

Код МРНТИ 52.13.21:52.13.15

Е.Т. Сердалиев<sup>1</sup>, \*Е.Е. Искаков<sup>1</sup>, Б.А. Бахрамов<sup>2</sup>, Д.Б. Аманжолов<sup>3</sup>  
<sup>1</sup>Satbayev University (г. Алматы, Казахстан),  
<sup>2</sup>Акционерное общество «AltynEx company» (г. Алматы, Казахстан),  
<sup>3</sup>Toraighyrov University (г. Павлодар, Казахстан)

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЗРЫВНЫХ РАБОТ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

**Аннотация.** В статье приведены результаты исследования воздействия взрывных работ на массив горных пород при горнопроходческих работах в условиях Восточно-Жезказганского рудника. Описана методика проведения опытно-промышленного исследования воздействия взрыва на устойчивость горных выработок, закрепленных комбинированной крепью, базирующаяся на измерении амплитудных характеристик и скорости распространения сейсмических волн взрыва в массиве и обработке данных методом численного моделирования. Установлены закономерности распространения акустических колебаний в массиве вокруг горной выработки и на основе этого определены запасы прочности применяемой крепи. Достоверность научных выводов обеспечивается проведением необходимого объема экспериментальных исследований в промышленных условиях, созданием численной модели напряженно-деформированного состояния массива вокруг выработки при воздействии взрывом.

**Ключевые слова:** горная выработка, проходка, взрыв, массив, крепь, сейсмический эффект, обрушение, моделирование.

### Тау-кен қазбаларының орнықтылығына жарылыс жұмыстарының әсер етуін эксперименталды зерттеу

**Аннотация.** Мақалада Шығыс-Жезказған кенішінің шарттарында тау-кен жұмыстары кезінде таужыныстары массивіне жарылыс жұмыстарының әсерін эксперименталды зерттеудің нәтижелері берілген. Жарылыс кезінде массивтегі сейсмикалық толқындардың амплитудалық сипаттамалары мен таралу жылдамдығын өлшеуге және сандық модельдеу әдісін пайдалана отырып оңдеуге негізделген, құрама бекітпеммен бекітілген қазбаларының тұрақтылығына жарылыстың әсерін өндіріс шарттарында зерттеу әдісі көрсетілген. Қазба айналасындағы массивтегі акустикалық тербелістердің таралу заңдылықтары негізделіп, соның негізінде қолданылатын бекітпенің қауіпсіздік шегі анықталды. Ғылыми тұжырымдардың сенімділігі өндірістік шарттарда қажетті көлемдегі тәжірибелік зерттеулерді орындау, жарылыс әсерінен қазба айналасындағы массивтің кернеулі-деформациялық күйінің сандық моделін құру арқылы қамтамасыз етіледі.

**Түйінді сөздер:** тау-кен қазбасы, қазба өту, жарылыс, массив, бекітпе, сейсмикалық әсер, опырылу, модельдеу.

### Experimental study of the impact of blasting on the stability of mining works

**Abstract.** The article presents the results of a study of the impact of blasting on a rock mass during mining operations in the conditions of the East-Zhezkazgan mine. A methodology for conducting a pilot study of the impact of an explosion on the stability of mine workings secured with combined support is described, based on measuring the amplitude characteristics and propagation speed of seismic waves of an explosion in a rock mass and processing data using the numerical modeling method. The patterns of propagation of acoustic vibrations in the massif around the mine opening have been established and, on the basis of this, the safety margins of the lining used have been determined. The reliability of scientific conclusions is ensured by carrying out the required amount of experimental research in industrial conditions, creating a numerical model of the stress-strain state of the massif around a working when exposed to an explosion.

**Key words:** mining, excavation, explosion, massif, support, seismic effect, collapse, modeling.

### Введение

Проходка любой подземной выработки сопровождается изменением естественного напряженно-деформированного состояния породных массивов. Механические процессы, порождаемые этим воздействием, влекут за собой формирование нового напряженно-деформированного состояния массива в прилегающих к выработкам участках. Известно, что породный массив представляет собой дискретную, неоднородную и анизотропную среду, где механические процессы деформирования обладают нелинейным временным характером. Помимо геологических факторов, значительное воздействие оказывают технико-технологические условия проходки, включая форму и размеры выработок, их расположение в массиве, способы проходки и поддержания, конструкция и технология установки крепежных элементов и т.д.

Технико-технологические условия проходки выработок приводят к созданию искусственной неоднородности в массиве. Эта неоднородность формируется как результат процессов разрушения, упрочнения и физического выветривания горных пород, происходящих вокруг выработки в период ее проходки или эксплуатации. Так, например, многими исследователями установлено, что при буровзрывном способе проходки выработки в приконтурной зоне возникают трещины взрывного происхождения, интенсивность которых уменьшается по мере углубления в массив, что приводит к формированию технологической неоднородности в нем. Во многих случаях именно эти факторы приводят к возникновению механических

процессов в форме локальных обрушений в процессе горнопроходческих работ [1, 2, 3, 4].

В области взрывных работ, к сожалению, не существует широко принятого метода оценки негативных воздействий взрыва в условиях подземных горных работ. Практически все известные методы оценки сейсмического эффекта и ударно-воздушной волны разработаны прежде всего для наземных массовых взрывов, подземные массовые взрывы в ходе процессов очистных работ рассматриваются очень ограниченно. В частности, методы оценки сейсмического воздействия подземных взрывов при горнопроходческих работах на массив и устойчивость горных выработок, отсутствуют.

Поэтому решение данной задачи целесообразно и эффективно на основании экспериментальных исследований и обработки результатов численными методами, позволяющее обосновать закономерности формирования напряженно-деформированного состояния массива и крепи выработки, определить допустимые параметры взрывного воздействия для применяемых видов крепей и предложить новые рациональные решения.

### Методы исследования и проведение эксперимента

Исследования сейсмического воздействия и ударно-воздушной волны взрыва на породный массив, ослабленного искусственно созданной полостью – горной выработкой, проводились при проходке буро-доставочного штрека, панели 2 (подмост), горизонта 180 м, залежи «Кресты 3-2, 3-1», Шахты 57, Восточно-Жезказганского рудника.

На момент проведения экспериментальных работ выработка была закреплена комбинированной крепью, состоящей из сталеполимерного анкера и набрызгбетона. Отстояние анкерной крепи от забоя составляет 2 м, набрызгбетонного покрытия – 180 мм [5, 6].

Согласно паспорту БВР поперечное сечение выработки составляет  $S = 23,4 \text{ м}^2$ , количество шпуров на один цикл – 37 шт (плюс 2 компенсационных скважины диаметром 89 мм), диаметр шпуров 51 мм, глубина шпуров 3,7 м, расход ВВ на один цикл составляет – 185,6 кг, основной тип ВВ – гранулированный Риохам (178,2 кг), инициирующее ВВ – патронированный Аммонал (7,4 кг), при этом время замедления между двумя группами зарядов составляет до 10000 м/с [5, 6].

Первоначально, исследование было направлено на изучение действия ударно-воздушной волны взрыва на массив методом акустической эмиссии. Для этого на рассматриваемом участке массива, на расстоянии 1,5-2 м от забоя производился контроль по периметру выработки на имеющиеся трещины, разломы, расслоения и изменения их размеров после взрыва, а также выявления новых дефектов. Результаты проведенного визуально-измерительного контроля показаны ниже на рис. 1.



**Рис. 1. Результаты визуально-измерительного контроля массива вокруг рассматриваемой выработки до и после производства взрыва.**

**Сурет 1. Қарастырылып отырған қазба айналасындағы массивті жарылысқа дейін және жарылыстан кейін көзбен өлшеп бақылау нәтижелелі.**  
**Figure 1. Results of visual and measuring control of the massif around the considered mine before and after the explosion.**

В результате визуально-измерительного контроля состояния выработки до и после произведения взрыва ( $Q = 185,6 \text{ кг}$ ) установлено, что в массиве вокруг рассматриваемой выработки в целом не наблюдаются внешние признаки опасных деформаций: новые раскрытые трещины в кровле и боках отсутствуют, величина раскрытия имеющихся трещин не превышает 2%; вывалов пород из кровли не наблюдается; на расстоянии до 1,5 м от забоя присутствуют видимые отслаивания приконтурных слоев со стороны кровли выработки, но без образования куполов в пределах ширины выработки.

Для более полного изучения сейсмического воздействия подземных взрывов на массив и устойчивость горных выработок, следующим этапом служило исследование процессов распространения сейсмических колебаний в породном массиве. Это исследование основано на анализе сейсмоколебаний, возникающих в результате взрыва, и их сравнении с допустимой скоростью смещения [7, 8].

Исследование параметров сейсмического колебания породного массива производилось при помощи станции сейсмомониторинга Sigma 4+ (рис. 2), устанавливаемой непосредственно в горной выработке.

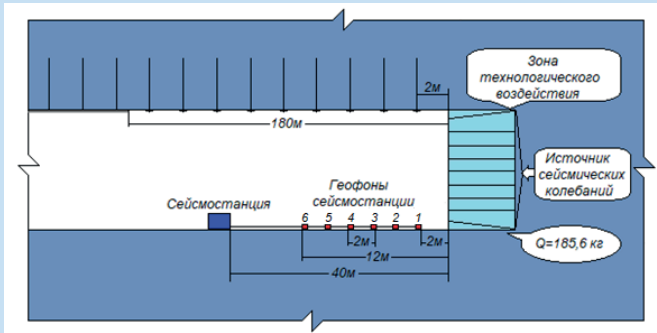


**Рис. 2. Установка станции для сейсмомониторинга Sigma 4+.**

**Сурет 2. Sigma 4+ сейсмикалы-бақылау станциясын орнату.**  
**Figure 2. Installation of Sigma 4+ station for seismic monitoring.**



Сейсмостанция оснащена 6 геофонами, установка геофонов производилась на почве выработки на расстоянии 2 м друг от друга, с зачисткой от балласта до контакта с прочными однородными породами (рис. 3 и 4).



**Рис. 3. Схема исследуемого участка массива с установленной сейсмостанцией.**

**Сурет 3. Сейсмикалы станция орнатылған зерттелетін массив аймағының схемасы.**

**Figure 3. Scheme of the studied section of the massif with an installed seismic station.**



**Рис. 4. Установка геофонов на почве выработки и подключение их к сейсмостанции.**

**Сурет 4. Геофондарды қазба табанына орнату және оларды сейсмостанцияға жалғау.**

**Figure 4. Installation of geophones on the excavation soil and connecting them to the seismic station.**

В процессе исследования измерялись амплитудные характеристики скорости и ускорения сейсмической волны. Измерения параметров сейсмической волны проводились с помощью датчиков 2 Гц ЗС, прикрепленных к геофонам. Работы по записи результатов измерений велись в автоматическом режиме.

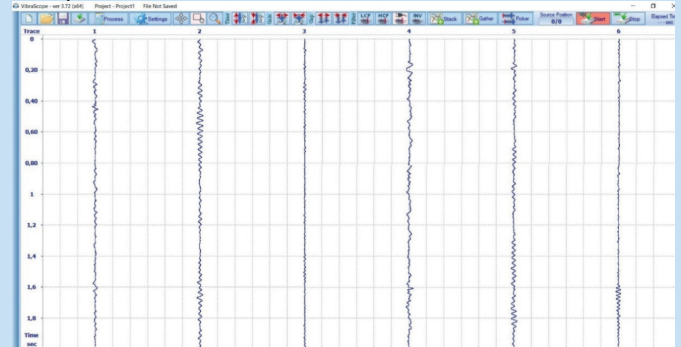
При выходе детонационной волны на поверхность зарядной камеры возникает формирование сейсмической и ударной волны в окружающей среде. Это явление – результат взаимодействия масс продуктов взрыва с окружающей средой, характеризующееся высокими скоростями движения, давлением и существенными изменениями плотности. В дальнейшем данный процесс анализируется с учетом волнового движения среды, характеризующегося пространственно-временными координатами, напряжениями и деформациями, а также скоростями перемещения частиц и распространения деформаций различного типа.

#### Результаты

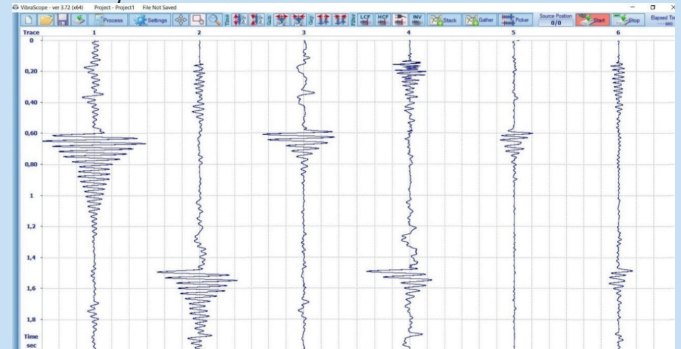
Результаты измерений величины амплитуды скоростей смещения сред от воздействия сейсмических волн,

полученные из геофонов в процессе производства взрыва ( $Q = 185,6$  кг), показаны на рис. 5 и в табл. 1.

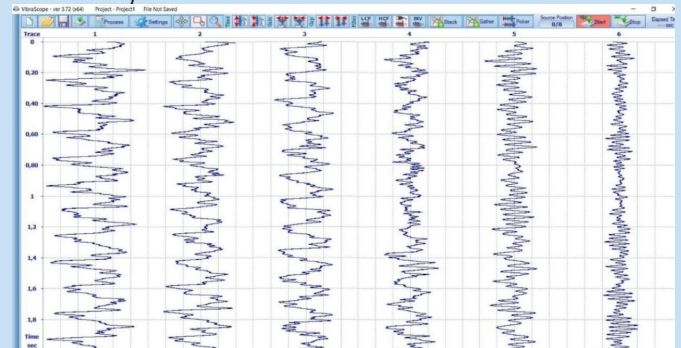
*до взрыва*



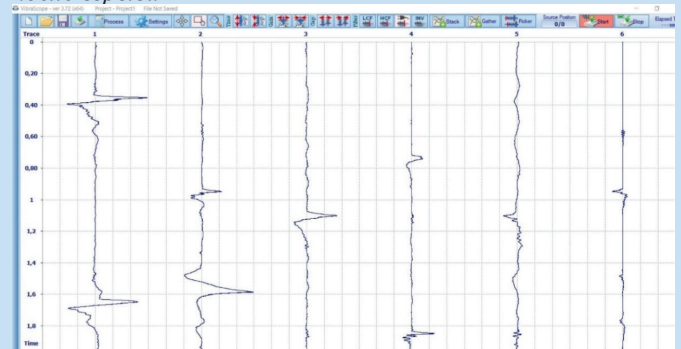
*начало взрыва*



*момент взрыва*



*после взрыва*



**Рис. 5. Гистограммы энергии сейсмического сигнала в 6-ти точках контроля по времени взрыва.**

**Сурет 5. Жарылыс уақыты бойынша 6 бакылау нүктесіндегі сейсмикалық қуат белгілерінің гистограммалары.**

**Figure 5. Histograms of seismic signal energy at 6 control points based on explosion time.**

Таблица 1

Значения амплитуды скоростей смещения сред от воздействия сейсмических волн, полученные из 6-ти геофонов в процессе производства взрыва

Кесте 1

Жарылыс кезіндегі 6 геофоннан алынған, сейсмикалық толқын әсерінен болған ортаның жылжу жылдамдығы амплитудаларының мәндері

Table 1

Values of the amplitude of the displacement velocities of media from the influence of seismic waves, obtained from 6 geophones during the explosion process

Точка измерения	Направление амплитуды	Частота измерения $f$ , Гц	Скорость амплитуды $V$ , м/с
Геофон №1	горизонтальное	25-20	1,3
	вертикальное		0,85
Геофон №2	горизонтальное	25-20	1,1
	вертикальное		0,77
Геофон №3	горизонтальное	15-20	0,83
	вертикальное		0,58
Геофон №4	горизонтальное	15-20	0,65
	вертикальное		0,46
Геофон №5	горизонтальное	15-10	0,5
	вертикальное		0,35
Геофон №6	горизонтальное	15-10	0,2
	вертикальное		0,14

В результате измерений сейсмических и воздушных волн установлено:

- измеренные интенсивности сейсмических и воздушных волн в диапазоне расстояний  $R = 2 \div 12$  м и мощностей взрывов  $Q = 65,2 \div 120,4$  кг ВВ лежат в пределах  $5,5 \div 12,0$  кПа;

- коэффициент перехода энергии ВВ в энергию воздушной волны изменяется в пределах  $0,0009 \div 0,0017$ .

**Обработка экспериментальных данных и обсуждение результатов**

Для более детального изучения сейсмического воздействия взрывных работ при проходке горных выработок на комбинированную крепь далее на основе полученных данных экспериментальным путем была построена численная модель [9, 10] с использованием программного комплекса Rocscience RS2 (рис. 6).

Результаты исследования указывают на то, что источником акустических колебаний при разрушении забоя в рассматриваемой области спектра не является только сила взрыва. Энергия этого воздействия зависит от различных факторов, включая физико-механические свойства породного массива, расположение и массу заряда, тип взрывчатого вещества и прочее. Акустические колебания, возникающие в процессе разрушения, распространяются от зоны разрушения забоя вглубь массива до плоскости максимального опорного давления, откуда они подвергаются наибольшему отражению.

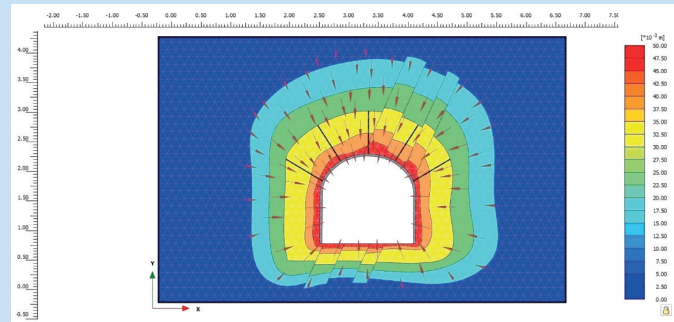


Рис. 6. Векторы распространения перемещений в последствии проведения взрыва.

Сурет 6. Жарылыстан пайда болған жылжулардың таралу векторлары.

Figure 6. Vectors of propagation of displacements after an explosion.

Согласно разработанной численной модели воздействия взрывных работ на породный массив было установлено, что область распространения сейсмической и воздушной волн ограничена объемом, радиус которого в направлении горных пород составляет 5-10 радиусов заряда, в то время как в направлении открытого пространства этот радиус достигает 1000 радиусов заряда. В пределах этого объема порода быстро подвергается сжатию и перемещается в направлении фронта волны деформации. Напряжение на фронте волны превышает модуль объемного сжатия среды, а нормальные напряжения волны переходят в текучее состояние, формируя зону пластических деформаций с системой многочисленных пересекающихся трещин, приводящих к изменению структуры породы (рис. 7).

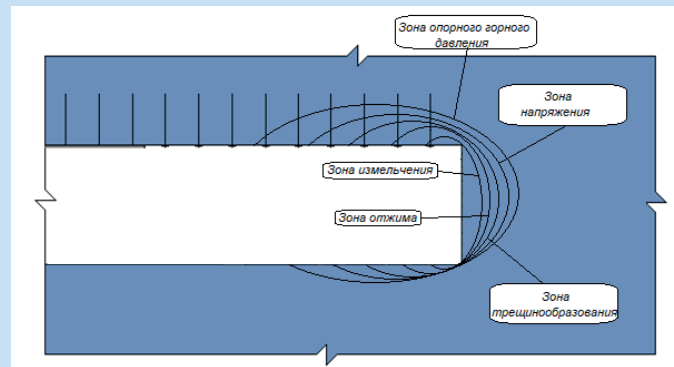


Рис. 7. Процесс распространения сейсмических колебаний в массиве вокруг горной выработки.

Сурет 7. Қазба айналасындағы массивтегі сейсмикалық толқындардың таралу процесі.

Figure 7. The process of propagation of seismic vibrations in the mass in the mine opening.

Согласно расчетам численного метода, акустические колебания, возбужденные в области призабойной зоны, при распространении вглубь массива проходят через среду с переменными параметрами. Изменения напряжений в этой среде соответствуют параметрам вертикальных напряжений, а ее протяженность соответствует расширению зоны повышенного горного давления.

### Заключение

В результате исследования сейсмических и воздушных волн при проходке выработок горным способом установлено:

- в результате взрыва в приконтурной области горных выработок возникают сжимающие и растягивающие напряжения, которые превышают значения напряжения на фронте ударной волны и вызывают разрушения приконтурной части выработок;

- при взрыве промышленного ВВ в количестве 185,6 кг двумя группами, с интервалом замедления между группами до 10000 м/с величина максимальной действующей силы на массив будет составлять 4,8-5,0 МН/м<sup>2</sup>;

- при воздействии на массив горных пород, состоящих из диоритов и гранодиоритов, взрывом силой до 5,0 МН/м<sup>2</sup> разрушительная сейсмическая волна будет действовать в радиусе 2-3 м, а затухание сейсмических волн будет происходить в радиусе 180-250 м от центра заряда.

Таким образом при проходческих работах, взрыве шпуровых зарядов с общей массой 185,6 кг на расстоянии до

3 м от забоя в массиве будет действовать максимально сжимающая сила, возникающая от сейсмических и воздушных волн, которая может нарушить контакт торкретбетона с контуром выработки и привести к деформации и разрушению крепи.

В связи с этим, при применении комбинированной крепи (анкер-торкретбетон) для крепления горных выработок в условиях Восточно-Жезказганского рудника было рекомендовано устанавливать торкрет-бетонное покрытие за зонами отжима и трещинообразования, т.е. на расстоянии от забоя не менее 3-4 м.

### Благодарности

*Статья опубликована по результатам научно-исследовательских работ, выполняемых в рамках проекта ИРН АР14871266 «Разработка инновационных методов эффективной и безопасной подземной разработки маломощных наклонных рудных залежей», при грантовом финансировании Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.*

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Serdaliyev Y. Исследование влияния элементов залегания маломощного рудного тела и параметров камер на величину потерь и разубоживания. / Y. Serdaliyev, Y. Iskakov, B. Bakhratov, D. Amanzholov. // Разработка месторождений полезных ископаемых. 2022. №16 (4). С. 56-64 (на английском языке)
2. Беляева И.Ю. О предельном значении параметра упругой нелинейности структурно неоднородных сред. / И.Ю. Беляева, В.Ю. Зайцев. // Акустический журнал. 1998. №6. С. 731-737 (на русском языке)
3. Сотников Р.О. Прогноз воздействия динамических проявлений горного давления на устойчивость породных обнажений. / Р.О. Сотников, М.А. Вильнер. // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2020. №6, специальный выпуск 21. С. 3-13 (на русском языке)
4. Karasev M.A. Разработка модели прогнозирования динамического воздействия на устойчивость горных выработок. / M.A. Karasev, R.O. Sotnikov, V.Y. Sinegubov, N.A. Egorova, K.V. Makarov, A.I. Thorikov. // Издательство IOP Journal of Physics: Серия конференций. 2019. С. 188-189 (на английском языке)
5. Проект промышленной разработки Жезказганского месторождения подземным способом (корректировка). П17-01/04-ПЗ. Т. 1. ТОО «Корпорация Казахмыс». Головной проектный институт. 2017. С. 245 (на русском языке)
6. Инструкция по применению анкерной и комбинированной крепи на рудниках ПО «Жезказганцветмет». ТОО «Корпорация Казахмыс». ПО «Жезказганцветмет». 2015. С. 45 (на русском языке)
7. Колесников В.Г. Управление разрушением напряженных пород с позиций динамической микромеханики. // Геотехническая механика: Д.: ИГТМ НАН Украины. 1997. №3. С. 92-95 (на русском языке)
8. Tsibaev S., Renev A., Zainulin R., Kucherenko A. Анализ деформаций горного массива и элементов анкерной крепи при длительном ремонте горных выработок. // Сеть конференций E3S 174, 01001. 2020. С. 1-8 (на английском языке)
9. Сердалиев Е.Т. Исследование сейсмического воздействия взрыва на массив при отработке маломощных рудных залежей. / Е.Т. Сердалиев, Е.Е. Искаков, Б.А. Бахрамов, Д.Б. Аманжолов. // Горный журнал Казахстана. 2023. №9. С. 8-11 (на русском языке)
10. Zhao M., Huang D., Cao M., Chi E., Liu J., Kang Q. Индекс энергетической оценки безопасности взрывной вибрации. // Удар и вибрация. 2015. Т. 2015. С. 9 (на английском языке)

### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Serdaliyev Y. Кеннің жоғалымы мен құнарсыздану шамасына жұқа кен шоғырларының орналасу элементтері мен камера параметрлерінің әсерін зерттеу. / Y. Serdaliyev, Y. Iskakov, B. Bakhratov, D. Amanzholov. // Пайдалы қазбалы кенорындарын игеру. 2022. №16 (4). Б. 56-64 (ағылшын тілінде)



2. Беляева И.Ю. Құрылымдық біртекті емес орталардың серпімді сызықтылық параметрінің шекті мәні туралы. / И.Ю. Беляева, В.Ю. Зайцев. // Акустикалы журнал. 1998. №6. Б. 731-737 (орыс тілінде)
3. Сотников Р.О., Вильнер М.А. Тау қысымының динамикалық көріністерінің тау жыныстары шөгінділерінің тұрақтылығына әсерінің болжамы. / Р.О. Сотников, М.А. Вильнер. // Тау-кен ақпараттық-аналитикалық бюллетені. 2020. №6, арнайы шығарылым 21. Б. 3-13 (орыс тілінде)
4. Karasev M.A. Тау-кен қазбаларының орнықтылығына динамикалық әсер етуді болжау моделін әзірлеу. / M.A. Karasev, R.O. Sotnikov, V.Y. Sinegubov, N.A. Egorova, K.V. Makarov, A.I. Thorikov. // IOP Journal of Physics баспасы: Конференциялар сериясы. 2019. Б. 188-189 (ағылшын тілінде)
5. Жезқазған кен орнын жерасты әдісімен өнеркәсіптік игеру жобасы (түзету). П17-01/04-ПЗ. Шығ. 1. «Қазахмыс Корпорациясы» ЖШС. Бас жобалау институты. 2017. Б. 245 (орыс тілінде)
6. «Жезқазғанцветмет» өндірістік бірлестігінің шахталарында зәкірлік және құрама тіректерді қолдану жөніндегі нұсқаулық. «Қазақмыс Корпорациясы» ЖШС. «Жезқазғанцветмет» ҚБ. 2015. Б. 45 (орыс тілінде)
7. Колесников В.Г. Динамикалық микромеханика тұрғысынан кернеулі таужыныстарының бұзылуын бақылау. // Геотехникалық механика: Д.: Украина ҰҒА ГТМИ. 1997. №3. Б. 92-95 (орыс тілінде)
8. Tsibaev S., Renev A., Zainulin R., Kucherenko A. Тау-кен қазбаларын ұзақ мерзімді жөндеу кезінде таужынысы массиві мен анкер элементтерінің деформациясын талдау. // E3S Конференциялар желісі 174, 01001. 2020. Б. 1-8 (ағылшын тілінде)
9. Сердалиев Е.Т. Жұқа кен шоғырларын игеру кезіндегі массивке жарылыстың сейсмикалық әсерін зерттеу. / Е.Т. Сердалиев, Е.Е. Искаков, Б.А. Бахрамов, Д.Б. Аманжолов. // Қазақстанның кен журналы. 2023. №9. Б. 8-11 (орыс тілінде)
10. Zhao M., Huang D., Cao M., Chi E., Liu J., Kang Q. Жарылыс дірілінің қауіпсіздігінің энергетикалық бағасының индексі. // Соққы және діріл. 2015. Т. 2015. Б.9 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Serdaliyev Y. Research into the influence of the thin ore body occurrence elements and stope parameters on loss and dilution values. / Y. Serdaliyev, Y. Iskakov, B. Bakhramov, D. Amanzholov. // Mining of Mineral Deposits. 2022. №16 (4). P. 56-64 (in English)
2. Belyayeva I.Y. O predel'nom znachenii parametra uprugoy nelineynosti strukturno neodnorodnykh sred. / I.Y. Belyayeva, V.Y. Zaytsev. // Akusticheskiy zhurnal. 1998. №6. S. 731-737 [On the limiting value of the elastic nonlinearity parameter of structurally inhomogeneous media. // Acoustic magazine. 1998. №6. P. 731-737] (in Russian)
3. Sotnikov R.O. Prognoz vozdeystviya dinamicheskikh proyavleniy gornogo davleniya na ustoychivost' porodnykh obnazheniy. / R.O. Sotnikov, M.A. Vil'ner. // Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2020. №6, spetsial'nyy vypusk 21. S. 3-13 [Prediction of the impact of dynamic manifestations of rock pressure on the stability of rock outcrops. // Mining information and analytical bulletin. 2020. №6, special issue 21. P. 3-13] (in Russian)
4. Karasev M.A. Development of a model for predicting the dynamic effect on the stability of rock excavation. / M.A. Karasev, R.O. Sotnikov, V.Y. Sinegubov, N.A. Egorova, K.V. Makarov, A.I. Thorikov. // IOP Publishing Journal of Physics: Conference Series. 2019. P. 188-189 (in English)
5. Proyeckt promyshlennoy razrabotki Zhezkazganskogo mestorozhdeniya podzemnym sposobom (korrektirovka). P17-01/04-PZ. Tom 1. TOO «Korporatsiya Kazakhmys». Golovnoy proyektnyy institut. 2017. S. 245 [Project for industrial development of the Zhezkazgan deposit by underground method (adjustment). P17-01/04-PZ. Vol. 1. Kazakhmys Corporation LLP. Leading design institute. 2017. P. 245] (in Russian)
6. Instruksiya po primeneniyu ankernoy i kombinirovannoy krepі na rudnikakh PO «Zhezkazgantsvetmet». TOO «Korporatsiya Kazakhmys». PO «Zhezkazgantsvetmet». 2015. S. 45 [Instructions for the use of anchor and combined support at the mines of the Zhezkazgantsvetmet Production Association. Kazakhmys Corporation LLP. PA «Zhezkazgantsvetmet». 2015. P. 45] (in Russian)
7. Kolesnikov V.G. Upravlenie razrusheniem napryazhennykh porod s pozitsii dinamicheskoi mikromekhaniki. // Geotekhnicheskaya mekhanika: D.: IGTM NAN Ukrainy. 1997. №3. S. 92-95 [Control of fracture of stressed rocks from the perspective of dynamic micromechanics. // Geotechnical mechanics: D.: IGTM NAS of Ukraine. 1997. №3. P. 92-95] (in Russian)
8. Tsibaev S., Renev A., Zainulin R., Kucherenko A. Analysis of rock mass and anchor support elements deformations during the long-term maintenance of mine workings. // E3S Web of Conferences 174, 01001. 2020. P. 1-8 (in English)
9. Serdaliyev Y.T. Issledovaniye seysmicheskogo vozdeystviya vzryva na massiv pri otrabotke malomoshchnykh rudnykh zalezhey. / Y.T. Serdaliyev, Y.Y. Iskakov, B.A. Bakhramov, D.B. Amanzholov. //

*Gornyy zhurnal Kazakhstana. 2023. №9. S. 8-11 [Study of the seismic impact of an explosion on a massif during the mining of thin ore deposits. // Mining Journal of Kazakhstan. 2023. №9. P. 8-11] (in Russian)*  
 10. Zhao M., Huang D., Cao M., Chi E., Liu J., Kang Q. An Energy-Based Safety Evaluation Index of Blast Vibration. // Shock and Vibration. 2015. Vol. 2015. P. 9 (in English)

**Сведения об авторах:**

**Сердалиев Е.Т.**, канд. техн. наук, доцент, профессор-исследователь кафедры «Горное дело» Горно-металлургического института им. О.А. Байконурова Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [serdaliyev.yerdulla@gmail.com](mailto:serdaliyev.yerdulla@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0001-5779-8218>

**Искаков Е.Е.**, PhD, профессор-исследователь кафедры «Горное дело» Горно-металлургического института им. О.А. Байконурова Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), [iskakov.yerkin@gmail.com](mailto:iskakov.yerkin@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0001-5269-9018>

**Бахрамов Б.А.**, магистр технических наук, Технический директор Акционерного общества «АлтynEx company» (г. Алматы, Казахстан), [bagdat.bakramov@bk.ru](mailto:bagdat.bakramov@bk.ru); <https://orcid.org/0000-0001-8822-6941>

**Аманжолов Д.Б.**, PhD, старший преподаватель кафедры «Промышленное гражданское и транспортное строительство» Факультета инженерии Toraighyrov University (г. Павлодар, Казахстан), [amanzholovdikhana@gmail.com](mailto:amanzholovdikhana@gmail.com); <https://orcid.org/0000-0002-5666-9649>

**Авторлар туралы мәліметтер:**

**Сердалиев Е.Т.**, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, Satbayev University, О.А. Байқоңыров атындағы тау-кен металлургия институты, «Тау-кен ісі» кафедрасының зерттеуші-профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

**Искаков Е.Е.**, PhD, Satbayev University, О.А. Байқоңыров атындағы тау-кен металлургия институты, «Тау-кен ісі» кафедрасының зерттеуші-профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

**Бахрамов Б.А.**, техника және технология магистрі, «АлтynEx company» Акционерлік қоғамының техникалық директоры (Алматы қ., Қазақстан)

**Аманжолов Д.Б.**, PhD, Toraighyrov University, Инженерия факультетінің «Өнеркәсіптік, азаматтық және көлік құрылысы» кафедрасының аға оқытушысы (Павлодар қ., Қазақстан)

**Information about the authors:**

**Serdaliyev Y.T.**, Candidate of Technical Sciences, Research Professor at the «Mining» Department of the Mining and Metallurgical Institute named after O.A. Baikunurov of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

**Iskakov Y.Y.**, PhD, Research Professor at the «Mining» Department of the Mining and Metallurgical Institute named after O.A. Baikunurov of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

**Bakhranov B.A.**, master of technical science, Technical Director of JSC «АлтynEx company» (Almaty, Kazakhstan)

**Amanzholov D.B.**, PhD, Senior lecturer of the department «Industrial, Civil and Transport Construction» of the Faculty of Engineering of the Toraighyrov University (Pavlodar, Kazakhstan)

**12–15 марта  
2024  
Екатеринбург**

**металлургмаш. литмаш.  
металлоконструкции**

**PRO  
EXPO**

**выставка технологий и оборудования  
для металлургии, литейной промышленности  
и готовой металлопродукции**



**(342) 264-64-24  
bav@expoperm.ru**

**metalmash.proexpo.ru**