

Код МРНТИ 52.13.15

Е.Т. Сердалиев¹, *Е.Е. Искаков¹, Б.А. Бахрамов², Д.Б. Аманжолов³¹Satbayev University (г. Алматы, Казахстан),²Акционерное общество «АК Алтыналмас» (г. Алматы, Казахстан),³Toraighyrov University (г. Павлодар, Казахстан)

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КРЕПЛЕНИЯ КРОВЛИ КАМЕР ОТРАБАТЫВАЕМЫХ МАЛОМОЩНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ КАНАТНЫМИ АНКЕРАМИ

Аннотация. В статье предложена эффективная методика определения основных параметров крепления кровли камер канатными анкерами при отработке маломощных наклонных залежей системой с доставкой руды силой взрыва, которая обеспечивает устойчивость массива вмещающих пород, тем самым снижая разубоживание руды, возникающего из-за обрушений кровли камер. Предложенная методика расчета параметров крепления обосновывается на исследовании геомеханических процессов, протекающих в массиве вмещающих горных пород на границе отрабатываемой залежи, и обосновании прогнозной высоты возможной зоны обрушения. Для решения поставленной задачи предложен комплексный метод, включающий в себя теоретическое обоснование, проведение промышленных маркшейдерских замеров и съемок, создание пространственной или численной модели массива.

Ключевые слова: руда, добыча, мощность залежи, массив, крепление, канатный анкер, обрушение, камера, кровля, поддержание.

Игерілетін жұқа кен шоғырлары камерасының төбе тұсын арқанды анкерлермен бекіту параметрлерін негіздеу

Андатпа. Мақалада жұқа еңіс орналасқан кен шоғырларын жарылыс күшімен жеткізу жүйесін пайдаланып игеру кезінде кенді айнала қоршап орналасқан таужынысы массивінің орнықтылығын қамтамасыз етіп, камераның төбе тұсының опырылып құлауынан пайда болатын кеннің құнарсыздануын төмендететін, массивті арқанды анкерлермен бекітудің негізгі параметрлерін анықтау үшін тиімді әдістеме ұсынылған. Бекіту параметрлерін есептеудің ұсынылып отырған әдістемесі игерілетін кен шоғырының шекарасындағы қоршаған таужынысы массивінде болатын геомеханикалық процестерді зерттеуге және болжамды опырылым аймағының мүмкін болатын биіктігін анықтауға негізделген. Мәселені шешу үшін теориялық зерттеуді, өнеркәсіптік маркшейдерлік өлшемдерді және түсіруді, массивтің кеңістіктіктегі немесе сандық моделін құруды қамтитын кешенді әдіс ұсынылған.

Түйінді сөздер: кен, игеру, шоғыр қалыңдығы, массив, бекіту, арқанды анкер, опырылу, камера, төбе тұсы, бекітін ұстау.

Justification of fastening parameters of the roof of the chambers of mined thin deposits with rope anchors

Abstract. The article proposes an effective method for determining the main parameters of fastening the roof of the chambers with cable anchors when mining thin inclined deposits through a system with the delivery of ore by explosive force, which ensures the stability of the massif of the host rocks, thereby reducing the impoverishment of the ore that occurs due to the collapse of the roof of the chambers. The proposed method for calculating the anchoring parameters is based on the study of geomechanical processes occurring in the enclosing rock mass at the boundary of the mined deposit and substantiation of the predicted height of the possible collapse zone. To solve the problem, a complex method is proposed, which includes a theoretical study, industrial surveying measurements and surveys, and the creation of a spatial or numerical model of the massif.

Key words: ore, power mining, deposits, array, fastening, rope anchor, caving, chamber, roof, fixture.

Введение

Жильные месторождения, рудные тела которых характеризуются малыми мощностями (в среднем 0,7-1,0 м), в горнорудной промышленности страны занимают видное место. Таким месторождениям свойственна сложная горно-геологическая характеристика – малая мощность, изменчивые элементы залегания, неровная гипсометрия, сложная морфология рудных тел, ветвление основного рудного тела, наличие апофиз и прожилков, разная степень устойчивости массива и разнообразие физико-механических свойств руды и вмещающих пород, частые тектонические нарушения. Малая мощность рудных залежей и сложные условия их залегания создают предпосылки для высокого разубоживания руды при ее добыче. На ряде рудников страны (Жолымбет, Бестобе, Акбакай и т. д.) количество пустых пород, примешиваемых к жильной массе, превышает 60%.

Одна из основных причин разубоживания руды – это примешивание к рудной массе пустых пород за счет возможных обрушений кровли камер при отбойке

наклонных рудных залежей из поэтажных штреков глубокими скважинными зарядами, применяемыми также для одновременной доставки руды силой взрыва. Высокое разубоживание оказывает большое влияние не только на показатели отбойки руды, но и на характеристики всех последующих операций добычи и переработки, нанося значительный ущерб рудникам и обогащательным фабрикам. Кроме того, малая ширина очистного пространства, получаемая при выемке маломощных залежей, сильно усложняет технологию отбойки, доставки, выпуска руды из блока и особенно поддержания массива вмещающих горных пород, являясь причиной низкой интенсивности очистной выемки, высоких трудовых затрат и увеличенных потерь металла при добыче¹.

В связи с этим на ряде отечественных и зарубежных рудников при отработке маломощных наклонных рудных залежей для поддержания массива со стороны кровли камер на границах с выработанным пространством применяют канатные анкеры² [1], так как массив вмещающих пород на таких участках подвергается

¹Ляхов А.И. Извлечение и потери полезных ископаемых в процессе добычи. – Иркутск: ИрГТУ, 2004. – 67 с.

²Разработка структурной модели и технико-технологических способов поддержания геосистемы «массив – технология – подземное сооружение» при подземной разработке золоторудных месторождений (Акбакай, Бакырчик, Майкаин) и комплексной механизации ведения горных работ при освоении групп месторождений золота (Акбакай). // Отчет о НИР (заключительный) под рук. Бегалинова А. – Алматы, 2014. – с.р. №0112PK02709. – 158 с.

более интенсивным деформациям, вследствие того, что их кровля размещается в зоне сдвижений и сейсмических волн взрыва. Интенсивность деформаций в зонах активного сдвига и сейсмических волн взрыва по-разному влияет на смещения кровли в зависимости от степени устойчивости и трещиноватости массива и искусственной связанности структур кровли камеры крепящими материалами. Однако применение канатных анкеров в таких условиях до сих пор мало изучено, недостаточно исследованы их деформационные и технологические параметры, зависящие от способа крепления, крепящего материала и параметров отслоения массива, поэтому исследования по обоснованию параметров крепления канатными анкерами кровли камер на границах с выработанным пространством представляются весьма актуальной задачей.

Методы исследования и исходные положения

При проведении исследований использовался комплексный метод, включающий сбор и анализ данных о работе действующих предприятий, разрабатывающих сильно нарушенные рудные месторождения, аналитические исследования с проверкой результатов в производственных условиях.

Как было отмечено, разработка маломощных рудных залежей сопровождается высоким разубоживанием руды. Это объясняется тем, что при выемке руды для получения нормальной ширины очистного пространства вместе с рудной массой необходимо отбивать и значительное количество вмещающих пород. Кроме того, при отработке рудных тел в неустойчивых сильно трещиноватых массивах показатель разубоживания еще больше увеличивается за счет возможных обрушений кровли камер при отбойке рудной массы (рис. 1).

Промышленные наблюдения за процессами отработки маломощных залежей показывают, что определяющими в устойчивости массива рудного тела на контуре с вмещающими породами являются крупные трещины, зоны разлинзования и окисления. В некоторых тонкослоистых пачках рудного тела мелкие трещины в сочетании со слоистостью образуют весьма мелкие отдельности и это приводит часто к обрушению массива со стороны кровли при отбойке. Одним из рациональных решений этого вопроса является крепление вмещающих пород со стороны кровли камеры. Анализ практики зарубежных и отечественных горнодобывающих предприятий показывает, что в сложных условиях для поддержания массива успешно применяют канатные анкеры, характеризующиеся высокой несущей способностью (рис. 2). Крепление горных выработок небольших размеров канатными анкерами не представляет особой сложности. Поддержание же массива вмещающих пород кровли камеры связано с большими трудностями как в технологии исполнения, так и в выборе оптимальных параметров канатных анкеров с горнотехнической точки зрения.

Исследованиями по обоснованию параметров анкерной крепи занимались многие ученые^{3, 4} [2], но,

тем не менее, до сих пор отсутствуют конкретные инструкции по определению параметров крепи из канатных анкеров. Расчет параметров канатных анкеров в основном регламентируется «Инструкцией по расчету и применению анкерной крепи на угольных шахтах», согласно которой расчет параметров анкерной крепи производится в зависимости от значения горного давления, определяемого с учетом размеров и глубины расположения выработок, физико-механических свойств массива горных пород. В качестве

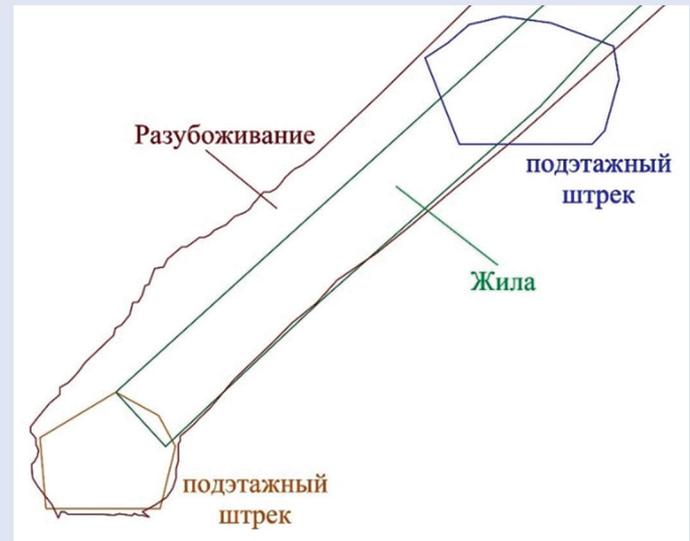


Рис. 1. Форма обрушения массива со стороны кровли при отработке маломощных залежей.
Сурет 1. Жұқа кен шоғырларын игеру кезіндегі массивтің төбе тұсының опырылуының пішіні.
Figure 1. The form of massif collapse from the side of the roof during the development of thin deposits.

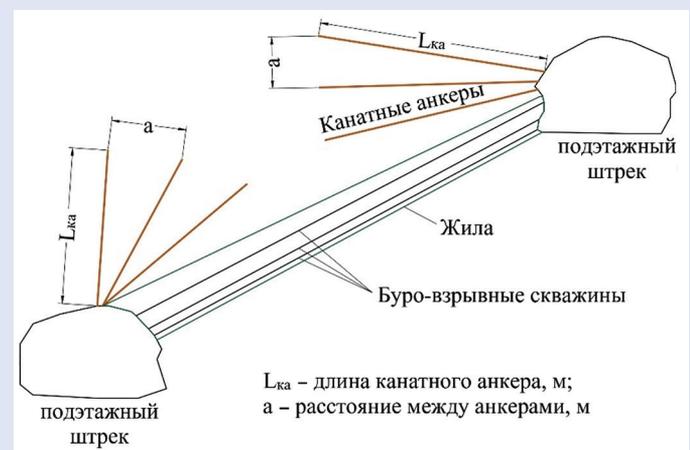


Рис. 2. Схема крепления вмещающих пород кровли камеры канатными анкерами.

Сурет 2. Камераның төбе тұсындағы таужыныстарын арқанды анкерлермен бекіту сұлбасы.

Figure 2. Fastening scheme of the enclosing rocks from the roof of the chamber with rope anchors.

³Баклашов И.В., Картозия Б.А. Механика подземных сооружений и конструкции крепей: учебник для вузов. – М.: Студент, 2012. – 543 с.

⁴Мельников Н.И. Анкерная крепь. – М.: Недра, 1980. – 252 с.

критерия интенсивности горного давления для расчета крепи рекомендуют принимать расчетные смещения кровли с анкерной крепью. В выработках, проводимых в массиве, поддерживаемых в зоне влияния очистных работ, для определения величины расчетных смещений кровли (U_u) предлагается следующая формула:

$$U_u = U_m + \Delta U_u \times K_a \times K_m \times K_a \times K_c \times K_k, \text{ мм}, \quad (1)$$

где U_m – величина расчетных смещений кровли в выработках, проводимых в массиве вне влияния очистных работ, мм;

ΔU_u – расчетные смещения кровли в период охраны целиков шириной $0,1H > l_u > 15$ м, мм;

K_a – коэффициент, учитывающий расположение выработок;

K_m – коэффициент, учитывающий расчетную ширину выработок;

K_c – коэффициент, учитывающий степень связывания и упрочнения пород различными конструкциями анкеров;

K_c – коэффициент, учитывающий влияние других смежных выработок;

K_k – коэффициент, учитывающий обрушаемость основной кровли.

Несмотря на универсальность данного метода, обоснование параметров анкерной крепи за счет определения смещений кровли не учитывает всей элементной базы крепи и не обеспечивает безопасности и эффективности поддержания массива вмещающих горных пород со стороны кровли при отработке маломощных залежей.

Результаты

По практическим результатам опыта применения и определения основных параметров канатных анкеров в ведущих горнорудных предприятиях страны можно сделать вывод о том, что крепи из канатных анкеров при эксплуатации выполняют две роли: роль сшивки и роль подвески массива, но основной функцией на стадии долгосрочного поддержания кровли камер канатными анкерами является подвеска неустойчивой части массива к устойчивой.

Параметры, радиус подвески определяются высотой возможного сводообрушения, т. е. контуром неустойчивой части массива, значение которого зависит от устойчивости массива без крепления и показателей горного давления. В связи с этим расчет основных параметров канатных анкеров целесообразно вести на основе прогнозной высоты возможного сводообрушения [3-5].

Определение прогнозной высоты возможных вывалов пород со стороны кровли камер можно осуществить с помощью дистанционной тахеометрической съемки и прогнозированием геомеханического процесса массива после взрыва [6]. Данный показатель зависит от ширины камеры, смещений кровли и аппроксимируется следующим выражением:

$$b = (aB^2 + cB + qU)P, \quad (2)$$

где a, c, q – эмпирические коэффициенты, получаемые в результате исследований геомеханического процесса массива;

B – ширина выработки, м;

U – величина смещения кровли, мм;

P – поврежденность пород кровли;

$$P = [\beta \times (k \times k_1 \times n \times r_{r_k}) / (B \times m) + \Delta P] / k_2, \quad (3)$$

где β – эмпирический коэффициент;

k – коэффициент, учитывающий максимальную боковую концентрацию напряжения;

k_1 – коэффициент, учитывающий влияние формы камеры на величину напряжения;

n – количество слоев пород кровли камеры на интервале глубины B ;

r_{r_k} – эквивалентный радиус камеры, м;

B – ширина камеры, м;

m – высота камеры, м;

ΔP – условная, прогнозная поврежденность пород кровли;

k_2 – коэффициент, учитывающий зависимость опорного давления от ширины целика.

На основе прогнозной высоты возможных вывалов пород со стороны кровли камер активную длину канатного анкера можно определить следующим выражением:

$$l_a = 1 / (\cos \alpha_m) [\Delta B + (C \times \operatorname{tg} \varphi_i - \Delta B \times \operatorname{tg} \alpha_m) / (\operatorname{tg} \alpha_m + \operatorname{tg} \varphi_i)], \text{ мм}, \quad (4)$$

где C – ширина зоны отжима, мм;

ΔB – расстояние от груди забоя до устья шпура, мм;

α_m – угол наклона шпура к поверхности кровли, град.;

φ_i – углы давления со стороны кровли, град.

Обсуждение результатов

Параметры анкерного крепления при отработке маломощных рудных залежей, длину анкера, расстояния между анкерами, схему расположения анкеров рекомендуется, прежде всего, определять с учетом геомеханических процессов, протекающих в массиве вмещающих горных пород со стороны кровли, т. е. на основе определения прогнозной высоты возможного сводообрушения.

Определение прогнозной высоты возможных вывалов пород со стороны кровли камер рекомендуется производить в зависимости от ширины камеры и величины смещения массива со стороны висячего бока рудного тела. При этом рекомендуется учитывать величину возможной зоны повреждения массива горных пород кровли от воздействия внешних сил (взрыва).

При определении активной длины канатного анкера предлагается учитывать ширину зоны отжима, расстояние от груди забоя до устья шпура, угол наклона шпура к поверхности кровли и угла давления со стороны кровли.

Заключение

Выполненный в статье анализ практики отработки маломощных рудных залежей в неустойчивых сильнотрещиноватых массивах, теоретические и производственные данные позволяют сделать следующие выводы:

- разубоживание при отработке маломощных рудных залежей обусловлено подрывкой вмещающих пород и обрушением кровли со стороны висячего бока;

- для снижения показателя разубоживания, возникающего в результате обрушения массива вмещающих пород со стороны кровли, рекомендуется технология отработки с опережающим креплением кровли канатными анкерами;

- параметры крепления кровли камер на границе с выработанным пространством предлагается осуществлять из расчета выполнения функции подвески канатного анкера в части приконтурного массива, не подвергающегося сдвигению;

- предварительное крепление кровли отработываемого рудного тела из подэтажных штреков канатными анкерами снижает разубоживание руды в среднем на 5%. Канатный анкер в комбинации с минеральной композицией обеспечивает восприятие нагрузки до 20 т в зоне сдвижений массива.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бегалинов А.Б., Сердалиев Е.Т., Искаков Е.Е. Совершенствование отработки золотосодержащих руд Акбакайского рудного поля. // Горный журнал Казахстана. – Алматы, 2012. – №12. – С. 4-7 (на русском языке)
2. Шевелев Ю.А., Ремезов А.В., Зубарев В.П., Харитонов В.Г. Перспективы развития анкерного крепления на шахтах Ленинского рудника. // Уголь. – 2000. – №7. – С. 31-33 (на русском языке)
3. Serdaliyev Y., Iskakov Y., Bakhratov B., Amanzholov D. Исследование влияния элементов залегания маломощного рудного тела и параметров камер на величину потерь и разубоживания. // Разработка месторождений полезных ископаемых. – 2022. – №16(4). – С. 56-64 (на английском языке)
4. Matayev A., Abdiev A., Kydrashov A., Musin A., Khvatina N., Kaumetova D. Исследование технологии крепления горных выработок в условиях неустойчивых массивов. // Разработка месторождений полезных ископаемых. – 2021. – №15(3). – С. 78-86 (на английском языке)
5. Zhang K., Jiang Y., Zhang Z., Zhang Y., Pang X., Zeng X. Определение оптимальной ширины узкого входа в выработку при разработке больших целиков. // Журнал горного дела и техника безопасности. – 2014. – №31. – С. 255-262 (на английском языке)
6. Duncan J.M. Современное состояние: предельное равновесие и конечно-элементный анализ уклонов. // Журнал геотехнической инженерии. – 1996. – №122(7). – С. 577-596 (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Бегалинов А.Б., Сердалиев Е.Т., Искаков Е.Е., т.б. Ақбақай кенорнының алтын кендерін игеруді жақсарту // Қазақстанның кен журналы. – Алматы, 2012. – №12. – Б. 4-7 (орыс тілінде)
2. Шевелев Ю.А., Ремезов А.В., Зубарев В.П., Харитонов В.Г. Ленинск кенішінің шахталарында анкер бекітпесін дамытудың болашағы. // Көмір. – 2000. – №7. – Б. 31-33 (орыс тілінде)
3. Serdaliyev Y., Iskakov Y., Bakhratov B., Amanzholov D. Кеннің жоғалымы мен құнарсыздану шамасына жұқа кен шоғырларының орналасу элементтері мен камера параметрлерінің әсерін зерттеу. // Пайдалы қазбалы кенорындарын игеру. – 2022. – №16(4). – Б. 56-64 (ағылшын тілінде)
4. Matayev A., Abdiev A., Kydrashov A., Musin A., Khvatina N., Kaumetova D. Орнықсыз массив шарттарында тау-кен қазбаларын бекіту технологиясын зерттеу. // Пайдалы қазбалы кенорындарын игеру. – 2021. – №15(3). – Б. 78-86 (ағылшын тілінде)
5. Zhang K., Jiang Y., Zhang Z., Zhang Y., Pang X., Zeng X. Үлкен кентіректерді игеру кезінде қазбаға кіретін тар кіреберістің тиімді енін анықтау. // Тау-кен ісі және қауіпсіздік техникасы журналы. – 2014. – №31. – Б. 255-262 (ағылшын тілінде)
6. Duncan J.M. Қазіргі шарттар: еңістердің шектік тепе-теңдіктері және оларды шектік элементтермен талдау. // Геотехникалық инженерия журналы. – 1996. – №122 (7). – Б. 577-596 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Begalinov A.B., Serdaliyev Y.T., Iskakov Y.Y. etc. Sovershenstvovanie otrabotki zolotosoderzhashhix rud Akbakajskogo rudnogo polya [Improvement of mining of gold-bearing ores of the Akbakay ore field]. // Gornyj zhurnal Kazakhstana = Mining Journal of Kazakhstan. – Almaty, 2012. – №12. – P. 4-7 (in Russian)
2. Shevelev Yu.A., Remezov A.V., Zubarev V.P., Kharitonov V.G. Perspektivy razvitiya ankernogo krepleniya na shaxtax Leninskogo rudnika [Development prospects of anchoring in the mines of the Leninsky mine]. // Ugol' = Coal. – 2000. – №7. – P. 31-33 (in Russian)
3. Serdaliyev Y., Iskakov Y., Bakhratov B., Amanzholov D. Research into the influence of the thin ore body occurrence elements and stope parameters on loss and dilution values. // Mining of Mineral Deposits. – 2022. – №16(4). – P. 56-64 (in English)

4. *Matayev A., Abdiev A., Kydrashov A., Musin A., Khvatina N., Kaumetova D. Research into technology of fastening the mine workings in the conditions of unstable masses. // Mining of Mineral Deposits. – 2021. – №15(3). – P. 78-86 (in English)*
5. *Zhang K., Jiang Y., Zhang Z., Zhang Y., Pang X., Zeng X. Determining the reasonable width of narrow pillar of entry in gob entry driving in the large pillar. // Journal of Mining and Safety Engineering. – 2014. – №31. – P. 255-262 (in English)*
6. *Duncan J.M. State of the art: limit equilibrium and finite-element analysis of slopes. // Journal of Geotechnical Engineering. – 1996. – №122(7). – P. 577-596 (in English)*

Сведения об авторах:

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

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

Бахрамов Б.А., магистр техн. наук, управляющий директор по производству Акционерного общества «АК Алтыналмас» (г. Алматы, Казахстан), bagdat.baxramov@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), amanzholovdikh@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 қауымдастырылған профессоры (Алматы қ., Қазақстан)

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

Бахрамов Б.А., техника және технология магистрі, «АК Алтыналмас» Акционерлік қоғамының өндіріс бойынша басқарма 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 Ye.T., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the «Mining» Department of the Mining and Metallurgical Institute named after O.A. Baikonurov of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Iskakov Ye.Ye., PhD, Associate Professor at the «Mining» Department of the Mining and Metallurgical Institute named after O.A. Baikonurov of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Bakhramov B.A., Master of Technical Science, Managing Director for Production of the Joint-Stock Company «АК Altynalmas» (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)

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.