

УДК 622.831

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ГЕОМЕХАНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ  
КРАЕВЫХ ЧАСТЕЙ ПЛАСТОВ И ЦЕЛИКОВ  
НА ШАХТАХ АО «СУЭК-КУЗБАСС»**

**EXPERIMENTAL EVALUATION OF GEOMECHANICAL CONDITION OF EDGES  
OF COAL SEAMS AND PILLARS AT JSC SUEK-KUZBASS MINING  
OPERATIONS**

**Пириева Наталья Николаевна**

главный специалист, e-mail: *PirievaNN@suek.ru*

**Pirieva Natalya Nikolaevna, main specialist**

АО «СУЭК-Кузбасс», 652507, Россия, г. Ленинск-Кузнецкий, ул. Васильева, 1.  
АО "SUEK-Kuzbass", 652507, Russia, Leninsk-Kuznetsky, Vasilyeva St., 1.

**Аннотация**

Приводятся данные экспериментальных исследований по прогнозу удароопасности пласта методом буровой мелочи на шахте им. А. Д. Рубана АО «СУЭК-Кузбасс». Полученные данные позволили оценить геомеханическое состояние краевой части пласта: установить величину максимума опорного давления и расстояние до него. Произведено сравнение теоретических значений параметров опорного давления с параметрами, полученными экспериментально. Результаты исследования можно использовать для корректировки теоретических моделей расчета геомеханического состояния пологих угольных пластов и оценки устойчивости целиков.

**Abstract**

The article contains findings of experimental research of rock bump hazard forecast by using a drill cuttings method at Rubana Mine, JSC SUEK-Kuzbass. The obtained data have facilitated evaluation of geomechanical condition of the edge of the seam: to determine the maximum abutment pressure and distance to it. Theoretical values of abutment pressure parameters were compared with experimental data. Research findings can be used for adjusting theoretical models for calculation of geomechanical condition of gently dipping coal seams and evaluation of pillar stability.

**Ключевые слова:** прогноз удароопасности, геомеханическое состояние угольного пласта, максимум опорного давления.

**Keywords:** Rock bump hazard forecast, geomechanical condition of coal seam, maximum abutment pressure.

Безопасность ведения горных работ является приоритетом при добыче угля на шахтах АО «СУЭК-Кузбасс». На каждой шахте существует служба прогноза и борьбы с горными ударами, основными задачами которой являются:

- своевременное выявление участков пластов, опасных по горным ударам;
- периодический контроль степени удароопасности выработок, ранее приведенных в неудароопасное состояние;
- контроль эффективности проведенных мероприятий по предупреждению горных ударов;
- сравнительная оценка удароопасности пластов в свите для установления очередности их отработки;
- участие в расследовании (учет и анализ причин динамических явлений [1]).

Наряду с экспериментальным мониторингом геомеханического состояния угольных пластов и целиков имеются аналитические и численные методы прогноза проявлений горного давления [2-8].

Использование этих методов позволяет дать качественную и количественную напряженно-деформированного состояния вмещающих пород, угольных пластов и целиков. В тоже время, использование натурных исследований геомеханического состояния пластов и целиков дает возможность, хотя и в узких границах проведения наблюдений, получить достаточно достоверные данные о параметрах горного давления и спрогнозировать возможности его опасных проявлений.

В соответствии с вышеуказанной «Инструкцией по безопасному ведению горных работ на шахтах, разрабатывающих угольные пласты, склонные к горным ударам» [1] основным методом прогноза степени удароопасности краевой части угольного пласта является измерение объема бурового штыба в процессе бурения шпуров диаметром 43 мм. Метод заключается в следующем. Шпур бурится на определенную глубину, равную  $n + b$ , где  $n$  – ширина защитной зоны, м,  $b$  – подвигание забоя за цикл, м. С каждого погон-

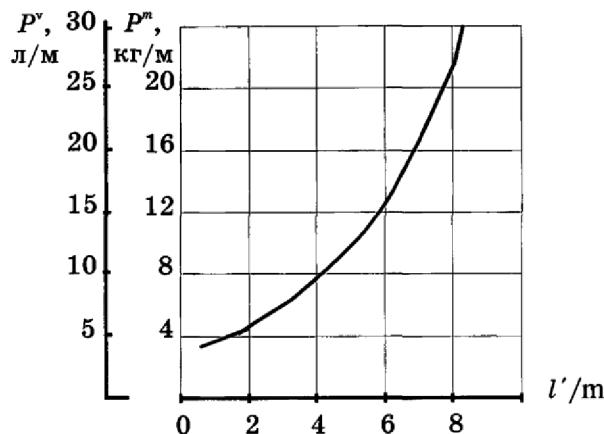


Рис. 1. Номограмма для установления категории удароопасности каменноугольных пластов по выходу буревой мелочи:  $l'$  — расстояние от устья скважины, м;  $m$  — мощность пласта (вынимаемого слоя), м;  $P^v$  — объем буревой мелочи с одного метра скважины, л/м;  $P^m$  — масса буревой мелочи с одного метра скважины, кг/м

Fig. 1. Alignment chart for determining category of rock bump hazard for hard coal seams based on drill cuttings yield:  $l'$ — distance from well collar (m);  $m$ — thickness of seam (extracted layer) (m);  $P^v$ — volume of drill cuttings per 1 m of well (l/m);  $P^m$ — weight of drill cuttings per 1 m of well (kg/m)

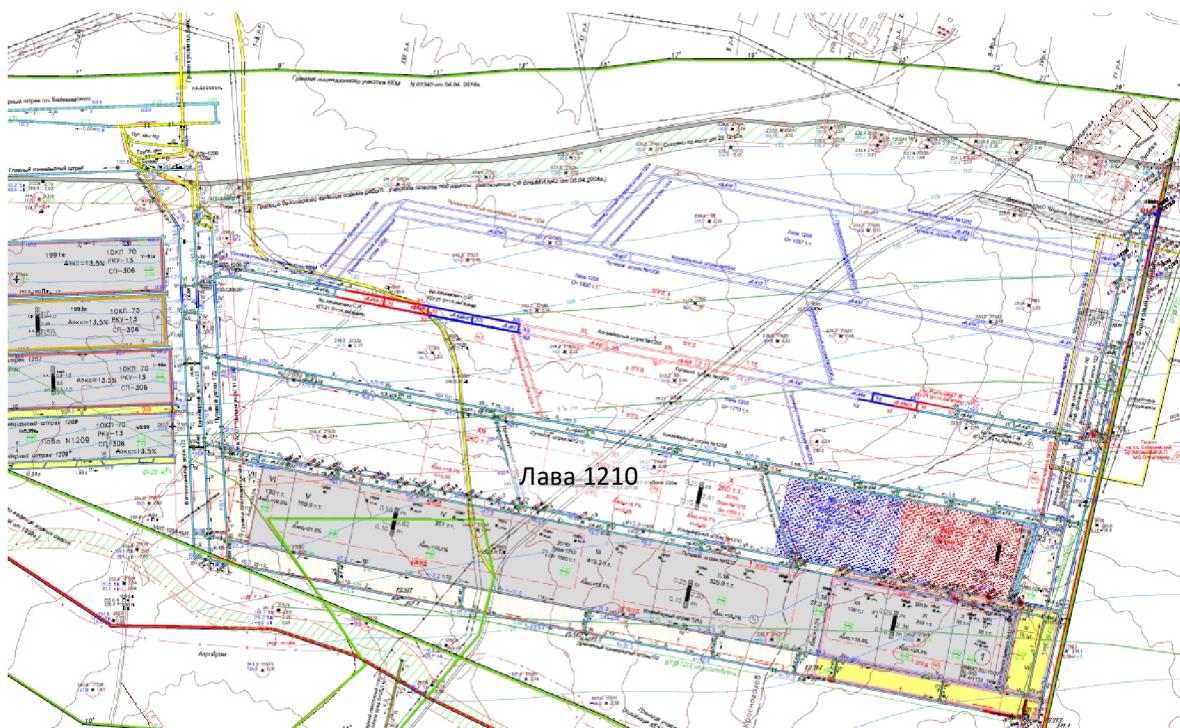


Рис. 2. План горных работ по пласту Надбайкаимскому  
Fig. 2. Nadbaikaimsky Seam plan

нного метра шпура проводят сбор и измерение объема буревой мелочи (штыба). Полученные данные наносят на диаграмму (рис. 1), где по горизонтальной оси откладывается отношение  $\frac{l'}{m}$ , где  $l'$  — расстояние от устья скважины, м;  $m$  — мощ-

ность пласта (вынимаемого слоя), м.

Если точка попадает ниже кривой, то участку пласта присваивается категория «Неопасно», если выше или на линию — то «Опасно». Если при бурении происходит зажатие бурового инструмента, то бурение скважин следует прекратить, и такой участок отнести к категории «Опасно».

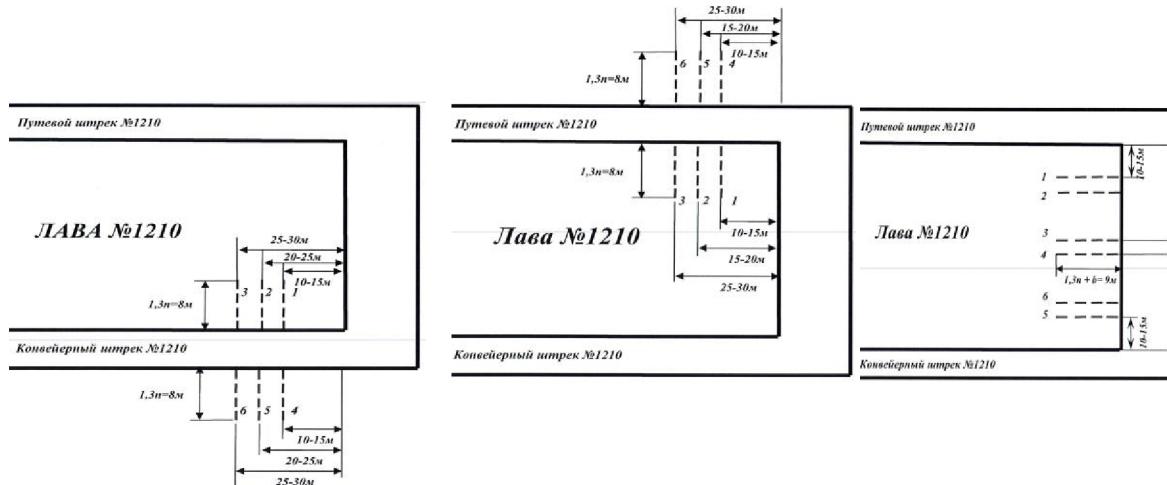


Рис. 3. Схема бурения прогнозных шпуров  
Fig. 3. Chart of prognostic boreholes

В качестве примера в данной статье приведены результаты оценки геомеханического состояния краевой части пласта Надбайкаимский в действующей лаве 1210 на шахте им. А.Д.Рубана (рис. 2). Пласт Надбайкаимский в пределах лавы 1210 имеет среднюю мощность 2,46 м, угол падения по лаве составляет  $5-6^\circ$ , угол падения по штрекам –  $2-4^\circ$ . Ширина лавы составляет 220 м. Крепость угольного пласта по шкале Протодьяконова  $f = 0,9 - 1,2$  (9-12 МПа). Пласт Надбайкаимский угрожаем по горным ударам с глубины 220 м. Глубина разработки лавы составляет 200-250 м от поверхности.

Измерение объема буровой мелочи при бурении шпуров проводится периодически в путевом и конвейерном штреке, а также в лаве – очистном забое. Для этого на каждом участке бурятся по 6 прогнозных шпуров (рис. 3).

Полученные данные заносятся в таблицы, где

делается вывод о категории удароопасности участка пласта.

На рис. 4 приведены отдельные данные по выходу буровой мелочи из скважин 1-6 при бурении их в лаву. Длина скважин составляет 9 м.

Следует отметить, что результаты измерений в другие дни незначительно отличаются от приведенных выше. Поэтому по результатам приведенных измерений были построены графики (рис. 5). На рис. 5, а показано изменение выхода буровой мелочи по длине каждой скважины. Анализ таблиц и рисунка позволяет сделать вывод, что максимальный выход штыба в количестве 4,5-4,7 л/м наблюдается при бурении 7-го метра каждой скважины. В соответствии с теорией, описывающей геомеханическое состояние массива [9], на этом интервале наблюдается максимум опорного давления на краевую часть пласта.

На рис. 5, б показана поверхность, показыва-

Выработка, пласт, горизонт пласт Надбайкаимский, Лава №1210		Дата, смена	Пока - зател и	Мощность, м	Значение показателей по глубине скважины, м									Категория удароопасности
№ п/п	Место замера				1 (0,3-3,9)	2 (0,7-4,3)	3 (1,1-4,8)	4 (1,5-5,3)	5 (1,9-5,6)	6 (2,3-6,4)	7 (2,7-7,2)	8 (3,1-7,9)	9 (3,5-8,6)	
1	10-15м от сопряжения с П.Ш.1210	24.10.2016г. 1 см.	л/м	2,51	2,2	3,0	3,1	3,0	3,1	4,2	4,6	3,8	4,0	не опасно
2	1,5м от шпура №1		л/м	2,51	2,1	3,0	3,1	3,1	3,2	4,6	4,6	3,9	4,2	не опасно
3	По центру Лавы №1210		л/м	2,51	2,2	3,1	3,4	3,2	3,3	4,4	4,7	3,8	4,1	не опасно
4	1,5м от шпура №3		л/м	2,51	2,0	3,2	3,2	3,0	3,2	4,5	4,7	3,8	4,2	не опасно
5	10-15м от сопряжения с К.Ш.1210		л/м	2,51	2,2	3,1	3,2	2,9	3,1	4,6	4,5	3,9	4,1	не опасно
6	1,5м от шпура №5		л/м	2,51	2,1	3,0	3,1	3,1	3,5	4,5	4,6	3,7	4,2	не опасно

Выработка, пласт, горизонт пласт Надбайкаимский, Лава №1210		Дата, смена	Пока - зател и	Мощность, м	Значение показателей по глубине скважины, м									Категория удароопасности
№ п/п	Место замера				1 (0,3-3,9)	2 (0,7-4,3)	3 (1,1-4,8)	4 (1,5-5,3)	5 (1,9-5,6)	6 (2,3-6,4)	7 (2,7-7,2)	8 (3,1-7,9)	9 (3,5-8,6)	
1	10-15м от сопряжения с П.Ш.1210	24.10.2016г. 2 см.	л/м	2,51	2,2	3,0	3,4	3,0	3,1	4,2	4,6	3,8	4,0	не опасно
2	1,5м от шпура №1		л/м	2,51	2,1	3,0	3,5	3,1	3,2	4,6	4,6	3,9	4,2	не опасно
3	По центру Лавы №1210		л/м	2,51	2,3	3,0	3,4	3,2	3,3	4,4	4,7	3,8	4,1	не опасно
4	1,5м от шпура №3		л/м	2,51	2,2	3,1	3,5	3,1	3,2	4,5	4,7	3,8	4,2	не опасно
5	10-15м от сопряжения с К.Ш.1210		л/м	2,51	2,1	3,1	3,3	2,9	3,0	4,6	4,5	3,9	4,1	не опасно
6	1,5м от шпура №5		л/м	2,51	2,0	3,0	3,4	3,0	3,5	4,4	4,6	3,7	4,2	не опасно

Рис. 4. Выход буровой мелочи в лаве 1210 на 24.10.2016  
Fig. 4. Drill cuttings yield in LW 1210, as of 24 October 2016

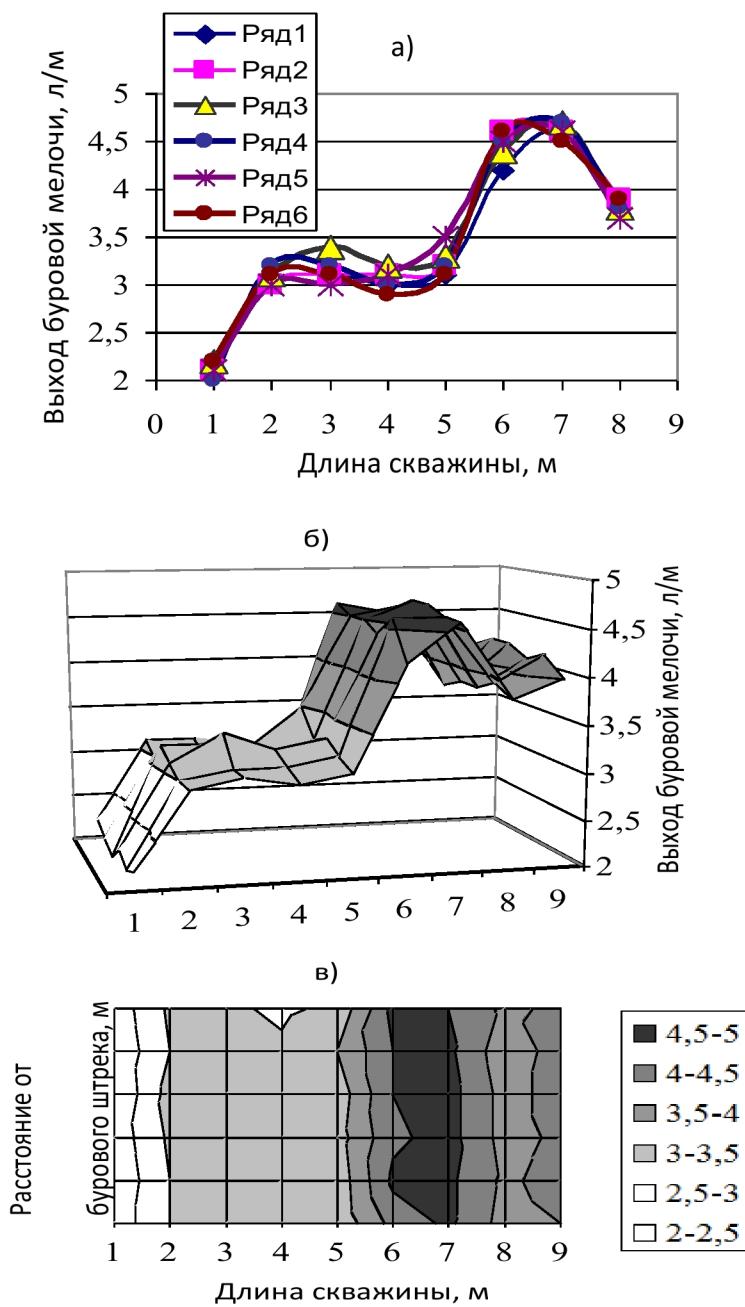


Рис. 5. Распределение выхода буровой мелочи по длине скважин:

а) кривые по скважинам 1-6; б) поверхность по ширине лавы;

в) проекция поверхности по ширине лавы

Fig. 5. Breakdown of drill cuttings yield by well length:

a) curves for wells 1-6; b) surface across the longwall;

c) projected surface across the longwall

ющая распределение выхода буровой мелочи по ширине лавы на глубину шпуров. На рис. 5, в показана проекция поверхности выхода буровой мелочи по ширине лавы. На обоих рисунках наибольший выход буровой мелочи показан наиболее темным цветом.

Методика, приведенная в [9], позволяет рассчитать величину нормальных напряжений, действующие на соответствующем интервале по

длине скважины:

$$\sigma = k_{np} \cdot (1 + 2 \ln \beta), \text{ МПа},$$

где  $k_{np}$  – предельное сопротивление угля сдвигу;

$\beta$  – безразмерный радиус зоны неупругих деформаций,

$$\beta = \sqrt{\delta + 0,25} - 0,5;$$

$$\text{где } \delta = \frac{3S \cdot k_p - k_p - 2}{k_p - 1}, S = \frac{P}{2,5},$$

$P$  – фактический выход буровой мелочи на метре скважины.

В работе [9] установлена величина предельного сопротивления угля сдвигу  $k_{np} = 5,5$  МПа для условий, близких к рассматриваемым, поэтому для расчетов принимаем это значение. Коэффициент разрыхления угля рекомендуется принимать  $k_p = 1,2 - 1,4$ . Для расчетов принимаем  $k_p = 1,4$ .

Для максимального значения выхода буровой мелочи  $P = 4,7$  л/м имеем:  $S = 2,35$ ;  $\delta = 16,175$ ;  $\beta = 3,55$ ; откуда

$$\begin{aligned}\sigma &= k_{np} \cdot (1 + 2 \ln \beta) = \\ &= 55 \cdot (1 + 2 \ln 3,55) = 124,73 \\ &\text{кг/см}^2 = 12,47 \text{ МПа.}\end{aligned}$$

При глубине разработки пласта Надбайкаимского 250 м вертикальные напряжения в нетронутом массиве составляют  $250 \cdot 2,5 = 6,25$  МПа.

Следовательно, коэффициент концентрации напряжений равен  $\frac{12,47}{6,25} \approx 2,0$ .

Согласно работе [2] максимальное значение опорного давления определяется по формуле:

$$\sigma_{cjk}^{pl} = \gamma H + \frac{\sigma_{cjk}}{1 + \nu}$$

где  $\gamma H$  – вертикальные напряжения в нетронутом массиве;  $\sigma_{cjk}$  – предел прочности угля на одноосное сжатие;  $\nu$  – коэффициент поперечных деформаций угля.

В рассматриваемом случае при  $H = 250$  м,  $\sigma_{cjk} = 10$  МПа и  $\nu = 0,25$  максимальное значение опорного давления будет равно 14,25 МПа. Значение этой величины, рассчитанное по экспериментальным данным, составило 12,47 МПа. Разница этих значений по отношению к экспериментальному значению составляет 14,3%.

#### Выводы

1. Проводимый мониторинг геомеханического состояния краевых частей разрабатываемых пластов и целиков по выходу буровой мелочи позволяет получить достаточно устойчивые по времени данные о длине зоны запредельных деформаций (расстояние до максимума опорного давления) и оценить значение максимальных сжимающих напряжений (величину максимума опорного давления).

2. Полученные результаты по пласту Надбайкаимскому показывают, что расстояние до максимума опорного давления составляет 6-7 м, а значение коэффициента концентрации опорного давления равно двум. Следует ожидать такие же значения показателей параметров опорного давления в аналогичных горно-геологических и горнотехнических условиях выемки пластов на шахтах АО «СУЭК – Кузбасс».

3. В соответствии с номограммой для установления категории удароопасности каменноугольных пластов по выходу буровой мелочи (см. рис.1) условия выемки пласта Надбайкаимского в лаве 1210 следует считать неудароопасными.

4. Полученные значения параметров опорного давления можно использовать для корректировки теоретических моделей расчета геомеханического состояния пологих угольных пластов и оценки устойчивости целиков.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по безопасному ведению горных работ на шахтах, разрабатывающих угольные пласти, склонные к горным ударам (РД 05-328-99). – М.: ГУП «НТЦ Промышленная безопасность», 2000.
2. Гоголин В. А. Деформационные и прочностные характеристики хрупких горных пород при сжатии// Вестник КузГТУ. 2016. №3. – С. 3–8.
3. Seryakov V. M. Calculation of stress-strain state for an over-goaf rock mass (2009). Journal of Mining Science. Vol. 45. No. 5. pp. 420-426.
4. Гоголин В. А. Аналитическая оценка распределения опорного давления при полной подработке поверхности./ В.А. Гоголин, Т.И Кургукина // Вестник КузГТУ, 2004, №2. – С.8 – 13.
5. Дягилева А. В. К оценке влияния очистных работ на протяженность зоны опорного давления./А.В. Дягилева, В.А. Гоголин, И.С. Елкин, Е.А. Плотников // Вестник КузГТУ, 2005, №4.1. – С.29–35.
6. Ермакова И. А. Методика численного расчета состояния целиков с учетом запредельного деформирования./И. А. Ермакова, Н. Н. Пириева //Вестник КузГТУ, 2016, №4. – С.3–9.
7. Ермакова И.А. Анализ геомеханического состояния предохранительных целиков на шахте им.А.Д.Рубана. /И.А. Ермакова, Н.Н. Пириева //Горно-информационный аналитический бюллетень2016. № 7. С. 193-199.
8. Considering behind limit deformation for calculation of coal pillars parameters by finite element method. Ermakova I.A., Pirieva N.N. В сборнике: Coal in the 21st Century: Mining, Processing and Safety 2016. С. 90-93.

9. Расчет и экспериментальная оценка напряжений в целиках и краевых частях пласта угля (Методические указания)/Под редакцией И. М. Петухова. – Ленинград: ВНИМИ, 1973. – 130 с.

## REFERENCES

1. Instrukcija po bezopasnomu vedeniju gornyh rabot na shahtah, razrabatyvajushhih ugol'nye plasty, sklonnye k gornym udaram [Instructions for safe mining operations in mines, developing coal seams prone to rock bursts] (RD 05-328-99). - M.: GUP "STC Industrial Safety", 2000.
2. Gogolin V. A., 2016. Deformacionnye i prochnostnye harakteristiki hrupkih gornyh porod pri szhatii [Deformation and strength characteristics of brittle rocks under compression]. Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta, vol. 3, pp: 3-8.
3. Seryakov V. M., 2009. Calculation of stress-strain state for an over-goaf rock mass. Journal of Mining Science. Vol. 45. No. 5. pp. 420-426.
4. Gogolin V.A., TI Kurguzkina T.I., 2004. Analiticheskaja ocenka raspredelenija opornogo davlenija pri polnoj podrjabotke poverhnosti [Analytical assessment of the distribution of the bearing pressure at full undermining surface]. Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta, , vol. 2, pp: 8-13.
5. Diaghileva A.V., Gogolin V.A., Elkin I.S., Plotnikov E.A., 2005. K ocenke vlijanija ochistnyh rabot na protjazhennost' zony opornogo давления [To assess the impact of clearing works on the reference pressure zone length]. Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta, vol. 1, pp: 29-35.
6. Ermakova I.A., Piriyeva N.N., 2016. Metodika chislennogo rascheta sostojaniya celikov s uchetom zapredel'nogo deformirovaniya [Method of numerical calculation taking into account the state of the pillars of limiting deformation]. Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta, , vol. 4. pp: - S.3-9.
7. Ermakova I.A., Piriyeva N.N., 2016. Analiz geomehanicheskogo sostojaniya predohranitel'nyh celikov na shahte im.A.D.Rubana [Analysis of geomechanical condition of safety pillars on Rubana mine]. Mining information-analytical byulleten. vol. 7. pp.: 193-199.
8. Ermakova I.A., Pirieva N.N. Considering behind limit deformation for calculation of coal pillars parameters by finite element method. Coal in the 21st Century: Mining, Processing and Safety 2016. pp: 90-93.
9. Raschet i eksperimental'naja ocenka naprjazhenij v celikah i kraevyh chastjah plasta ugla (Metodicheskie ukazaniya) [Calculation and experimental evaluation of stresses in the pillars and the marginal parts of the coal seam (Guidelines)] / Edited by I.M. Petukhov. - Leningrad: VNIMI, 1973. - 130 p.

Поступило в редакцию 18.11.2016

Received 18 November2016