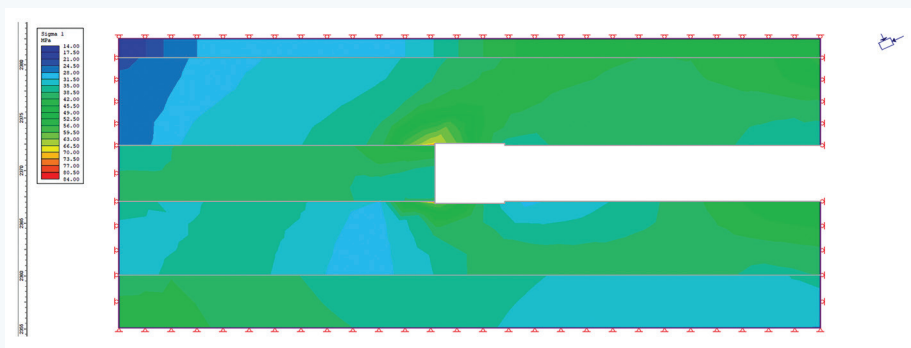
Тау сілемінің кернеулі-деформациялы күйін бағалау үшін



Сурет 2. Тау-кен қазбасының контуры бойынша аймағындағы кернеулер.

Figure 2. Stresses in the zone along the contour of the mine.

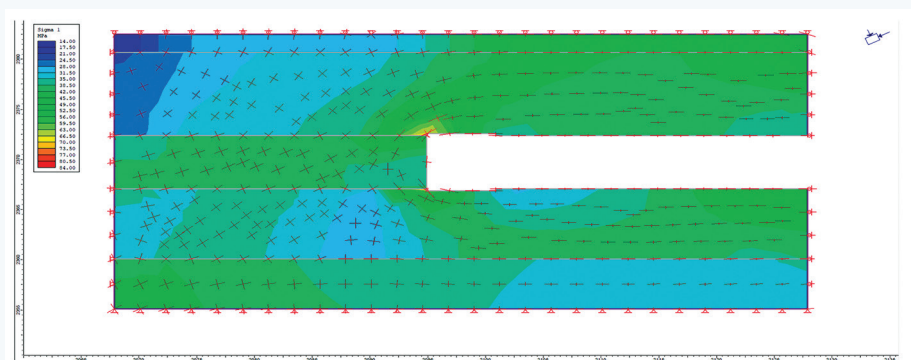
Рис. 2. Напряжения в зоне по контуру шахты.



Сурет 3. Түйіспе қазбасындағы тау сілемінің кернеулі күйінің бағамы.

Figure 3. Assessment of the stress state of the rock mass at joint development.

Рис. 3. Оценка напряженного состояния горного массива при совместной выработке.



Сурет 4. Түйіспе қазбасының маңайындағы кернеудің траекториялары.

Figure 4. Stress trajectories in the joint excavation area.

Рис. 4. Траектории напряжений в районе совместной выемки.

«Phase 2» бағдарламасын қолдануға болатындығы төменде көрсетілген. Жазықтықта жинау-бөлшектеу кенүңгірінің кіреберісіндегі

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 [6].

«АрселорМитталТемиртау» АҚ КД «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. Тау-кен қазбасының қимасы – тіктөртбұрышты ені 6 м биіктігі 4 м [7].

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 артқанын көреміз. Қазбалар қосылған кезде тау қысымының білінгенін көреміз. Түйіспе қазбасын біртіндеп өткен кезде 2-3 суреттерде сатылары бейнеленген [8].

Қазбаның біріккен жеріне кернеудің әсерін көреміз. Қазбаның бұрыштарындағы кернеудің σ_1 максималды мәні 49-61 МПа жетеді [9].

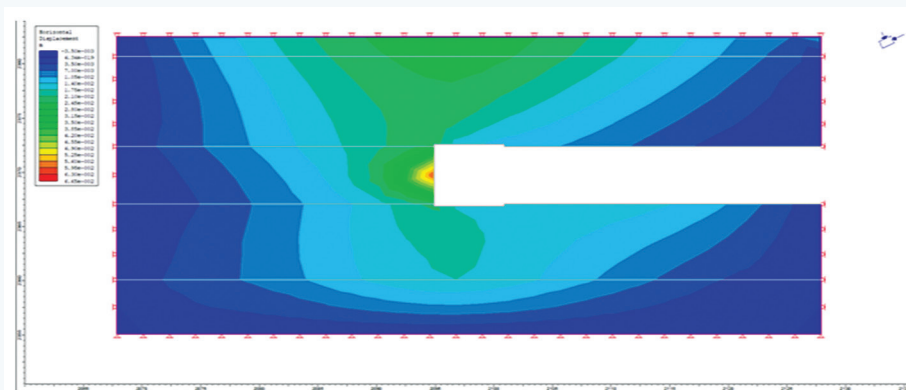
Кернеудің минималды мәні σ_3 10-20 МПа құрайды. 4 суретте қызыл крестик түріндегі бейнеленген кернеудің траекториясы көрсетілген.

Вертикальды және горизонтальды ығысулардың бағалауы 5-6 суреттерде көрсетілген.

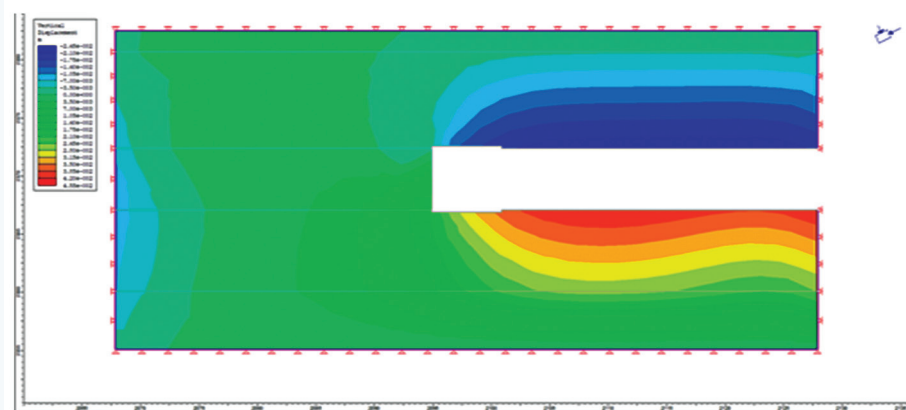
Горизонтальды ығысу U_x қазбаның барлық жағынан белсенді білінеді. Вертикальды ығысу U_y қазбаның табанында максималды ығысу соңғы сатысында 0,04-0,1 м дейін байқалады [10].

Қорытынды

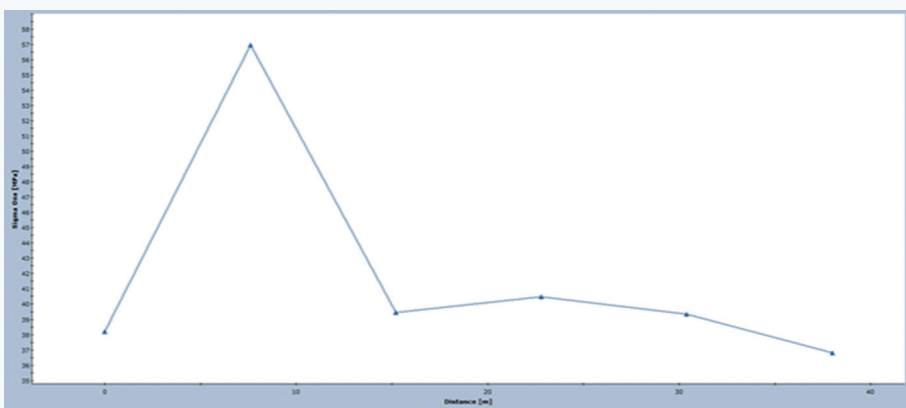
Сатылап модельдеудің нәтижесі көрсеткеніндей қазбалар арасындағы түйіспеге дейінгі қашықтықтың кернеудің мәніне әсер ететін негізгі фактор екенін көрсетті. 7 суреттегі бейнеленген графиктен қазбаға дейінгі қашықтыққа кернеудің тәуелділігін көреміз. Кернеудің максималды мәні 57 МПа қазбалардың түйіскен жерінде туындайды және 3-6 м аралықта тау сілемінің контур маңына технологиялық әсер етуді қажет етеді. Түйіспе қазбалардың жапсарласуы аймағында кернеудің



Сурет 5. Қазбаның жапсарласуы кезіндегі горизонтальды ығысуы.
Figure 5. Horizontal displacement of mine workings.
Рис. 5. Горизонтальное смещение сопряжения горных выработок.



Сурет 6. Қазбалардың бірігуі кезіндегі вертикальды ығысуы.
Figure 6. Vertical displacement of mine workings.
Рис. 6. Вертикальное смещение горных выработок.



Сурет 7. Тазартпа қазбасынан қашықтығына байланысты қазбалар аймағындағы кернеулер.
Figure 7. Stresses in mine workings due to remoteness from treatment facilities.
Рис. 7. Напряжения в горной выработке из-за удаленности от очистных сооружений.

кілт өзеруі байқалады [11, 12]. 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.

Корреспондент автор авторлардың атынан мүдделер қақтығысының жоқ екендігін баяндайды.

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

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Ноек Е., Brown E.T. Тау массасының беріктігін практикалық бағалау. // Геомеханика мен тау-кен ғылымдарының халықаралық журналы. – 1997. – Т. 34. – Шығ. 8. – Б. 1165-1186 (ағылшын тілінде)
2. Зейнуллин А.А., Абеуов Е.А., Демин В.Ф., Алиев С.Б., Кайназарова А.С., Кайназаров А.С. Қарағанды көмір бассейнінің шахталарында төбелік қарнақты қолдану негізінде шахталық жұмыстарды жүргізу әдістерін бағалау. // Көмір. – 2021. – №2(1139). – Б. 4-9 (орыс тілінде)
3. Исабек Т.К., Хуанган Н., Айтпаева А.Р., Шаймерденова Р.Т. Дезъюнктивті бұзылуы бар тау жыныстарының қауіпті жағдайын модельдеу және соңғы элементтер әдісімен модельдеу. // Көмір. – 2020. – №6(1131). – Б. 55-61 (орыс тілінде)
4. Имашев А.Ж., Суимбаева А.М., Абдибаитов Ш.А., Мусин А.А., Асан С.Ю. Рейтингілік классификацияға сәйкес шахталық өндіріс учаскесінің оңтайлы формасын негіздеу. // Көмір. – 2020. – №6(1131). – Б. 4-9 (орыс тілінде)
5. Арыстан И.Д., Бауизбаев М.Б., Матаев А.К., Абдиева Л.М., Богжанова Ж.К., Абдрашев Р.М. «Қазақстан Тәуелсіздігіне 10 жыл» шахтасының мысалында тұрақсыз массивтердегі өңдеу жұмыстарын қолдау технологиясын таңдау және негіздеу. // Көмір. – 2020. – №6(1131). – Б. 10-14 (орыс тілінде)
6. Rafiee A., Vinches M. 3D моделін құру кезінде тау жыныстарының сыну жүйелерінің геостатистикалық сипаттамаларын қолдану. // Геомеханикасы мен тау-кен ғылымдарының халықаралық журналы. – 2008. – Т. 45. – Шығ. 4. – Б. 644-652 (ағылшын тілінде)
7. Katelyn Kring, Snehamoy Chatterjee. Геостатистикалық модельдеу арқылы құрылымдық және геотехникалық параметрдің белгісіздігінің сандық көрсеткіші шектеулі барлау деректері бар тұрақтылықты талдау жағдайын зерттеуге қолданылады. // Геомеханика мен тау -кен ғылымдарының халықаралық журналы. – 2020. – Шығ. 125. – Б. 104157 (ағылшын тілінде)
8. QibinLin, PingCao, JingjingMeng, Rihong Cao, Zhiye Zhao. Бір осьтік сығылу кезінде қос дөңгелек тесіктері бар біріктірілген тау жыныстарының беріктігі мен бұзылу сипаттамасы: Дискретті элементтер әдісінің модельдеуінен түсініктер. // Теориялық және қолданбалы сыну механикасы. – 2020. – Т. 109. – Б. 102692 (ағылшын тілінде)
9. Lee H., Jeon S. Алдын ала сынған үлгілерде сынықтардың бірігуін эксперименттік және сандық зерттеу. // Қатты денелер мен құрылымдардың халықаралық журналы. – 2011. – №48(6). – Б. 979-999 (ағылшын тілінде)
10. Xiang Fan, P.H.S.W. Kulatilake, Xin Chen. Бір осьті жүктеме кезінде көп төзімді қосылыстары бар тау жынысына ұқсас түйіскен блоктардың механикалық әрекеті: бөлшектер механикасына көзқарас. // Инженерлік геология. – 2015. – Т. 190. – Б. 17-32 (ағылшын тілінде)
11. Takhanov D., Muratuly B., Rashid Zh., Kydrashov A. Геомеханика іргелес тік руда денелерін біріктіріп өндіру кезінде тіректердің даму параметрлерін негіздеу. // Пайдалы қазбаларды өндіру. – 2021. – №15(1). – Б. 50-58. (ағылшын тілінде)
12. Имашев, А.Ж., Бақтыбаев, Н.Б., Тілеухан, Н., Жүнісбекова, Г., Жақанов, Қ.Қ. «Phase 2» бағдарламасының геомеханикалық процессінің моделі. // Қазақстанның кен журналы. – Алматы, 2013. – №7. – Б. 10-13 (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Hoek E., Brown E.T. Practical estimates of rock mass strength. // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. – 1997. – Vol. 34(8). – Issue 8. – P. 1165-1186 (in English)
2. Zeynullin A.A., Abeuov E.A., Demin V.F., Aliyev S.B., Kaynazarova A.S., Kaynazarov A.S. Ocenka sposobov podderzhaniya gornyx vyrabotok na osnove primeneniya ankernoj krepki na shaxtax Karagandinskogo ugol'nogo bassejna [Assessment of ways to maintain mine workings based on the use of roof bolting in the mines of the Karaganda coal basin]. // *Ugol' = Coal*. – 2021. – №2(1139). – P. 4-9 (in Russian)
3. Isabek T.K., Khuangan N., Aytpayeva A.R., Shaymerdenova R.T. Modelirovanie vybrosoopasnogo sostoyaniya massiva s diz'yunktivnym narusheniem i gornoj vyrabotkoj metodom konechnyx e'lementov [Modeling an outburst hazardous state of a rock mass with disjunctive disturbance and mining by the finite element method]. // *Ugol' = Coal*. – 2020. – №6(1131). – P. 55-61 (in Russian)
4. Imashev A.Zh., Suimbaeva A.M., Abdibaitov Sh.A., Musin A.A., Asan S.Yu. Obosnovanie optimal'noj formy secheniya gornyx vyrabotok v sootvetstvii s rejtingovoj klassifikaciej [Substantiation of the optimal shape of the section of mine workings in accordance with the rating classification]. // *Ugol' = Coal*. – 2020. – №6(1131). – P. 4-9 (in Russian)
5. Arystan I.D., Baizbayev M.B., Matayev A.K., Abdiyeva L.M., Bogzhanova Zh.K., Abdrashev R.M. Vychor i obosnovanie texnologii krepneniya podgotovitel'nyx vyrabotok v usloviyax neustojchivyx massivov na primere rudnika «10-let Nezavisimosti Kazaxstana» [Selection and substantiation of technology for supporting development workings in unstable massifs on the example of the mine «10 years of Independence of Kazakhstan»]. // *Ugol' = Coal*. – 2020. – №6(1131). – P. 10-14 (in Russian)
6. Rafiee A., Vinches M. Application of geostatistical characteristics of rock mass fracture systems in 3D model generation// *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. – 2008. – Vol. 45. – Issue 4. – P. 644-652 (in English)
7. Katelyn Kring, Snehamoy Chatterjee. Uncertainty quantification of structural and geotechnical parameter by geostatistical simulations applied to a stability analysis case study with limited exploration data. // *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*. – 2020. – Vol. 125. – P. 104157 (in English)
8. QibinLin, PingCao, JingjingMeng, Rihong Cao, Zhiye Zhao. Strength and failure characteristics of jointed rock mass with double circular holes under uniaxial compression: Insights from discrete element method modelling. // *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*. – 2020. – Vol. 109. – P. 102692 (in English)
9. Lee H., Jeon S. An experimental and numerical study of fracture coalescence in pre-cracked specimens under uniaxial compression. // *International Journal of Solids and Structures*. – 2011. – №48(6). – P. 979-999 (in English)
10. Xiang Fan, P.H.S.W. Kulatilake, Xin Chen. Mechanical behavior of rock-like jointed blocks with multi-non-persistent joints under uniaxial loading: A particle mechanics approach. // *Engineering Geology*. – 2015. – Vol. 190. – P. 17-32 (in English).
11. Takhanov D., Muratuly B., Rashid Zh., Kydrashov A. Geomechanics substantiation of pillars development parameters in case of combined mining the contiguous steep ore bodies. // *Mining of Mineral Deposits*. – 2021. – №15(1). – P. 50-58. (in English)
12. Imashev A.Zh., Bakhtybaev N.B., Tileukhan N., Zhunusbekova G., Zhakanov K.K. Chislennoe modelirovanie geomexanicheskix processov s pomoshh'yu programmy «Phase 2» [Numerical modeling of geomechanical processes using the «Phase 2» program]. // *Gornyj zhurnal Kazaxstana = Mining Journal of Kazakhstan*. – Almaty, 2013. – №7. – P. 10-13 (in Russian)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Hoek E., Brown E.T. Практические оценки прочности массива горных пород. // *Международный журнал механики горных пород и горных наук*. – 1997. – Т. 34. – Вып. 8. – С. 1165-1186 (на английском языке)
2. Зейнуллин А.А., Абеуов Е.А., Демин В.Ф., Алиев С.Б., Кайназарова А.С., Кайназаров А.С. Оценка способов поддержания горных выработок на основе применения анкерной крепи на шахтах Карагандинского угольного бассейна. // *Уголь*. – 2021. – №2(1139). – С. 4-9 (на русском языке)

3. Исабек Т.К., Хуанган Н., Айтпаева А.Р., Шаймерденова Р.Т. Моделирование выбросоопасного состояния массива с дизъюнктивным нарушением и горной выработкой методом конечных элементов. // Уголь. – 2020. – №6(1131). – С. 55-61 (на русском языке)
4. Имашев А.Ж., Суимбаева А.М., Абдибаитов Ш.А., Мусин А.А., Асан С.Ю. Обоснование оптимальной формы сечения горных выработок в соответствии с рейтинговой классификацией. // Уголь. – 2020. – №6(1131). – С. 4-9 (на русском языке)
5. Арыстан И.Д., Баузбаев М.Б., Матаев А.К., Абдиева Л.М., Богжанова Ж.К., Абдрашев Р.М. Выбор и обоснование технологии крепления подготовительных выработок в условиях неустойчивых массивов на примере рудника «10-лет Независимости Казахстана». // Уголь. – 2020. – №6(1131). – С. 10-14 (на русском языке)
6. Rafiee A., Vinches M. Применение геостатистических характеристик систем разрушения горных пород при создании 3D-моделей. // Международный журнал механики горных пород и горных наук. – 2008. – Т. 45. – Вып. 4. – С. 644-652 (на английском языке)
7. Katelyn Kring, Snehatou Chatterjee. Количественная оценка неопределенности структурных и геотехнических параметров с помощью геостатистического моделирования, примененного к тематическому исследованию анализа устойчивости с ограниченными разведочными данными. // Международный журнал горной механики и горных наук. – 2020. – Вып. 125. – С. 104157 (на английском языке)
8. QibinLin, PingCao, JingjingMeng, Rihong Cao, Zhiye Zhao. Характеристики прочности и разрушения сочлененного массива горных пород с двойными круглыми отверстиями при одноосном сжатии: выводы из моделирования методом дискретных элементов. // Теоретическая и прикладная механика разрушения. – 2020. – Т. 109. – С. 102692 (на английском языке)
9. Lee H., Jeon S. Экспериментальное и численное исследование коалесценции трещин в предварительно растрескавшихся образцах при одноосном сжатии. // Международный журнал твердых тел и структур. – 2011. – №48(6). – С. 979-999 (на английском языке)
10. Xiang Fan, P.H.S.W. Kulatilake, Xin Chen. Механическое поведение породоподобных сочлененных блоков с несколькими непостоянными соединениями при одноосном нагружении: подход механики частиц. // Инженерная геология. – 2015. – Т. 190. – С. 17-32 (на английском языке)
11. Takhanov D., Muratuly B., Rashid Zh., Kydrashov A. Геомеханическое обоснование параметров разработки целиков при комбинированной разработке смежных крутых рудных тел. // Разработка месторождений полезных ископаемых. – 2021. – №15(1). – С. 50-58 (на английском языке)
12. Imashev A.Zh., Vakhtybaev N.B., Tileukhan N., Zhunusbekova G., Zhakanov K.K. Численное моделирование геомеханических процессов с помощью программы «Phase 2». // Горный журнал Казахстана. – Алматы, 2013. – №7. – С. 10-13 (на русском языке)

Авторлар туралы мәлімет:

Тажибаяев Д.К., техника ғылымдарының кандидаты, Қырғыз Республикасы Ұлттық Ғылым академиясының Жер қойнауын игеру және геомеханика институтының, «Кен орындарын игеру технологиясы» зертхана менгерушісі (Бішкек қ., Қырғызстан), a.dantaji@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-6303-5644>

Кыдрашов А.Б., техника ғылымдарының магистрі, Қарағанды техникалық университетінің, «Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру» кафедрасының докторанты (Қарағанды қ., Қазақстан), a.kydrashov@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1404-1589>

Мурзағалиева А.А., техника ғылымдарының магистрі, Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті, «Мұнай, газ және химиялық инженерия» жоғары мектебінің аға оқытушысы (Орал қ., Қазақстан), alma_7121972@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8339-0590>

Абдығалиева А.К., техника ғылымдарының магистрі, Жәңгір хан атындағы Батыс Қазақстан аграрлық-техникалық университеті, «Мұнай, газ және химиялық инженерия» жоғары мектебінің аға оқытушысы (Орал қ., Қазақстан), ainagul_132@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-2674-5268>