

## СТАТЬИ

УДК 622.34

**СПОСОБ ЗАКЛАДКИ ВЫРАБОТАННОГО ПРОСТРАНСТВА  
ПРИ ВОСХОДЯЩЕМ ПОРЯДКЕ ОТРАБОТКИ РУДНЫХ ЗАЛЕЖЕЙ****Аллабердин А.Б.***ФГБОУ ВО «Сибайский институт (филиал) Башкирского государственного университета»,  
Сибай, e-mail: Allaberdinazamat@mail.ru*

В работе приводится положительный опыт применения восходящего порядка ведения горных работ и отмечаются его преимущества по сравнению с традиционным нисходящим способом. Следует отметить, что на больших глубинах область применения камерно-целикового порядка ограничена из-за высоких значений напряженно-деформированного состояния массива, что обуславливает применение систем разработки в сплошном порядке. Применительно к восходящей геотехнологии предложен способ формирования комбинированного закладочного массива на основе пустой породы и твердеющей смеси в пределах границ камеры. Особенностью разработанного способа возведения комбинированного массива является последовательная организация закладочных работ и использование автосамосвалов, оснащенных метательным механизмом. Формирование комбинированного массива предложенной конструкции позволяет вести горные работы в пределах горизонта в сплошном порядке без оставления рудных целиков. При этом применение автосамосвалов, оснащенных метателем, позволяет вести управляемый сброс породы в камеру. Несмотря на сложность организации закладочных работ, основным преимуществом применения автосамосвалов с метательным устройством является обеспечение безопасности ведения горных работ – автосамосвал не подъезжает к краю транспортного заезда при разгрузке по сравнению с использованием традиционных автосамосвалов с опрокидным кузовом. Приведенная методика и расчетная схема позволяют определить требуемый угол установки метателя относительно горизонтальной оси, скорость движения породы для заданного угла и скорость движения ленты метателя. Все искомые параметры метания обеспечат равномерное распределение закладываемой породы по всей площади камеры. Расчет параметров закладочного массива по представленной в работе методике обеспечит его устойчивость при вертикальном обнажении, безопасность восходящей геотехнологии и снижение себестоимости закладочных работ.

**Ключевые слова:** восходящий порядок отработки, комбинированный закладочный массив, пустая порода, автосамосвал, оснащенный метателем, сплошной порядок, бутобетонный массив

**METHOD OF LAYING THE WORKED-OUT SPACE IN THE ASCENDING  
ORDER OF MINING OF ORE DEPOSITS****Allaberdin A.B.***Sibai Institute (Branch) of Bashkir State University, Sibai, e-mail: Allaberdinazamat@mail.ru*

The paper presents the positive experience of using the ascending order of mining operations, and notes its advantages in comparison with the traditional descending method. It should be noted that at great depths, the scope of application of the chamber-whole order is limited, due to the high values of the stress-strain state of the array, which causes the use of development systems in a continuous order. In relation to the ascending geotechnology, a method for forming a combined laying array based on waste rock and a hardening mixture within the boundaries of the chamber is proposed. A feature of the developed method of constructing a combined array is the consistent organization of laying works and the use of dump trucks equipped with a throwing mechanism. The formation of a combined array of the proposed design allows mining operations within the horizon in a continuous order without leaving ore pillars. At the same time, the use of dump trucks equipped with a thrower allows you to conduct a controlled discharge of rock into the chamber. Despite the complexity of the organization of laying works, the main advantage of using dump trucks with a throwing device is to ensure the safety of mining operations – the dump truck does not drive up to the edge of the transport entrance when unloading compared to using traditional dump trucks with a tipped body. The method and calculation will determine the installation angle of the thrower relative to the horizontal axis, the speed of the rocks for a given angle, and belt speed of the thrower. All the required throwing parameters will ensure a uniform distribution of the laid rock over the entire area of the chamber. The calculation of the parameters of the laying array according to the method presented in this paper will ensure its stability during vertical exposure, the safety of ascending geotechnology and the reduction of the cost of laying operations.

**Keywords:** ascending mining order, combined laying array, empty rock, dump truck equipped with a thrower, solid order, butobetonny array

При технологической необходимости извлечения наиболее богатых частей залежи, которые обычно подстилают более бедные руды, восходящий порядок ведения горных работ является единственно возможным способом. Это обстоятельство следует считать важнейшей особенностью разработки месторождений разнорудных руд, наблюдаемой в значительном большинстве практических случаев.

Опережающая выемка богатых руд, залегающих на нижних горизонтах, позволяет сократить сроки получения максимума прибыли за счет получения большого количества металла при переработке только богатых руд. При этом сокращается срок строительства и стоимость рудника за счет отсутствия необходимости на каждом шаге вскрытия проходить концентрационные горизонты.

Еще одним преимуществом восходящего порядка по сравнению с классическим нисходящим вариантом ведения горных работ является возможность вовлечения в закладочный процесс значительного объема пород отвалов и от проходческих работ, без оставления междуэтажных целиков, при переходе к отработке следующего вышележащего этажа. Экономический эффект при данной технологии достигает 40% от общих затрат на закладочные работы.

Накоплен значительный опыт восходящего порядка отработки месторождений. Так, за последние 30 лет на зарубежных рудниках «Garpenberg» и «Zinkgruvan» (Швеция), «Пихасальми» (Финляндия), «Asikoy» (Турция), «Грейтон» (Канада), «Витватерсранд» (ЮАР), «Кристенберг» и «Ренстрём» успешно реализуется восходящий порядок отработки запасов как отдельных рудных тел и участков, так и месторождений в целом.

Экономически эффективный и безопасный восходящий порядок отработки запасов залежей может быть осуществлен на ряде месторождений Урала [1]: Юбилейном, Озерном, Александринском, Гайском, Джусинском, Тарньерском, Естюнинском, Комсомольском и Глубоченском. Исследование, полученное программой Ural-Mining-Invest применительно для месторождения Комсомольское, показывает неэффективность существующей технологии отработки месторождения. Данные обстоятельства свидетельствуют о необходимости отработки в первую очередь основных запасов рудного тела № 1, которые располагаются на глу-

боких горизонтах. Это позволит покрыть капитальные затраты и получить значительную прибыль в начальный период отработки месторождения.

Следует отметить, что на больших глубинах область применения камерно-целикового порядка ограничена [2, 3] из-за высоких значений напряженно-деформированного состояния массива, что обуславливает применение систем разработок в сплошном порядке [4]. При данном порядке ведения горных работ вовлечение пустых пород с целью снижения себестоимости закладки технически выполнимо при сочетании ее с гидравлической закладкой в пределах одной камеры.

Цель исследования: разработка технологии формирования комбинированного закладочного массива при отработке рудных залежей камерными системами разработки в восходящем порядке.

#### Материалы и методы исследования

Для отработки рудных залежей снизу вверх, в сплошном порядке извлечения запасов горизонта камерными системами разработки предложен способ формирования закладочного массива [5]. Прототипом конструкции закладочного массива является работа Д.Ю. Минаева. Идея работы основана на сочетании твердеющей и породной закладок в пределах одной камеры, особенностью данной технологии является организация закладочных работ и использование автосамосвалов, оснащенных метальным механизмом (рис. 1).

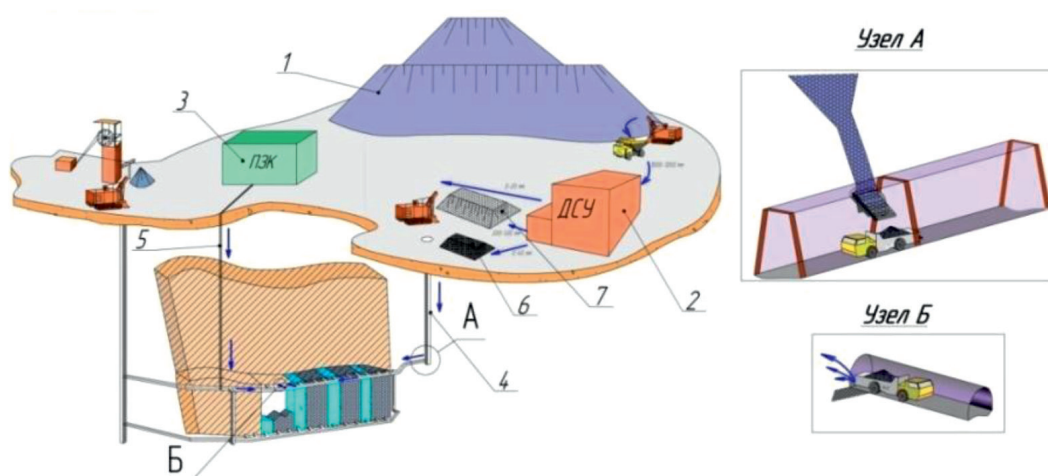


Рис. 1. Технология ведения закладочных работ: 1 – отвалы пород; 2 – дробильно-сортировочный узел; 3 – поверхностно-закладочный комплекс; 4 – породопуск; 5 – закладочная скважина; 6 – штабель мелкой фракции; 7 – штабель крупной фракции

Технологический процесс закладки выработанного пространства предложенным способом заключается в последовательно-параллельном заполнении отработанной камеры закладочными материалами. Первоначально из центрального заезда закладочного горизонта в камеру осуществляется управляемый сброс породы объемом ( $V_{1п}$ ). Важным моментом является осуществление сброса породы, используя автосамосвал, оборудованный метателем сыпучего материала. Используя возможность изменения параметров метания, уплотненный породный штабель формируется в виде тригональной призмы. Второй и последующие этапы включают одновременную закладку твердеющей смеси и сброс породы в выработанное пространство камеры. Постоянно формируемые штабели из пустых пород предотвращают растекание твердеющей смеси по всей площади камеры. При этом с торца камеры формируется упрочненный бутобетонный массив, который в последующем обеспечивает устойчивость при его вертикальном обнажении [6]. Требуемые объемы того или иного вида компонентов комбинированного закладочного массива рассчитываются графически на этапе проектирования закладочных работ.

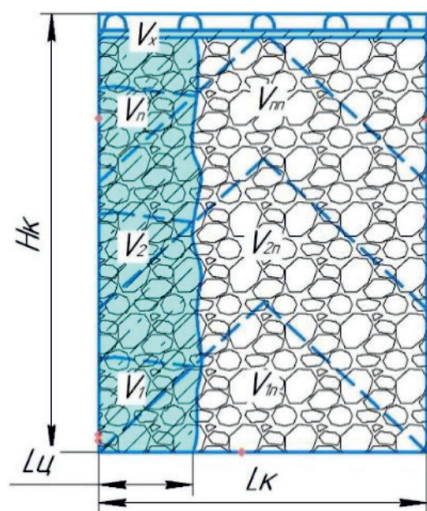


Рис. 2. Конструкция комбинированного закладочного массива

Расчетный объем твердеющей смеси на камеру:

$$V_{\Sigma T} = V_1 + V_2 + \dots + V_N + V_x, \text{ м}^3, \quad (1)$$

где  $V_1, V_2, \dots, V_N$  – объемы твердеющей смеси,  $\text{м}^3$ ;

$V_x$  – объем твердеющей смеси для формирования потолочины,  $\text{м}^3$ ;

$H_k$  – высота камеры, м.

Требуемый объем пустой породы для закладки камеры:

$$V_{\Sigma п} = V_{1п} + V_{2п} + V_{3п} + \dots + V_{nп}, \text{ м}^3, \quad (2)$$

где  $V_{1п}, V_{2п}, V_{3п}, \dots, V_{nп}$  – объемы породы на слой,  $\text{м}^3$ .

К закладываемой пустой породе предъявляются определенные требования, в частности по крупности ( $\leq 50$  мм) и содержанию серы ( $\leq 8\%$ ). Если первое ограничение обусловлено техническими возможностями разгрузочного механизма автосамосвалов с метательным устройством, второе связано с предотвращением возгорания техногенного массива. Дробление породы производится на земной поверхности в дробильно-сортировочном узле с дальнейшим перепуском по породопуску на закладочный горизонт.

Определение параметров метания породы в камеру осуществляется по схеме (рис. 3). Расчетная схема и методика позволяют определить требуемый угол установки метателя относительно горизонтальной оси, скорость движения породы для заданного угла и скорость движения ленты метателя. Все искомые параметры метания позволяют распределять закладываемую породу равномерно по всей площади камеры.

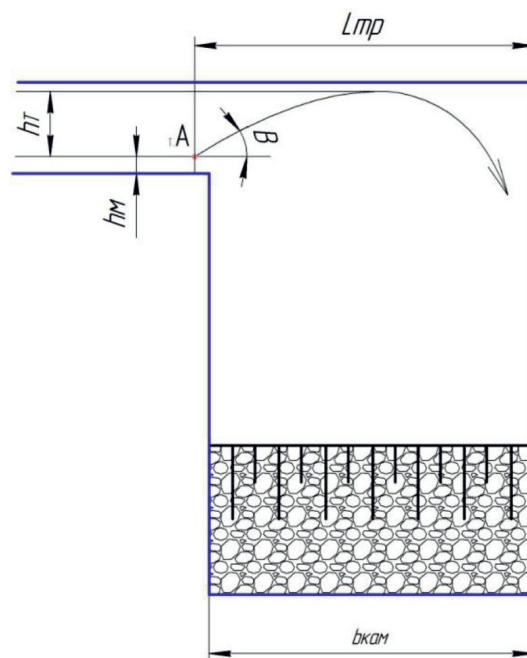


Рис. 3. Схема метания породы:

$l_{mp}$  – дальность метания, м;

$h_m$  – высота сброса породы, м;  $\beta$  – угол, град;

$h_{tr}$  – высота траектории полета, м

Угол установки метателя относительно горизонтальной оси:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{2 \cdot h_{\text{тр}}}{l_{\text{тр}}}. \quad (3)$$

Скорость движения породы для заданного угла:

$$V_M = \sqrt{\frac{2 \cdot g}{\sin 2 \beta}} \cdot l_{\text{тр}}, \text{ м/с}. \quad (4)$$

Скорость движения ленты метателя:

$$V_M = e^{fa} \sqrt{V_H + 14,2 \cdot R}, \text{ м/с}. \quad (5)$$

где  $\alpha$  – угол между лентой и точкой поступления породы, рад;

$f$  – коэффициент трения (принимается 0,5÷0,7);

$R$  – радиус барабана, м;

$V_H$  – скорость движения породы, начальная скорость материала в точке входа на участок ленты, м/с.

Несмотря на сложность организации закладочных работ, основным преимуществом применения автосамосвалов с метательным устройством является обеспечение безопасности ведения горных работ – автосамосвал не подъезжает к краю транспортного заезда при разгрузке по сравнению с использованием традиционных автосамосвалов с опрокидным кузовом.

#### Результаты исследования и их обсуждение

Оценка устойчивости разработанного комбинированного закладочного массива при отработке соседней камеры производится по нижеприведенной методике.

Расчет величины бокового давления на бутобетонный массив от породной закладки определяется по формуле

$$P = n_g \cdot \varepsilon \cdot \kappa \cdot (h - h_0) \gamma,$$

где  $n_g$ ,  $\varepsilon$ ,  $\kappa$  – коэффициенты соответственно бокового давления и зависания от взаимодействия с породной закладкой;  $g$  – гидравлический радиус.

$$h_0 = \frac{2\tau_0}{\gamma} \cdot \frac{1 + \sin \varphi}{\cos \varphi}, \text{ м}, \quad (6)$$

$$n_g + 1 + j/g, \quad (7)$$

где  $\tau_0$  – начальное сопротивление сдвигу, Па;  $\varphi$  – угол внутреннего трения;

$$\kappa = \frac{1}{1 + 2f^2 + \sqrt{1 + f^2 \cdot (f + \sqrt{f^2 - f_1^2})}}; \quad (8)$$

$$\chi = \frac{\kappa(h - h_0)}{g}; \quad (9)$$

$$\varepsilon = \frac{1}{\chi} \left( 1 - \frac{1}{e^\chi} \right); \quad (10)$$

$$g = \frac{A \cdot B}{2(A + B)}, \text{ м}. \quad (11)$$

Оптимальная ширина бутобетонного массива, обеспечивающего вертикальную устойчивость под действием породной закладки:

$$\delta = \sqrt{\frac{6W}{t}}, \text{ м}. \quad (12)$$

При расчетах  $t$  равен  $h$  ( $W$  по  $M_1$ ) и  $t$  равен,  $a$  ( $W$  по  $M_2$ ).

Момент сопротивления бутобетонного массива:

$$W = \frac{M \cdot k}{G_{\text{рас}}}, \text{ МПа}, \quad (13)$$

где  $\kappa$  – коэффициент перегрузки, ( $\kappa = 1$ );  $M$  – коэффициент условий работы, ( $M = 0,2$ );  $G_{\text{рас}}$  – прочность бутобетонного массива на растяжение, МПа.

Прочность бутобетонного массива:

$$G_{\text{сж}} = 2,5 \cdot \sqrt{(G_{\text{рас}})^3}, \text{ МПа}. \quad (14)$$

Максимальный изгибающий момент по горизонтальному ( $M_1$ ) и вертикальному ( $M_2$ ) сечениям бутобетонного массива:

$$M_1 = \frac{p \cdot a^2}{Y_1}, \text{ Нм}; \quad (15)$$

$$M_2 = \frac{p \cdot h^2}{Y_2}, \text{ Нм}, \quad (16)$$

где  $p$  – величина давления пустой породы на бутобетонный массив МПа,  $\lambda$  – отношение высоты ( $h$ , м) к ширине камеры ( $a$ , м).

Аппроксимированием величин табличных коэффициентов построены зависимости коэффициентов  $Y_1$  и  $Y_2$  от отношения высоты к ширине камеры:

– при защемленном контуре:

$$Y_1 = 67,48x^{2,23}, R^2 = 0,957, \quad (17)$$

$$Y_2 = 171x^2 - 212,6x + 95,26, R^2 = 0,996, \quad (18)$$

– при свободно опертом контуре:

$$Y_1 = 30,4x^{2,16}, R^2 = 0,982, \quad (19)$$

$$Y_2 = 57x^2 - 54,95x + 24,79, R^2 = 0,998. \quad (20)$$



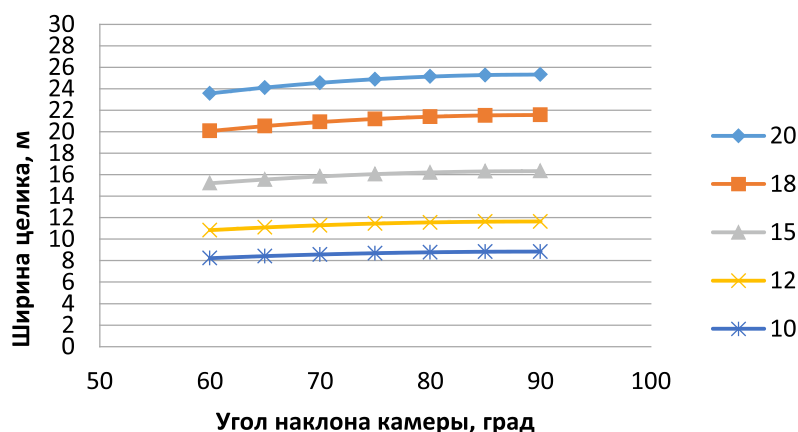


Рис. 4. Влияние угла наклона камеры на ширину бутобетонного массива

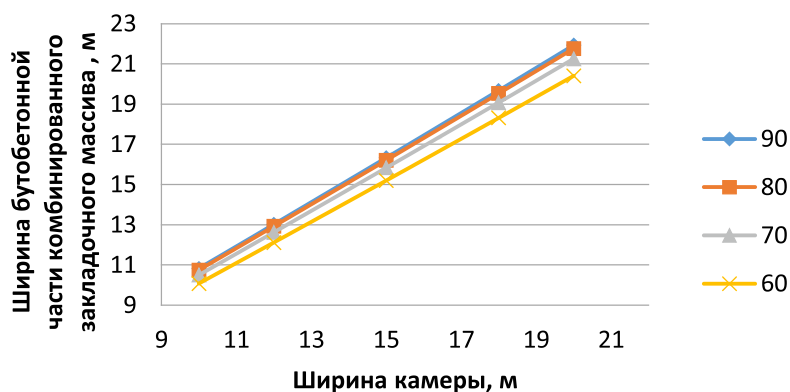


Рис. 5. Влияние ширины камеры на параметры бутобетонного массива

Проведенными исследованиями оценивалось влияние ширины и угла наклона камеры на параметры бутобетонного массива. Формирование наклонных камер при отработке крутопадающих рудных тел предложенной технологией влияет на требуемую ширину бутобетонного массива, обеспечивающую устойчивость незначительно (рис. 4).

Основное влияние на параметры бутобетонного массива, сохраняющего устойчивость при обнажении, оказывает ширина камеры (рис. 5).

Исследования свидетельствуют о прямой зависимости данных параметров. Уменьшение параметров камеры способствует уменьшению геометрических размеров бутобетонного массива, обеспечивающих устойчивость при обнажении.

Установлено также влияние двух параметров камеры на ширину бутобетонного массива – высоты и ширины камеры.

Полученные значения объединены в поверхность и представлены на рис. 6.

Данная поверхность позволяет (при фиксированной нормативной прочности бутобетонной части комбинированного закладочного массива на сжатие  $G_{сж} = 3$  МПа) графическим методом определить требуемую ширину возводимой бутобетонной части комбинированного закладочного массива в зависимости от ширины и угла наклона камеры.

### Закключение

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать вывод, что способ извлечения запасов месторождения снизу вверх является оправданным при ряде случаев и находит все большее распространение. Наряду с этим являются актуальными варианты систем разработок с закладкой выработанного пространства, адаптированные под данный порядок ведения горных работ.

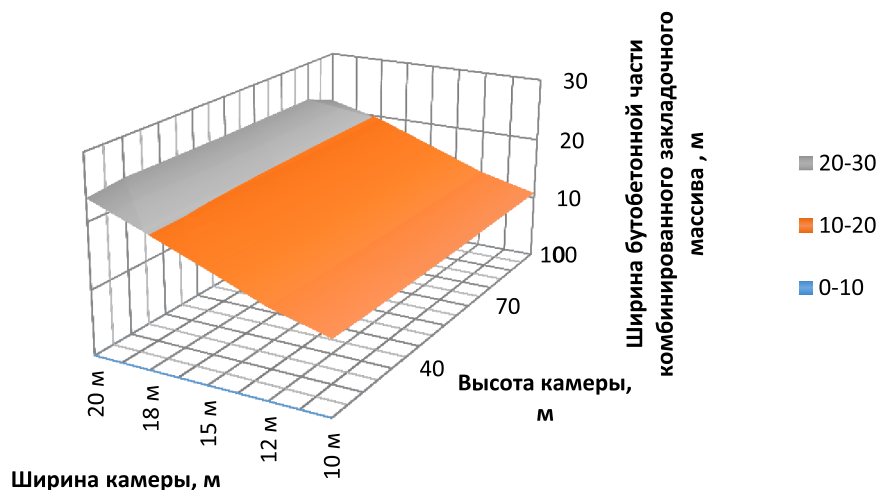


Рис. 6. Влияние высоты и ширины камеры на ширину бутобетонного массива

Предложенный способ возведения комбинированного закладочного массива с использованием автосамосвалов, оборудованных метателем, обеспечивает вовлечение в закладочный процесс пустых пород до 70%. Приведенная методика расчета параметров укладки породы позволит распределять закладываемую породу равномерно по всей площади камеры, а определение параметров закладочного массива обеспечит безопасность восходящей геотехнологии и снижение себестоимости закладочных работ.

#### Список литературы

1. Танков М.С. Перспективы применения восходящего порядка отработки в условиях медноколчеданных месторождений Урала // Комбинированная геотехнология: теория и практика реализации полного цикла комплексного освоения недр: тезисы докладов VI Международной конференции. 2011. С. 51.
2. Tankov M.S. Prospects for the application of the ascending order of mining in the conditions of copper-chipped deposits of the Urals // Kombinirovannaya geotekhnologiya: teoriya i praktika realizatsii polnogo tsikla kompleksnogo osvoeniya nedr: tezisy dokladov VI Mezhdunarodnoy konferentsii. 2011. P. 51 (in Russian).
3. Трубецкой К.Н., Чантурия В.А., Каплун Д.Р., Рыльникова М.В. Комплексное освоение месторождений и глубокая переработка минерального сырья: Институт проблем комплексного освоения недр РАН. М.: Наука, 2010. 437 с.
4. Trubetskoy K.N., Chanturia V.A., Kaplunov D.R., Rylnikova M.V. Complex field development and deep processing of mineral raw materials: Institute of problems of comprehensive exploitation of mineral resources Russian Academy of Sciences. M.: Nauka, 2010. 437 p. (in Russian).
5. Каплунов Д.Р. Создание ресурсосберегающей геотехнологии и комплекса оборудования для высокопроизводительной закладки выработанного пространства при подземной отработке месторождений твердых полезных ископаемых. М.: ИПКОН РАН, 2011. 380 с.
6. Kaplunov D.R. Creation of resource-saving geotechnology and a set of equipment for high-performance laying of the developed space during underground mining of solid mineral deposits. M.: IPKON RAN, 2011. 380 p. (in Russian).
7. Аллабердин А.Б., Валеев А.С. Геомеханическое обоснование восходящего порядка отработки запасов залежи № 6 медноколчеданного месторождения «Юбилейное» // Опыт реализации Федерального государственного образовательного стандарта в образовательных учреждениях: материалы III Всероссийской научно-практической конференции. 2015. С. 177–179.
8. Allaberdin A.B., Valeev A.S. Geomechanical justification of the ascending order of mining of reserves of the deposit No. 6 of the Yubileynoye copper-coal deposit // Opyt realizatsii Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo standarta v obrazovatel'nykh uchrezhdeniyakh: materialy III Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. 2015. P. 177–179 (in Russian).
9. Аллабердин А.Б., Валеев А.С. Схемы развития фронта горных работ при камерной системе разработки с комбинированной закладкой и расположением камер по простиранию рудного тела // Опыт реализации Федерального государственного образовательного стандарта в образовательных учреждениях: материалы IV Всероссийской научно-практической конференции. ФГБОУ ВПО «Башкирский государственный университет», Сибайский институт 2015. С. 28–33.
10. Allaberdin A.B., Valeev A.S. Schemes for the development of the mining front in a chamber mining system with a combined laying and arrangement of chambers along the strike of the ore body // Opyt realizatsii Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo standarta v obrazovatel'nykh uchrezhdeniyakh: materialy IV Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. FGBOU VPO «Bashkirskiy gosudarstvennyy universitet», Sibayskiy institut. 2015. P. 28–33 (in Russian).
11. Соколов И.В. Обоснование конструкции и параметров подземной геотехнологии при комбинированной разработке рудных месторождений Урала: дис. ... докт. техн. наук, Екатеринбург, 2012. 377 с.
12. Sokolov I.V. Substantiation of the design and parameters of underground geotechnology in the combined development of ore deposits in the Urals: dis. ... dokt. tehn. nauk. Ekaterinburg, 2012. 377 p. (in Russian).