УДК 622.341.1

В.П.ЗУБОВ, *д-р техн. наук, профессор, spggi_zubov@mail.ru*
М.Д.МОРОЗОВ, *канд. техн. наук, ассистент, mikhail_morozov@mail.ru*
А.С.МАЛЮТИН, *аспирант, alexey-malyutin@yandex.ru*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

V.P.ZUBOV, *Dr. in eng. sc., professor, spggi_zubov@mail.ru*
M.D.MOROZOV, *PhD in eng. sc., assistant lecturer, mikhail_morozov@mail.ru*
A.S.MALYUTIN, *post-graduate student, alexey-malyutin@yandex.ru*
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ БОКОВ ОЧИСТНЫХ ЗАХОДОК ПРИ СЛОЕВЫХ СИСТЕМАХ РАЗРАБОТКИ БОГАТЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД

Установлены факторы, оказывающие наиболее существенное влияние на устойчивость боков очистных заходок, проходимых под закладочным массивом. Исследовано влияние физико-механических свойств рудного массива на высоту очистных заходок. Рассмотрены перспективные способы повышения устойчивости боков заходок.

***Ключевые слова*:** богатые железные руды, слоевые системы разработки, твердеющая закладка, обрушения боков заходок.

STOPES WALLS STABILIZATION AT THE RICH IRON ORE MINING BY THE FLAT-BACK CUT-AND-FILL METHOD

The most influencing the stopes walls stability factors have been determined. Physical-and-mechanical ore mass properties impact to the stopes height has been researched. Advanced ways to improve stopes walls stability have been considered.

***Key words*:** rich iron ore, flat-back cut-and-fill method, consolidating stowing, falls of stopes walls.

При отработке месторождений неустойчивых руд с использованием слоевых систем разработки к числу актуальных задач относится задача обеспечения устойчивости боков очистных выработок. При решении данной задачи наибольшие сложности возникают при разработке крутопадающих рудных тел в нисходящем порядке с полной закладкой выработанного пространства твердеющими смесями. При ведении очистных работ под закладочным массивом наблюдаются самопроизвольные обрушения руды из боков заходок, приводящие к снижению безопасности горных работ, производительности труда и качества закладочных работ.

Исследования, выполненные при отработке богатых железных руд в условиях рудника «Яковлевский» (табл.1), показали, что обрушения руды носят случайный характер и происходят, как правило, без предупредительных признаков.

В качестве примера обработки и характера полученных результатов на рис.1 представлены результаты шахтных исследований в очистной заходке № 4-1-19 слоя «1», пройденной вкрест простирания пород. Кровлей заходки является закладочный массив, созданный при отработке слоя «0».

На сечениях 1-1, 2-2 и 3-3 (рис.1) показано состояние контура поперечного сечения

Таблица 1

Физико-механическая характеристика рудного и закладочного массивов на участках проведения шахтных наблюдений

Массив	Объемная масса γ, кН/м^3	Предел прочности на растяжение $\sigma_р$, МПа	Модуль деформации E, МПа	Коэффициент Пуассона μ	Удельное сцепление С, МПа	Угол внутреннего трения ρ
Рудный						
Руда мартит-железнослюдковая рыхлая	34,5	0,5	800	0,25	0,5	34°
Руда железнослюдково-мартитовая хлоритизированная	34,8	1,4	1400	0,20	1,7	40
Руда гидрогематит-мартитовая тонкозернистая крепкая	33,4	4,0	2600	0,21	4,5	39
Закладочный						
Бетон несущего слоя	22,3	10*	7500	0,25	12,4	37
Бетон наполняющего слоя	18,5	4*	5500	0,24	10,2	38

* Предел прочности материала закладочного массива на одноосное сжатие.

очистной заходки № 4-1-19 на ее участках, пройденных соответственно по рудам: мартит-железнослюдковым рыхлым; гидрогематит-мартитовым тонкозернистым; железнослюдково-мартитовым хлоритизированным.

Наибольшей вероятностью обрушений боков очистных заходок характеризуются участки заходок, пройденные по железнослюдково-мартитовым ($\sigma_{сж}$ = 0,5÷2,8 МПа) и мартитовым ($\sigma_{сж}$ = 0,2÷2,7 МПа) рыхлым рудам.

При ведении очистных работ на участках с железнослюдково-мартитовыми и мартитовыми рыхлыми рудами отмечено следующее:

– наиболее характерным (80 % и более) является разрушение рудного массива в боках очистных заходок по линиям скольжения, при этом максимальная глубина разрушения наблюдается у кровли заходки, минимальная – у подошвы заходки;

– плоскость, проходящая через границу зоны разрушения, наклонена в сторону рудного массива под углом 70-76°;

– глубина разрушения боков заходок в верхней их части в 97 % случаев не превышает 2,0 м;

– наиболее существенное возрастание интенсивности разрушения рудного массива в боках очистных заходок более чем в 85 % случаев наблюдается на расстоянии от забоя заходки, превышающем 5 м.

Результаты анализа формы полостей, образовавшихся в различные периоды ведения очистных работ при обрушениях боков очистных заходок, которые пройдены под закладочным массивом, созданным при отработке вышерасположенных слоев, позволяют выдвинуть следующие версии причин возникновения этого явления:

1) разрушение происходит под воздействием собственного веса руды;

2) разрушение происходит под воздействием собственного веса руды и опорного давления, формирующегося в краевой части рудного массива в результате ее пригрузки подработанным закладочным массивом и вышерасположенными породами.

В соответствии с первой из указанных версией, ширина полосы разрушенных пород в боках заходок может быть определена как расстояние от контура обнажения до линии скольжения, по которой происходит сползание рудного массива. Для оценки данного параметра в первом приближении могут быть использованы расчетные методы механики горных пород [2], в которых в качестве теоретической линии скольжения пород для непригруженных обнажений принимается

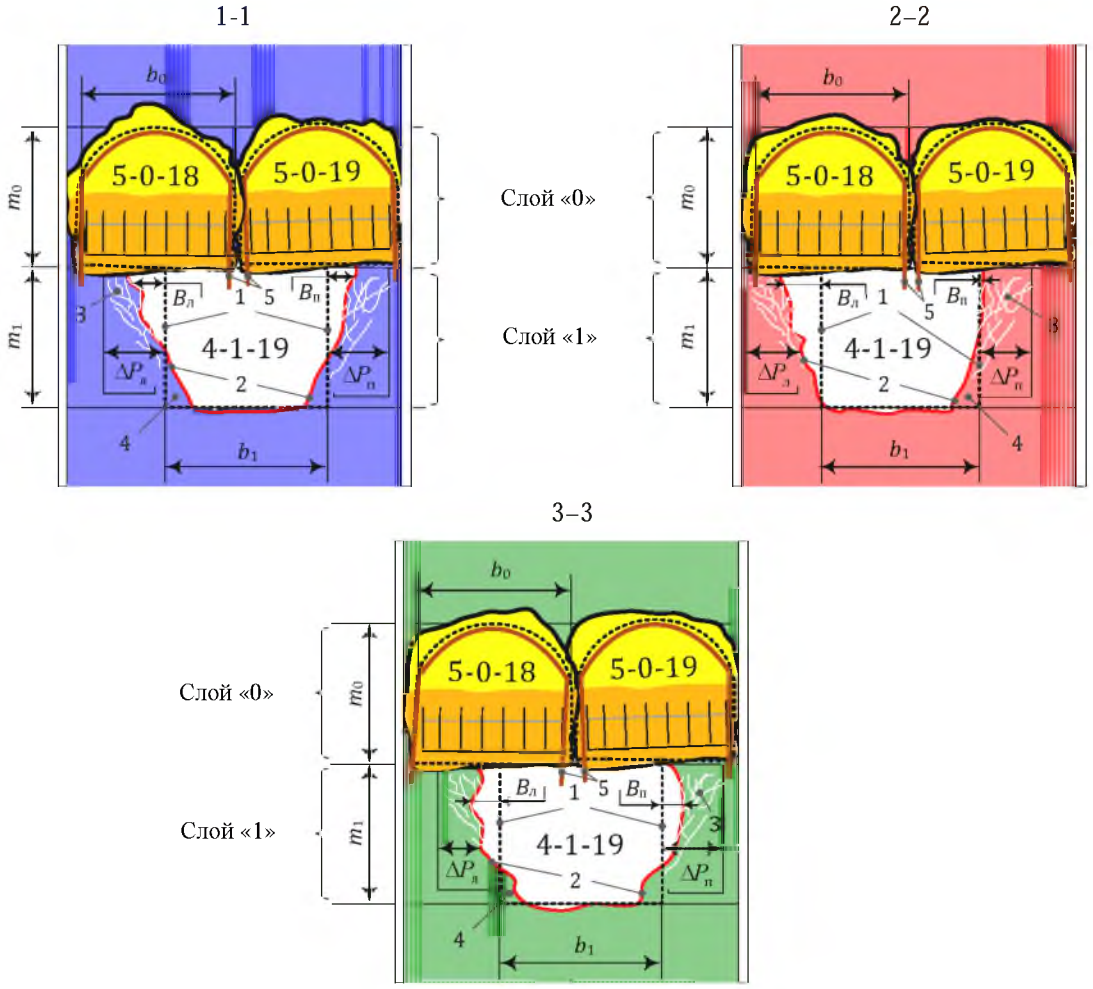


Рис.1. Состояния боков очистной заходки № 4-1-19 на различных участках по ее длине

1, 2 – проектный и фактический контур очистной заходки слоя «1»; 3 – зоны разуплотнения руд; 4 – обрушившаяся руда; 5 – стойки крепи заходок отработанного слоя «0»; m_0, m_1 – мощность слоя «0» и «1»; b_0, b_1 – ширина очистной заходки слоя «0» и «1»; $\Delta P_л$, $\Delta P_п$ – глубина распространения зон разуплотнения руд в левом и правом боках выработки; $B_л$, $B_п$ – максимальные глубины полости вывалов; – руда мартит-железно-слюдковая рыхлая; – руда гидрогематит-мартитовая тонкозернистая крепкая; – руда железно-слюдково-мартитовая хлоритизированная

круглоцилиндрическая поверхность скольжения. Согласно этим представлениям [2], площадки скольжения пород, образующие цилиндрическую поверхность скольжения, возникают при высоте вертикального обнажения породного массива, превышающей некоторую предельную величину, численное значение которой зависит от физико-механических характеристик массива.

Выполненные аналитические исследования показали, что предельная высота очистных заходок слоев «1» и «2», пройденных под закладочным массивом по мартитовым и железнослюдково-мартитовым рыхлым рудам, составляет около 3,5 м. При ее превышении не исключается образование в боках под действием собственного веса руды поверхностей скольжения и сползание (обрушение) рудного массива по этим поверхностям.

Предельная высота очистных заходок слоев «1» и «2», пройденных по относительно прочным мартитовым и железнослюдково-мартитовым плотным рудам, составляет 5,5 м и более. При ее превышении не исключается образование в их боках под действием собственного веса руды поверхностей скольжения. Вместе с тем на Яковлевском руднике зафиксированы случаи разрушения боков очистных заходок высо-

Таблица 2

Результаты оценки известных методик для расчета глубины зоны разрушения рудного массива в боках очистной заходки

Параметр	ВНИМИ [1]	В.Г.Гмошинский [3]	Работа [6]
Основные расчетные формулы	$b = \frac{0{,}02K_к m\gamma H}{\sigma^2_{сж.ср.взв}} e^{-0{,}003P}$	$b = \frac{1}{\frac{2}{l}+\frac{2f}{m\xi}} \ln\frac{\gamma H(1+K_к)}{C}$	$b = \frac{1}{a}\ln\left[1+\frac{\lambda\gamma H}{k'\nu}\right]$
Отношения расчетных значений к фактическим, доли. ед.	0,5-1,3	2,9-3,7	1,7-2,5

Примечание: $K_к$ – коэффициент концентрации напряжений, доли ед.; m – мощность пласта, м; γ – объемный вес руды, т/м^3; H – глубина ведения работ, м; $\sigma_{сж}$ – средневзвешенная прочность руды на одноосное сжатие; кг/см^2; P – усилие распора крепи, Н; l – длина выработанного пространства, м; f – коэффициент внутреннего трения руды, доли ед.; ξ – коэффициент бокового давления, доли ед.; C – коэффициент сцепления руды, кг/см^2; $a = \frac{2f_{тр}\lambda}{m}$, см$^{-1}$; $f_{тр}$ – коэффициент трения «руда – порода» либо «руда – руда», доли ед.; $\lambda = \frac{1+\sin\rho}{1-\sin\rho}$; ρ – угол внутреннего трения, градус; k' – коэффициент сцепления руды в зоне предельно напряженного состояния с учетом квазиразрыхления, кгс/см^2; $\nu = \frac{2\cos\rho}{1-\sin\rho}$.

той 4 м. Отмеченные факты свидетельствуют, по-видимому, о том, что в разрушении массива, представленного мартитовыми и железнослюдково-мартитовыми плотными рудами, принимает участие не только собственный вес руды, но и опорное давление, формирующееся в краевой части рудного массива. С увеличением ширины выработанного пространства прогнозируется возрастание влияния данного фактора.

Расчетные значения глубины распространения зоны разрушения рудного массива в боках очистных заходок (табл.2), определенные с использованием известных методик [1, 3, 6], как правило, отличаются от средних фактических значений, установленных в соответствующих горно-геологических и горно-технических условиях. Вместе с тем качественные зависимости между рассматриваемым параметром и влияющими на него факторами аналогичны зависимостям, установленным при проведении шахтных наблюдений. В дальнейшем, по мере накопления и систематизации фактических данных о параметрах областей разрушений боков заходок, пройденных под закладочным массивом, возможно снижение погрешности расчетов с использованием рассмотренных методик [1, 3, 6] путем введения в расчетные формулы поправочных коэффициентов.

К числу перспективных методов, создающих геомеханические предпосылки для существенного снижения вероятности обрушений боков очистных заходок, относится способ, включающий проходку первичных заходок с наклоном их стенок на определенный угол в сторону рудного массива [4]. Заходки второй очереди проходят с двойной присечкой к закладочным массивам, созданным в первичных заходках. Положительный эффект при этом достигается за счет как приближения контура поперечного сечения заходки к эллипсоиду свода естественного равновесия, формирующемуся во вмещающем массиве, так и предварительного извлечения объема руды из области массива, являющейся наиболее опасной по фактору «Обрушение». При проходке первичных очистных заходок высотой 4,5 м с углом наклона стенок, равным 70-75°, объем пород в области перехода их в предельное состояние и обрушения в среднем уменьшается на 2,7-3,3 м^3.

Недостатком данного способа [4], существенно снижающим эффективность его использования, является трудность зачистки

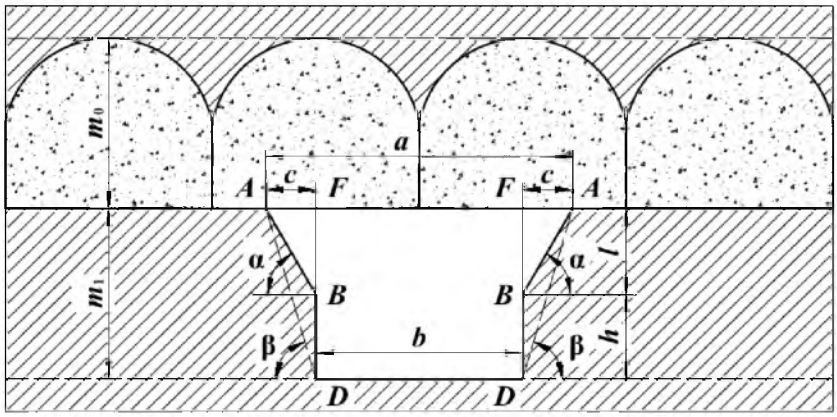


Рис.2. Рекомендуемая форма поперечного сечения заходок первой очереди в слоях «1» и «2» при использовании погрузочно-доставочных машин типа TORO-400: *a* – максимальное обнажение кровли; *ADF* – области разрушения рудного массива горным давлением в боках заходки первой очереди при расположении ее боковой поверхности по всей высоте m_1 под углом 90° к горизонтальной плоскости; *c* – максимальная глубина разрушения рудного массива горным давлением

– рудный массив; – закладочный массив

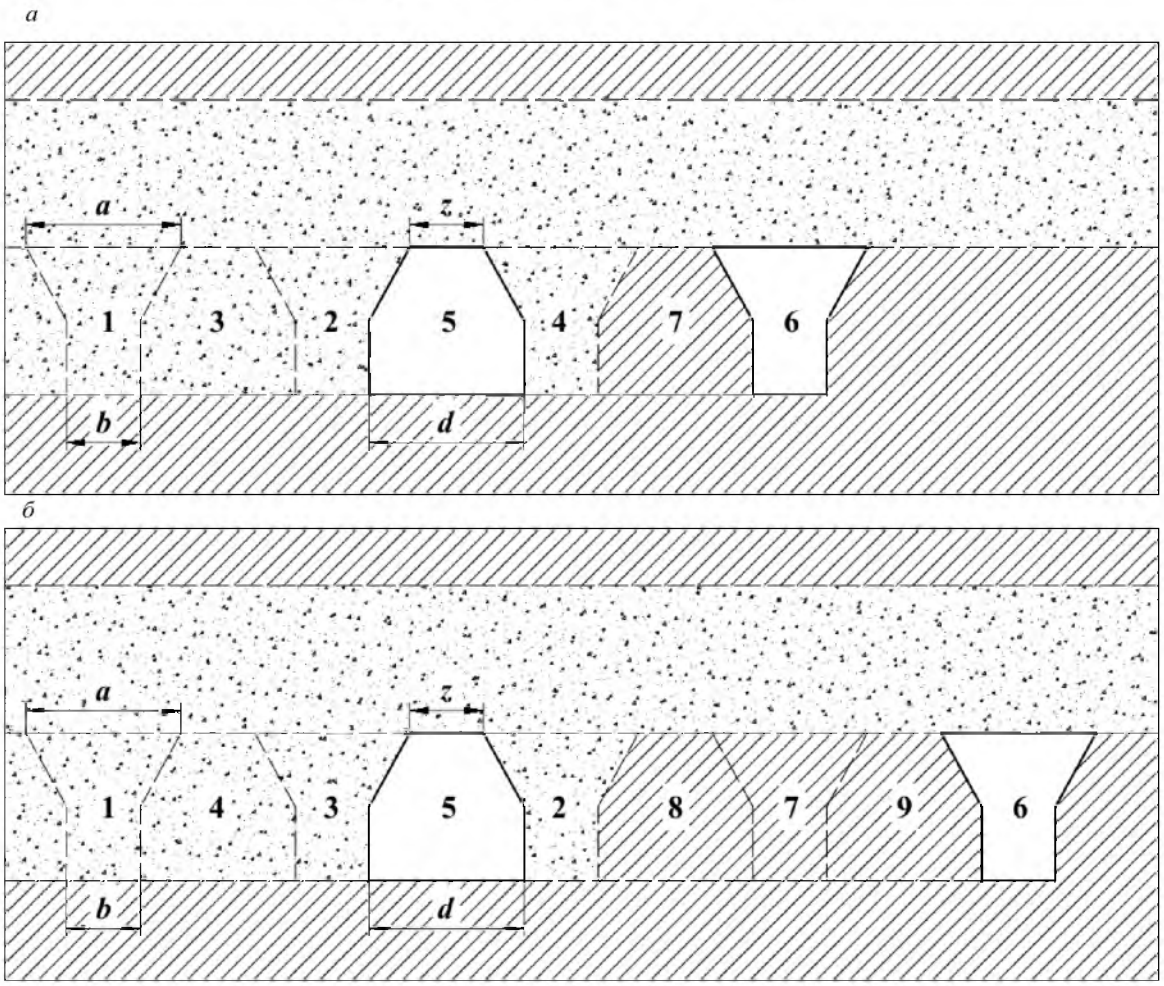


Рис.3. Рекомендуемые схемы проходки очистных заходок в слоях, расположенных под закладочным массивом. На схеме *а*: 1, 2, 4, 6 – заходки первой очереди, 3, 5, 7 – присечные заходки; на схеме *б*: 1, 2, 3, 6, 7 – заходки первой очереди; 4, 5, 8, 9 – присечные заходки

руды современными погрузочно-доставочными машинами на участках подошвы присечной заходки, прилегающих к ее бокам. Для устранения данного недостатка при выемке руды комбайнами избирательного действия (MR-360, ПК-110 и др.) и ее доставке погрузочно-доставочными машинами типа TORO-400 целесообразно боковым поверхностям заходок в нижних их частях высотой h (рис.2), прилегающих к подошве, придавать форму плоскостей, перпендикулярных подошве заходки, а в верхних частях высотой l, прилегающих к кровле заходки, – форму плоскостей, наклоненных в сторону смежных присечных заходок под углом α. При этом высоту h нижних частей боковых поверхностей заходок DB, прилегающих к подошве заходки, принимают равной высоте погрузочно-доставочной машины, используемой для доставки руды.

При проходке заходок первой очереди с использованием погрузочно-доставочных машин типа TORO-400 принимают h = 2,3 м. Значения параметра c при проходке заходок первой очереди по железнослюдково-мартитовым и мартитовым рыхлым рудам составляет 0,8-1,0 м с вероятностью не менее 0,85. Угол $\beta = 70 \div 75°$.

Рекомендуемые схемы проходки очистных заходок в слоях, расположенных под закладочным массивом, приведены на рис.3. При использовании данных схем создаются объективные предпосылки для существенного снижения вероятности обрушений боков очистных заходок. Это достигается тем, что заходки первой очереди проходят с наклоном на массив наиболее опасных верхних частей l боковых поверхностей заходки (рис.3), и высоту h нижней части боковой поверхности заходок, прилегающих к подошве заходки, принимают меньше предельной высоты, при превышении которой возможно разрушение заходки под действием собственного веса. По данным выполненных шахтных и аналитических исследований предельная высота стенок очистных заходок, пройденных по железнослюдково-мартитовым и мартитовым рыхлым рудам, составляет около 2,5-3,0 м. Присечные заходки в рекомендуемых схемах проходят между закладочными массивами, что существенно упрощает решение задачи обеспечения устойчивости боков присечных заходок.

Следует отметить, что использование рассматриваемого способа обеспечения устойчивости боков очистных заходок создает также условия для увеличения ширины присечных заходок d, а следовательно, и повышения производительности труда на очистных работах. Возможности увеличения величины обнажения кровли z в присечных заходках в значительной степени зависят от взаимной ориентации осей очистных заходок, пройденных в смежных слоях. Максимальное значение данного параметра по фактору «Устойчивость пород кровли» достигается при расположении осей заходок в смежных слоях под углом 90°, минимальная – при параллельном расположении заходок в смежных слоях.

При проходке первичных заходок на участках, осложненных геологическими нарушениями, результативность способа может быть существенно повышена при установке в боках заходок анкеров (например, стеклопластиковых, деревянных и др.), изготовленных из материалов, легко разрушаемых исполнительным органом комбайна и не оказывающих отрицательного влияния на ведение очистных работ в присечных заходках [5]. Установку анкеров необходимо проводить с минимально возможным отставанием от забоя первичной заходки. При указанном расстоянии, превышающем 15 м, эффективность анкерного крепления боков заходок существенно снижается.

ЛИТЕРАТУРА

1. Временные указания по управлению горным давлением в очистных забоях на пластах мощностью до 3,5 м с углом падения до 35°/ ВНИМИ. Л., 1982. 134 с.

2. *Гальперин А.М.* Геомеханика открытых горных работ. М.: Изд-во Москов. гос. горного университета, 2003. 473 с.

3. *Гмошинский В.Г.* Горное давление на угольный пласт в окрестности выработки // Уголь. 1957. № 6. С.16-23.

4. Патент 2490459 РФ, E21C 41/22. Способ разработки мощных крутопадающих месторождений неустойчивых руд / В.П.Зубов. Опубл. 20.08.2013. Бюл. № 23.

5. Патент 2490461 РФ, E21C 41/22, E21D 19/00. Способ разработки мощных крутопадающих залежей неустойчивых руд / В.П.Зубов, А.А.Антонов, А.С.Малютин, М.Д.Морозов, П.С.Масленников. Опубл. 20.08.2013. Бюл. № 23.

6. *Петухов И.М.* Механика горных ударов и выбросов / И.М.Петухов, А.М.Линьков. М.: Недра, 1983. 280 с.

REFERENCES

1. Temporary guide for rock strata control in stopes for seams with thickness 3,5 m and angle of inclination up to 35° / VNIMI. Leningrad, 1982. 134 p.

2. *Galperin A.M.* Geomechanic in surface mining. Moscow: Publ. house of the Moscow State Mining University, 2003. 473 p.

3. *Gmoshinsky V.G.* Rock stress in coal seam in vicinity of excavations // Coal. 1957. N 6. P.16-23.

4. RF Patent 2490459, E21C 41/22. Method of unsteady ore thick steep deposits development / V.P.Zubov. Publ. 20.08.2013. Bul. N 23.

5. RF Patent 2490461, E21C 41/22, E21D 19/00. Method of unsteady ore thick steep deposits development / V.P.Zubov, A.A.Antonov, A.S.Malyutin, M.D.Morozov, P.S.Maslennikov. Publ. 20.08.2013. Bul. N 23.

6. *Petuchov I.M., Linkov A.M.* Mechanics of rock bursts and releases. Moscow: Nedra, 1983. 280 p.