

В.А. Еременко, В.Н. Лушников

МЕТОДИКА ВЫБОРА «ДИНАМИЧЕСКОЙ» КРЕПИ ВЫРАБОТОК ДЛЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СКЛОННЫХ И ОПАСНЫХ ПО ГОРНЫМ УДАРАМ

Аннотация. Показаны результаты научно-исследовательской работы, посвященной созданию методики выбора «динамической» крепи выработок для месторождений склонных и опасных по горным ударам. «Динамической» называется крепь, способная выдержать нагрузку, создаваемую динамическими проявлениями горного давления. В состав системы крепления входят анкеры с повышенной несущей способностью, которые могут деформироваться без разрыва, и поверхностная крепь со схожими параметрами. Одним из способов снижения последствий горных ударов является установка «динамической» крепи, способной выдерживать воздействия динамических проявлений горного давления высокой магнитуды. Оптимальная «динамическая» крепь должна обладать способностью сдерживать обрушение при горном ударе, и в то же время быть относительно недорогой и практичной при установке. Представлена методика выбора крепи, которую рекомендуется применять при разработке скальных пород в условиях удароопасности. Различные виды анкерных и поверхностных крепей выработок на стадии проектирования горных работ рассматриваются с позиций энергопоглощения и деформируемости. Предлагаемый подход рекомендуется использовать при проектировании параметров «динамической» крепи выработок в условиях применения систем разработки различного класса — с естественным и искусственным поддержанием очистного пространства, а также систем с обрушением руды и породы. В сложных горно-геологических условиях, в условиях повышенного горного давления, обильного притока воды, повышенной трещиноватости пород параметры уточняются с учетом проведения геотехнической оценки состояния массива и уточняются с использованием специальных программ.

Ключевые слова: горный удар, горное давление, сейсмическое событие, «динамическая» крепь, энергетическая нагрузка, энергопоглощение, деформация крепи.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-12-0-5-12

Введение

Устойчивость подземных выработок с увеличением глубины разработки зависит от опорного давления, которое возникает на границах выработанного пространства. Рост напряжений с глубиной отработки и возникновение зон концентрации напряжений в массиве приводит к активизации сейсмических событий и, как следствие, к микроударам и горным ударам [1]. На месторождениях склонных и опасных по горным ударам регу-

лярно регистрируются сейсмические события, которые уже не классифицируются как «микросейсмические», так как их магнитуды имеют значения выше нуля. Проявление сейсмических событий с локальной магнитудой порядка 1,5–3,0 M_L уже не редкость, причем многие из них приводят к горным ударам, которые проявляются в виде разрушения целиков и выбросов горной массы в выработки, создают серьезную угрозу безопасности работы горняков и приводят к наруше-

ниям процессов разработки месторождений.

Техногенная сейсмичность при ведении горных работ хорошо изучена за последние 20 лет, что позволяет эффективно использовать данные сейсмомониторинга на стадии проектирования рудников для размещения капитальных выработок за пределами прогнозируемых сейсмически активных зон. Тем не менее, горные удары продолжают происходить. Руководители горнодобывающих предприятий сталкиваются с необходимостью получения ответа на следующие вопросы:

- Способен ли выбранный тип крепи обеспечить безопасность работы в случае возникновения горного удара?
- Если нет, то какая система крепи гарантирует безопасность?

События с локальной магнитудой свыше $1,0 M_L$ характеризуются как сбросовые, т.е. большая масса ослабленной горной породы сбрасывается из кровли или боков в выработку, преимущественно, под воздействием двух факторов: колебания массива при прохождении сейсмической волны и силы гравитации — это наиболее распространенный вид горных ударов на росийских рудниках.

«Динамическая» крепь должна быть достаточно прочной, чтобы противостоять горным ударам, но также относительно недорогой и практичной при установке.

В статье представлена методика выбора крепи выработок для рудников, которые ведут добычу твердых полезных ископаемых на месторождениях склоновых и опасных по горным ударам [2].

Параметры выбора

«динамической» крепи выработок

Для выбора «динамической» крепи, выдерживающей горный удар в виде сброса, необходимо установить при проведении исследований три основных па-

раметра: магнитуду расчетного события, расчетное расстояние до источника события и расчетную массу вывала.

Согласно полученным результатам исследований напряженно-деформированного состояния массива горных пород на удароопасных рудниках Горной Шории, Хакасии, Норильского никеля и Западной Австралии магнитуда расчетного сейсмического события, которое приводит к микроудару или горному удару и сопоставляется со способностью «динамической» крепи выдерживать воздействие динамического проявления горного давления, изменяется в диапазоне локальной магнитуды порядка $1,0$ – $2,5 M_L$ и менее. При условии анализа зависимости между магнитудой и частотностью события (кривые Гуттенберга-Рихтера) на руднике или разрабатываемом участке месторождения в расчет принимается максимальная магнитуда события с вероятностью периодического повторения более 5% и ее величина является расчетной.

Расчетное расстояние от гипоцентра сейсмического события до области разрушения подземной выработки или целика может изменяться от 10 до 40 м и более. Расчетная масса вывала при микроударе от $0,5$ до 10 м^3 , при горном ударе от 10 до 50 м^3 .

Для расчета параметров крепи необходимо также оценить массу ослабленной (нарушенной) горной породы, которая может быть сброшена в выработку в результате горного удара. По данным скважинных исследований определяется зона техногенных трещин растяжения которая распространяется в кровле выработки на определенную глубину, а также на какое расстояние от обнажения распространяется наиболее сильная трещиноватость [3]. При проведении ретроспективного анализа микроударов и горных ударов необходимо определить на какое расстояние от контура выработ-

ки было срезано большинство анкеров. Используя программу численного моделирования, например Mar3D, также можно смоделировать глубину трещинообразования вокруг выработки и откалибровать ее по результатам скважинных исследований [2, 4, 5]. Критическое значение объемного трещинообразования составляет примерно $400 \mu\epsilon^*$ — данное значение используется в дальнейшем для оценки глубины зоны нарушенности приконтурного массива в кровле выработок. Микродеформация ($\mu\epsilon = \mu\epsilon \cdot 10^{-6}$) — единица измерения относительной деформации растяжения, рассчитываемой путем деления величины абсолютной деформации ΔL на исходную длину объекта L : $\epsilon = \Delta L/L$.

В условиях динамической нагрузки крепь должна поглощать кинетическую энергию колебания горного массива, а также потенциальную энергию массы сбрасываемой породы, смещающейся в выработку под действием силы тяжести. Таким образом, полная величина энергии, которая поглощается «динамической» крепью (энергетическая нагрузка на крепь), оценивается следующим образом:

$$E = \frac{1}{2} m \cdot (p_{pv} \cdot SE)^2 + qmgd \quad (1)$$

где m — расчетная масса нарушенных горных пород, кг; p_{pv} — максимальная скорость колебания массива на контуре выработки, м/с; SE — коэффициент амплификации (приращение сейсмической активности); q — константа, равная 1 для горного удара в кровле, 0 — в борту выработки и 1 — в почве; g — ускорение свободного падения, м/с²; d — расстояние движения горной массы в закрепленную выработку, м.

Коэффициент амплификации варьируется в широком диапазоне от 1 до 4 [1] и его трудно определить количественно. В Западной Сибири и Западной Ав-

стралии этот коэффициент в основном принимают равным 2 [6]. Рекомендуется на рудниках принимать значение 2.

Величину можно оценить исходя из параметров источника расчетного события по следующему соотношению [1, 7, 8]:

$$p_{pv} = \frac{C^* \cdot 10^{0,5(M_L+1,5)}}{R + R_0} \quad (2)$$

$$R_0 = \alpha 10^{\frac{1}{3}(M_L+1,5)} \quad (3)$$

где C^* — масштабный множитель, равный 2,5 для типичных условий ведения горных работ; M_L — локальная магнитуда события; R — расстояние до источника сейсмического события, м; R_0 — радиус источника сейсмического события учитывающий затухание сейсмической волны в ближнем поле, м; α — константа областью изменения 0,53—1,14.

Общая энергетическая нагрузка рассчитывается по уравнению (1). Определяется при проведении ретроспективного анализа события также площадь поверхности распределения этой нагрузки равная площади основания ослабленного массива.

По данным исследований [9] в условиях «жесткого» нагружения (что типично для рудников, осуществляющих горные работы в скальных породах) анкерная крепь поглощает около 75% общей энергетической нагрузки, в то время как поверхностная крепь около 25%. Предполагается, что при более широком шаге установки анкеров поглощаемая ими часть энергии будет несколько уменьшаться, а доля энергии, приходящаяся на поверхностную крепь, будет увеличиваться.

В более слабых породах (условия «мягкого» нагружения) энергораспределение сместится в сторону поверхностной крепи: 30% на анкерную крепь и 70% на поверхностную крепь [8].

Параметры расчета динамической крепи
Dynamic ground support design

| Расчетные параметры | Ед. изм. |
|---|--------------------|
| Магнитуда расчетного события | — |
| Расстояние до источника события | м |
| Максимальная скорость массива на контуре выработки p_{dv} | м/с |
| Глубина нарушенности в кровле (ослабленный массив) | м |
| Расчетная масса сброса | т |
| Энергетическая нагрузка на крепь для расчетного события | кДж |
| Энергетическая нагрузка на единицу площади | кДж/м ² |
| Энергораспределение (анкера/поверхностная крепь) | % |
| Энергопоглощение для анкерной крепи | кДж/м ² |
| Энергопоглощение для поверхностной крепи | кДж/м ² |

В таблице представлены параметры расчета «динамической» крепи выработок, выдерживающей горный удар в виде сброса.

Энергопоглощение крепи

Для работы в условиях динамической нагрузки производится несколько видов податливых анкеров. Однако слабым звеном в системе остается поверхностная крепь, в том числе ее сочленение с анкерной крепью. Поэтому схему упрочнения выработок следует выбирать исходя из способности энергопоглощения поверхностной крепи.

Поверхностная крепь несет две основные функции: удержание мелких вывалов между анкерами и распределение нагрузки между анкерами. В удароопасных условиях второе требование является особенно актуальным для обеспечения надежной работы всей системы крепи.

При выборе «динамической» крепи выработок необходимо определить или знать ее способность к энергопоглощению: поверхностной крепи (энергопоглощение на единицу площади, Дж/м²; максимальное смещение до разрушения, мм); анкерной крепи (механизм деформирования анкерной крепи (рас-

тяжение; проскальзывание-растяжение; пропахивание; проскальзывание); максимальная деформационная характеристика, мм; энергопоглощение при деформации 100 мм, кДж; энергопоглощение при деформации 150 мм, кДж) [9–19]. Деформирование с проскальзыванием и пропахиванием ограничивается в расчетах 300 мм, хотя эти виды анкеров способны проскальзывать на большее расстояние.

Оптимальная поверхностная крепь должна иметь повышенную жесткость в начале деформирования прибортового массива, а затем проявлять податливость. Начальная жесткость необходима для минимизации трещинообразования и вспучивания горных пород. Такие свойства в достаточной мере проявляет фиброторкретбетон в условиях статического нагружения в сильнонапряженных массивах. Однако в динамическом режиме нагружения ФТБ не способен достаточно деформироваться или распределять нагрузку между анкерами. В таких условиях оптимальным вариантом крепи является комбинированная из ФТБ и сетки.

Важно учесть, что крепь в условиях динамического нагружения должна поглощать сейсмическую энергию с доста-

точным коэффициентом запаса прочности, чтобы выдержать последующие афтершоки, а также вследствие неточности входящих в расчеты данных, характеризующих сейсмичность и удароопасность массива горных пород. При проектировании динамических крепей коэффициент запаса прочности рекомендуется брать не менее 2.

Отобрав несколько вариантов систем «динамической» крепи, следует провести их испытания на руднике с соблюдением следующих основных требований:

- длительность испытаний не менее 1 месяца;
- хронометражные измерения каждого цикла работы крепи;
- учет мнения каждого специалиста, проводившего испытание (анализ положительных и отрицательных факторов работы крепи);
- руководство и контроль со стороны инженеров-геотехников за процессом проведения испытаний;
- документирование процесса испытаний: записи, фото и видеосъемка;
- расчет стоимости крепления с учетом коэффициента использования бурового проходческого агрегата;
- отчет по каждому циклу испытаний, включая обобщение полученных данных, отмеченные преимущества и недостатки;
- презентация результатов испытаний руководству рудника для вынесения решения о предпочтительном виде «динамической» крепи.

По результатам испытаний возможно, что несколько систем «динамической» крепи могут соответствовать рассматриваемым условиям. Для вынесения решения о предпочтительной системе «динамической» крепи следует выполнить количественную оценку всех систем на основе таких критериев как: способность к энергопоглощению, практичность и производительность при установке, логисти-

ка, требования к качеству установки и стоимость [20–22].

Комбинированные «динамические» крепи, отобранные для условий рассматриваемого рудника или удароопасного участка месторождения включают анкера, плетеную упрочняющую сетку из проволоки или плетеную сетку высокой прочности на растяжение, а также могут включать слой ФТБ (как правило сетка накладывается поверх слоя ФТБ). Разрабатывается схема комбинированного «динамического» крепления выработки (паспорт крепления), которая включает следующие параметры: рассчитанные требования по энергопоглощению для анкеров и для поверхностной крепи ($\text{кДж}/\text{м}^2$); энергопоглощающая способность предлагаемой анкерной крепи со способностью к деформированию до 100 (150) мм ($\text{кДж}/\text{м}^2$); энергопоглощающая способность предлагаемой поверхностной крепи и способность к деформированию до максимального смещения ($\text{кДж}/\text{м}^2$); количество анкеров (анкера/ м^2); коэффициент запаса прочности каждого элемента крепи и др.

Выводы

Представленная в статье методика выбора «динамической» крепи для подземных горных выработок, пройденных в шахтах склонных и опасных по горным ударам, основана на оценке энергетической нагрузки на крепь в динамических условиях проведенной на основе анализа данных сейсмомониторинга и обратного анализа параметров произошедших горных ударов.

Выбор оптимального вида «динамической» крепи выработок после обработки имеющихся в наличии данных сводится к сравнительной оценке нескольких систем крепи, последующего испытания наиболее перспективных и окончательного выбора одной или двух наиболее подходящих систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kaiser P. K., McCreath D. R., Tannant D. D. Canadian Rock burst Support Handbook. CAMIRO, Sudbury, 1996. 324 pp.
2. Лушников В. Н., Еременко В. А., Сэнди М. П., Косырева М. А. Выбор анкерной крепи для выработок, пройденных в шахтах, склонных к горным ударам // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 2017. — № 3. — С. 86–95.
3. Еременко В. А., Есина Е. Н., Семенякин Е. Н. Технология оперативного мониторинга напряженно-деформированного состояния разрабатываемого массива горных пород // Горный журнал. — 2015. — № 8. — С. 42–47.
4. Лушников В. Н., Сэнди М. П., Еременко В. А., Коваленко А. А., Иванов И. А. Методика определения зоны распространения повреждения породного массива вокруг горных выработок и камер с помощью численного моделирования // Горный журнал. — 2013. — № 12. — С. 11–16.
5. Еременко В. А. Курсы подготовки геомехаников (геотехников), геологов и горных инженеров по программам Map3D и Rocscience (Dips, RocData, Unwedge) // Горный журнал. — № 2 — 2018. — 2 с.
6. Potvin Y., Wesseloo J., Heal D. An interpretation of ground support capacity submitted to dynamic loading // Mining Technology. 2010. Vol. 119, No. 4.
7. Campbell K. W. Near-source attenuation of peak horizontal acceleration // Bull. Seismol. Soc. Am., 1981. 71, (6), 2039–2070.
8. Potvin Y., Wesseloo J. Towards an understanding of dynamic demand on ground support // Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 2013, vol. 113, no 12, pp. 913–922.
9. Bucher R., Cala M., Zimmermann A., Balg C., Roth A. Large scale field tests of high-tensile steel wire mesh in combination with dynamic rock bolts subjected to rock burst loading / 7th Int. Symp. on Ground Support in Mining and Underground construction. Perth, Australia, 13–15 May 2013.
10. Morton E. C., Thompson A. G., Villaescusa E. Static testing of shotcrete and membranes for mining applications / 6th Int. Symp. on Ground Support in Mining and Civil Engineering Construction. SAIMM. 2008.
11. Morton E. C., Villaescusa E., Thompson A. G. Determination of energy absorption capabilities of large scale shotcrete panels / XI Int. Conf. Shotcrete for Underground Support. Davos, June 7–10, 2009.
12. Player J. R., Morton E. C., Thompson A. G., Villaescusa E. Static and dynamic testing of steel wire mesh for mining applications of rock surface support / 6th Int. Symp. on Ground Support in Mining and Civil Engineering Construction. SAIMM. 2008.
13. Balg C., Roduner A., Geobruigg A. G. Ground support applications / Int. Ground Support Conf. AGH University. Lungern, Switzerland, 11–13 September 2013.
14. Louchnikov V. N., Eremenko V. A., Sandy M. P. Ground support liners for underground mines: energy absorption capacities and costs // Eurasian Mining. 2014. No 1.
15. Louchnikov V., Sandy M., Watson O., Eremenko V., Orunesu M. An overview of surface rock support for deformable ground conditions / 12th Underground Operators' Conference. Adelaide 2014. 15–18 March 2014, Australia. Paper Number: 173.
16. Неугомонов С. С., Волков П. В., Жирнов А. А. Крепление слабоустойчивых пород усиленной комбинированной крепью на основе фрикционных анкеров типа СЗА // Горный журнал. — 2018. — № 2. — С. 31–34.
17. Зубков А. А., Латкин В. В., Неугомонов С. С., Волков П. В. Перспективные способы крепления горных выработок на подземных рудниках // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2014. — СВ S1-1. — С. 106–117.
18. Калмыков В. Н., Волков П. В., Латкин В. В. Обоснование параметров сталеполлимерной анкерной крепи при проведении опытно-промышленных испытаний в условиях Сафьяновского подземного рудника // Актуальные проблемы горного дела. — 2016. — № 2. — С. 27–35.
19. Калмыков В. Н., Латкин В. В., Зубков А. А., Неугомонов С. С., Волков П. В. Технологические особенности возведения усиленной комбинированной крепи на подземных рудниках // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2015. — СВ 15. — С. 63–69.

20. Мясков А.В. Методологические основы эколого-экономического обоснования сохранения естественных экосистем в горно-промышленных регионах // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2011. — № 1 — С. 399–401.

21. Мясков А.В. Современные эколого-экономические проблемы недропользования // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2014. — № 2 — С. 157–160.

22. Timonin V. V., Kondratenko A. S. Process and measuring equipment transport in uncased boreholes // J. Min. Sci. 2015 Vol 51, No 5, pp. 1056–1061. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Еременко Виталий Андреевич — доктор технических наук, профессор РАН, директор научно-исследовательского центра

«Прикладной геомеханики и конвергентных горных технологий»

МГИ НИТУ «МИСиС», e-mail: prof.eremenko@gmail.com,

Лушников Вадим Николаевич — главный геомеханик,

ООО «УК Полюс», e-mail: LushnikovVN@polyus.com.

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2018. No. 12, pp. 5–12.

Procedure for selecting dynamic ground support for rockbursting mining conditions

Eremenko V.A., Doctor of Technical Sciences, Professor of Russian Academy of Sciences, Director of the Research Center

«Application of Geomechanics and Mining of Convergent Technologies»,

Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS»,

119049, Moscow, Russia, e-mail: prof.eremenko@gmail.com,

Lushnikov V.N., Chief Geomechanic, e-mail: LushnikovVN@polyus.com,

LLC «UK Polus», 123104, Moscow, Russia.

Abstract. The article presents the results of the studies aimed to develop a procedure for selecting dynamic ground support for mining under rockbursting conditions. The dynamic ground support means a system capable to withstand loads generated by dynamic phenomena of rock pressure. Such support system includes rock bolts and surface reinforcement elements having increased load-bearing capacity, capable to deform but not break. One of the methods to abate rockburst aftereffects is the dynamic support installation to withstand high-magnitude phenomena of rock pressure. The optimal dynamic support should be able to prevent rock fall under rockbursting while being comparatively inexpensive and readily installable. The support selection procedure presented in this article is recommended for mining operations in hard rock mass under rockburst hazard. Different kinds of rock bolts and surface reinforcement elements are analyzed at the stage of mine planning and design from the viewpoint of energy absorption and deformability. The proposed approach is recommended for the dynamic ground support design for various systems of mining—open stoping, stoping with backfilling and mining with caving. In difficult ground conditions, in case of increased rock pressure, abundant inflow of ground water, or heavily jointed rock mass, the ground support design should be adjusted based on the geotechnical audit of rocks and using dedicated programs.

Key words: Rock burst, rock pressure, seismic event, dynamic ground support, energy loading, energy absorption, support deformation.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-12-0-5-12

REFERENCES

1. Kaiser P. K., McCreath D. R., Tannant D. D. *Canadian Rock burst Support Handbook*. CAMIRO, Sudbury, 1996. 324 pp.

2. Lushnikov V.N., Eremenko V.A., Sendi M.P., Kosyreva M.A. Vybor ankernoy krepki dlya vyrabotok, poydennykh v shakhtakh, sklonnykh k gornym udaram [Selection of rock bolting design for mines in rockbursting conditions], *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2017, no 3, pp. 86–95. [In Russ].

3. Eremenko V. A., Esina E. N., Semenyakin E. N. Tekhnologiya operativnogo monitoringa napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya razrabatyvaemogo massiva gornyykh porod [Technology of operational stress state monitoring in rocks under mining], *Gornyy zhurnal*. 2015, no 8, pp. 42–47. [In Russ].
4. Lushnikov V. N., Sendi M. P., Eremenko V. A., Kovalenko A. A., Ivanov I. A. Metodika opredeleniya zony rasprostraneniya povrezhdeniya porodnogo massiva vokrug gornyykh vyrabotok i kamer s pomoshch'yu chislennogo modelirovaniya [Procedure to determine extent of damaged rock zones around stopes and rooms using numerical modeling], *Gornyy zhurnal*. 2013, no 12, pp. 11–16. [In Russ].
5. Eremenko V. A. Kursy podgotovki geomekhanikov (geotekhnikov), geologov i gornyykh inzhenerov po programmam Map3D i Rocscience (Dips, RocData, Unwedge) [Training courses on Map3D and Rocscience programs for geomechanics (geotechnical engineers), geologists and mining engineers (Dips, RocData, Unwedge)], *Gornyy zhurnal*, no 2 — 2018, 2 p. [In Russ].
6. Potvin Y., Wesseloo J., Heal D. An interpretation of ground support capacity submitted to dynamic loading, *Mining Technology*. 2010. Vol. 119, No. 4.
7. Campbell K.W. Near-source attenuation of peak horizontal acceleration, *Bull. Seis-mol. Soc. Am.*, 1981. 71, (6), 2039–2070.
8. Potvin Y., Wesseloo J. Towards an understanding of dynamic demand on ground support, *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, 2013, vol. 113, no 12, pp. 913–922.
9. Bucher R., Cala M., Zimmermann A., Balg C., Roth A. Large scale field tests of high-tensile steel wire mesh in combination with dynamic rock bolts subjected to rock burst loading. *7th Int. Symp. on Ground Support in Mining and Underground construction*. Perth, Australia, 13–15 May 2013.
10. Morton E. C., Thompson A. G., Villaescusa E. Static testing of shotcrete and membranes for mining applications. *6th Int. Symp. on Ground Support in Mining and Civil Engineering Construction*. SAIMM. 2008.
11. Morton E. C., Villaescusa E., Thompson A. G. Determination of energy absorption capabilities of large scale shotcrete panels. *XI Int. Conf. Shotcrete for Underground Support*. Davos, June 7–10, 2009.
12. Player J. R., Morton E. C., Thompson A. G., Villaescusa E. Static and dynamic testing of steel wire mesh for mining applications of rock surface support. *6th Int. Symp. on Ground Support in Mining and Civil Engineering Construction*. SAIMM. 2008.
13. Balg C., Roduner A., Geobruigg A. G. Ground support applications. *Int. Ground Support Conf. AGH University*. Lungern, Switzerland, 11–13 September 2013.
14. Louchnikov V. N., Eremenko V. A., Sandy M. P. Ground support liners for underground mines: energy absorption capacities and costs, *Eurasian Mining*. 2014. No 1.
15. Louchnikov V., Sandy M., Watson O., Eremenko V., Orunesu M. An overview of surface rock support for deformable ground conditions. *12th Underground Operators' Conference*. Adelaide 2014. 15–18 March 2014, Australia. Paper Number: 173.
16. Neugomonov S. S., Volkov P. V., Zhirnov A. A. Kreplenie slaboustoychivyykh porod usilennoy kombinirovannoy krep'yu na osnove friktsionnykh ankerov tipa SZA [Reinforcement of instable rocks by combination support system based on expandable friction rock bolts], *Gornyy zhurnal*. 2018, no 2, pp. 31–34. [In Russ].
17. Zubkov A. A., Latkin V. V., Neugomonov S. S., Volkov P. V. Perspektivnye sposoby krepeleniya gornyykh vyrabotok na podzemnykh rudnikakh [Promising methods to support underground mines], *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2014. CB S1-1, pp. 106–117. [In Russ].
18. Kalmykov V. N., Volkov P. V., Latkin V. V. Obosnovanie parametrov stalepolimernoy ankeronoy krepki pri provedenii opytno-promyshlennykh ispytaniy v usloviyakh Safyanovskogo podzemnogo rudnika [Substantiation of fully grouted rock bolting design for full-scale trial in Safyanovsky mine], *Aktual'nye problemy gornogo dela*. 2016, no 2, pp. 27–35. [In Russ].
19. Kalmykov V. N., Latkin V. V., Zubkov A. A., Neugomonov S. S., Volkov P. V. Tekhnologicheskie osobennosti vozvedeniya usilennoy kombinirovannoy krepki na podzemnykh rudnikakh [Technological features of installation of combination ground support and surface reinforcement in underground mines], *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2015. CB 15, pp. 63–69. [In Russ].
20. Myaskov A. V. Metodologicheskie osnovy ekologo-ekonomicheskogo obosnovaniya sokhraneniya estestvennykh ekosistem v gorno-promyshlennykh regionakh [Methodological framework for economic and ecological justification of preservation of natural eco-systems in mining regions], *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2011, no 1, pp. 399–401. [In Russ].
21. Myaskov A. V. Sovremennyye ekologo-ekonomicheskie problemy nedropol'zovaniya [Current economic and ecological problems in the subsoil use], *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2014, no 2, pp. 157–160. [In Russ].
22. Timonin V. V., Kondratenko A. S. Process and measuring equipment transport in uncased boreholes, *J. Min. Sci.* 2015 Vol 51, No 5, pp. 1056–1061.