

Теоретические и методические вопросы определения параметров опорного давления в горных выработках и практика их применения

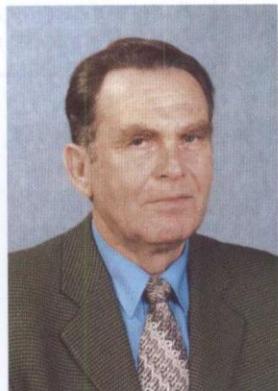
— DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2018-6-21-25>

В статье раскрыты проблема определения опорного давления в условиях интенсификации технологий угледобычи и методы, позволяющие достоверно определять его параметры. Кроме того, аспект повышенных нагрузок на очистной забой сформирует проблему возникновения рисков мета-ноопасности в очистном забое, что определяет точность расчетов количества воздуха для проветривания.

Ввиду увеличения скорости подвигания очистного забоя увеличивается площадь обнажения кровли, что предопределяет зависание плит большой площади. В связи с этим формируется повышенное опорное давление на кромке очистного забоя и на вентиляционном и конвейерном штреках под лавой. Особенно опасными являются зоны сопряжений штреков с очистным забоем.

Для достоверного определения параметров горного давления при составлении паспортов выемочного участка необходимо использовать комплексный подход как основной при гармоничном сочетании следующих методов исследования процессов и контроля геомеханического состояния массива пород: аналитических, экспериментально-аналитических, экспериментальных (натурных), лабораторных. Определение опорного давления в конкретных зонах требует разработки математических моделей с определением эмпирической площади свода «пригрузки», с последующей проверкой модели на адекватность как статистическими, так и инструментальными методами.

Ключевые слова: гипотезы формирования давления, теория свода, теория балок, теория плит, опорное давление, концентрация напряжений, эмпирическая площадь свода.



РЕМЕЗОВ
Анатолий Владимирович
Доктор техн. наук,
профессор кафедры
«Горные машины и комплексы»
КузГТУ им. Т.Ф. Горбачева,
650000, г. Кемерово, Россия,
e-mail: lion742@mail.ru



НОВОСЕЛОВ
Сергей Вениаминович
Канд. экон. наук,
доцент кафедры
«Экономической безопасности
и менеджмента»
филиала КузГТУ в г. Белово,
652644, г. Белово, Россия,
тел.: +7 (950) 273-31-86,
e-mail:
nowosyolow.sergej@yandex.ru

ВВЕДЕНИЕ В ПРОБЛЕМАТИКУ ВОПРОСОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПОРНОГО ДАВЛЕНИЯ

Одной из основных проблем при подземной угледобыче является опорное давление, возникающее в массиве вмещающих пород пластов при подвигании очистного забоя в зоны пересечения горных выработок, а также характер его проявления и параметры. Основными причинами опорного давления являются обрушение пород кровли над выработанным пространством и суммарное воздействие изгибающих моментов зависящих консолей пород непосредственной и основной кровель угольного пласта. Опорное давление проявляется в широких диапазонах в зависимости от структуры породного массива, геометрических параметров

выработанного пространства, при этом его максимальный уровень может превышать первоначальное геостатическое давление до 20 раз по О. Якоби. Исследования горного давления описаны в ряде зарубежных источников [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8].

Сложность определения параметров опорного давления уже начинается с различия его толкования как термина рядом видных ученых, которые дают следующие определения:

- опорное давление – повышенные по сравнению с гидростатическим нормальные к пласту сжимающие напряжения, связанные с ведением горных работ и перераспределением веса пород над выработанным пространством на нетронутые части пласта (А.А. Борисов);

- опорное давление – повышенные напряжения впереди забоя выработки, сосредоточивающиеся и перемещающиеся по мере подвигания забоя (П.В. Егоров);

- опорное давление – сила тяжести пород над выработанным пространством, не получивших опоры на почве выработки, перераспределяющиеся на нетронутые части пласта, пригружая их (И.М. Петухов);

- опорное давление – при разработке пластов резкое перераспределение напряжений в подрабатываемой и надрабатываемой толще вмещающих пород, приводящее к созданию зон повышенных напряжений – зон опорного давления (К.А. Ардашев).

Данное обстоятельство заставляет подходить комплексно к расчету опорного давления, так как вопрос определения параметров «пригрузки» остается открытым и по теории определяется коэффициентами концентрации и де-концентрации напряжений в диапазоне 1,3-3. Кроме того, диапазон опорного давления по сравнению с геостатическим, по различным теориям, находится в пределах 5-20 раз.

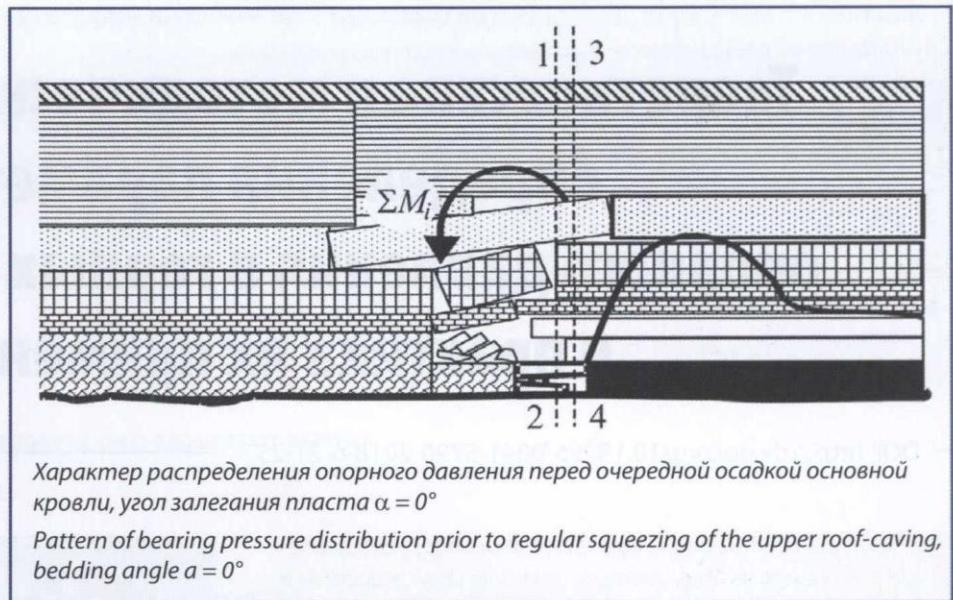
Кроме того, не следует забывать при расчетах горного давления классификацию горных пород, разработанную ВНИМИ классификацию видов поверхностей.

Вопрос полного раскрытия закономерностей формирования напряженного состояния массива горных пород в различных горно-геологических условиях еще долгое время будет актуальным. Решение задачи определения опорного давления состоит в определении факторов, зависимостей и конкретных условий, определяющих параметры концентрации и де-концентрации напряжений в столбах выемочных участков в характерных зонах.

Современная интенсификация добычи угля предполагает высокую скорость подвигания очистных забоев и, соответственно, скротечное образование больших площадей посадки кровли (плит, балок), возможное их зависание, что формирует определенный характер опорного давления. В сентябре 2016 г. сразу две шахты АО «СУЭК-Кузбасс»: «Талдинская-Западная-1» и им. В. Д. Ялевского перешагнули рубеж месячной добычи угля из одного очистного забоя 1 млн. т, а в мае 2017 г. на шахте им. В.Д. Ялевского установлен абсолютный рекорд добычи – 1,407 млн т угля из лавы за месяц, что определяет, в некоторых случаях, скорость подвигания забоя порядка 20-25 м/сут. Вопрос о влиянии скорости подвигания забоя на состояние кровли в призабойном пространстве лав изучен недостаточно, и в настоящее время нет достоверных количественных показателей. Кроме того, необходим учет фактора метановыделения и рисков возможных аварий, методы расчета которых раскрыты в ряде зарубежных источников [9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18].

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ ГИПОТЕЗ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ

А.А. Борисов считает наиболее достоверной расчетную схему, проверенную шахтными и лабораторными исследованиями в разрезе по простирианию (см. рисунок).



Зависания пород покрывающей толщи создают суммарный изгибающий момент $\sum M_i$, который в определенные моменты достигает абсолютного максимума. Доля влияния $\sum M_i$ на интенсивность опорного давления и характер его распределения, как правило, превалируют и могут в несколько раз превосходить влияние литостатического давления, а пределы изменений максимальной интенсивности опорного давления превышают вертикальные напряжения в пять раз.

В покрывающей толще в моменты, когда зависания пород стремятся к максимумам, происходит расслоение пород (см. рисунок), вследствие чего среда не является сплошной. Характер распределения опорного давления в плоскости пласта зависит от влияния опорного давления лавы на околовштрековый целик и массив пласта, залегающий по падению от штreta.

Ниже приведена краткая характеристика существующих гипотез определения горного давления:

- гипотеза пластичности (Р. Феннер). Для горизонтальных выработок зона текучести может рассматриваться приближенно в форме эллипса, в общем случае в форме круга, с радиусом зоны текучести – r . Выработки следует располагать в нижнем фокусе эллипса:

$$r = \frac{k-2}{2} h, \quad (1)$$

где: $k = 2/(1-\sin\phi)$, ϕ – угол внутреннего трения; h – глубина;

- гипотеза упруго-пластичной среды (А.П. Соколов). Теоретически рассматривалась упругая пластина в состоянии двухосного растяжения. Можно принимать в качестве исходного решения при разработке методов расчета горного давления для горизонтальных выработок глубокого заложения.

Уравнение внутренней границы пластичной зоны:

$$r = \frac{1}{2-(p+q)} + \frac{2(p-q)}{[2-(p+q)]^2} \cos \theta, \quad (2)$$

где: q, p – безразмерные параметры, характеризующие напряженное состояние;

- гипотеза упруго-пластичной среды (А. Лабасс). Вокруг горизонтальных выработок образуются три зоны: ослабленных пород, повышенных напряжений, напряжений,

не вызывающих разрушений. Не учитываются характеристики работы крепи.

Давление со стороны крепи на массив (уравновешивающее усилие крепи):

$$P_i = (1 - \sin \varphi) \gamma H \left(\frac{a}{b} \right)^{\frac{2 \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}}, \quad (3)$$

где: γH – гидростатическое давление; a – радиус выработки; b – радиус зоны повышенных напряжений;

- гипотеза упруго-пластичной среды (К.В. Руппенейт). Определено уравнение контура ослабленных пород. Расчеты дают результаты, далекие от действительности. Активное давление на крепь выработки:

$$\sigma_n = \frac{1 - \sin \rho}{1 + \sin \rho} (q + K c \operatorname{tg} \rho) e^{-\pi c \operatorname{tg} \rho} - K c \operatorname{tg} \rho, \quad (4)$$

где: q – нагрузка на крепь; K – коэффициент сцепления; ρ – угол внутреннего трения;

- гипотезы, основанные на реологических моделях (А. Салустович, М.И. Розовский, Ю.Н. Работнов). Использована реологическая модель Кельвина. Допущение плотного примыкания крепи к породам по всему контуру в момент ее установки.

Максимальное давление на крепь горизонтальной выработки круглого сечения:

$$P_{0 \max} = \gamma H - \frac{2G(\gamma H + k_t U_0)}{2G + ak_t}, \quad (5)$$

где: G – модуль сдвига при длительном нагружении; k_t – коэффициент жесткости крепи; U_0 – податливость крепи; a – реологическая постоянная;

- гипотеза упругой среды (А.Н. Динник). Гипотеза соглашается с экспериментальными данными о наиболее вероятном разрушении кровли выработки в середине пролета. Толщу горных пород в вертикальном сечении можно уподобить бесконечно упругой полуплоскости, а выработку круглого сечения – круглому вырезу в ней. Экстремальные значения нормальных напряжений:

$$\begin{aligned} \sigma_{\max} &= \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{2} + \sqrt{4\tau_{r\theta}^2 + (\sigma_r - \sigma_\theta)^2}; \\ \sigma_{\min} &= \frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{2} - \sqrt{4\tau_{r\theta}^2 + (\sigma_r - \sigma_\theta)^2}. \end{aligned} \quad (6)$$

где: r, θ – полярные координаты, определяющие положение точки на плоскости; σ_r, σ_θ – нормальное напряжение на площадке, перпендикулярной радиусу, и нормальное напряжение на площадке, совпадающей с радиусом, соответственно; $\tau_{r\theta}$ – касательное напряжение, действующее на указанных взаимно перпендикулярных площадках:

$$\sigma_z = \gamma H (1 - k e^{-\frac{2x}{l}}),$$

где k – коэффициент концентрации напряжений на кромке пласта ($k=1,3-3$);

- гипотеза свода (В. Риттер). Границей свода является парабола $y = \frac{\gamma}{4\sigma_{\text{пп.р}}} x(l-x)$. Не учтены дефекты изменчивости прочностных характеристик (не введены коэффициенты запаса).

Давление на крепь:

$$P = \frac{l}{48\sigma_{\text{пп.р}}} (l^2 \gamma^2 - 48\sigma_{\text{пп.р}}^2), \quad (7)$$

где: $\sigma_{\text{пп.р}}$ – предел прочности породы на разрыв; l – пролет выработки; γ – удельный вес породы;

- гипотеза свода (М.М. Протодьяконов). Предполагается, что крепь несет вес пород в объеме свода, то есть работает в независимом режиме. Область допустимого применения ограничивается однородными связанными породами и условием свodoобразования.

Давление на 1 м крепи выработки:

$$P = \frac{4}{3} \gamma \frac{a^2}{f}. \quad (8)$$

Условие свodoобразования:

$$\sigma_p < \frac{1}{3} \gamma l,$$

где: a – полупролет выработки; l – пролет выработки; f – коэффициент крепости пород;

- гипотеза плит (Д.С. Ростовцев, проф. В.Д. Слесарев, В. Штокке и Г. Герман). Высота обрушения соответствует пересечению линий обрушения $b = 0,5l \operatorname{tg} \delta$. В стадии образования трехшарнирных арок крепь штрека может нести весьма большие нагрузки.

Максимальная интенсивность нагрузки на крепь для породы-моста:

$$q_n = 0,5 \gamma_{\text{cp}} l \operatorname{tg} \delta, \quad (9)$$

где: δ – угол обрушения; $\delta = 60-85^\circ$;

- гипотеза сыпучей среды (А.А. Борисов). Характер перемещения сыпучих пород в кровле зависит от отношения L/a , где: L – длина устойчивого пролета породного слоя; a – крупность зерен породы. Зона обрушения в трещиноватых породах имеет форму неправильной трапеции.

Условие обрушения: $L/a > 5$ – возможны обрушения на большую высоту, $L/a \leq 3$ – условие образования подобия трехшарнирных арок;

- гипотеза трещиноватой среды (А.А. Борисов). Предельная высота свода обрушения $b_{\max} = 0,5(L \cos \alpha - L_i) \operatorname{tg} \delta$; $a_i/L_i \leq 1/5$, $a_i \geq 0,25$ м.

Длина устойчивого пролета породного слоя:

$$L = \xi \sqrt{0,04 \frac{\sigma_{\text{пп.р}} a_i}{n \gamma}}, \quad (10)$$

где: ξ – коэффициент ползучести пород при сжатии; $\xi = 0,5-0,7$; a_i – расстояние между трещинами; n – запас несущей способности, $n = 4$.

Ввиду того, что для одной и той же горной выработки могут быть применены различные гипотезы определения опорного давления, то априори можно утверждать, что будут получены различные параметры опорного давления. Поэтому возникает задача выбора гипотезы. Следовательно, принятые решения будут иметь лишь определенную степень достоверности.

Кроме того, необходимо учитывать изменчивость входных данных горно-геологических условий, которые могут значительно меняться даже в пределах одного выемочного столба и выдавать широкий диапазон выходных параметров. Поэтому аналитические расчеты опорного давления необходимо проверять инструментальными измерениями.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЯВЛЕНИЯ ОПОРНОГО ДАВЛЕНИЯ НА ШАХТАХ АО «СУЭК-КУЗБАСС»

По договорам научных исследований, заключенных между АО «СУЭК-Кузбасс» и КузГТУ, под руководством авторов в течение длительного времени на ряде шахт проводились научные исследования в аспекте проявления опорного давления в сложных зонах, то есть в зонах взаимного влияния выработок и динамических процессов очистного забоя. Результат исследований показал, что суммарное опорное давление ($P_{оп}$) формируется при подвигании очистного забоя в зонах пересечения горных выработок, от давления покрывающих пород массива (P_n), зависящих консолей ($P_{зк}$) и свода давления ($P_{св}$) над выработками в зоне взаимовлияния (11):

$$P_{оп} = P_n + P_{зк} + P_{св}. \quad (11)$$

Были изучены десятки выемочных столбов на различных пластах шахт АО «СУЭК-Кузбасс» в аспекте определения деформаций и напряжений в сложных зонах, разработаны математические модели суммарного опорного давления, рассчитаны эмпирические площади свода «пригрузки», влияние давления на целики и ранее пройденные выработки.

Для разработки адекватной модели формирования горного давления необходимо учитывать:

- динамику подвигания линии очистного забоя и площадь устойчивых обнажений в очистном забое при определении оптимальной скорости подвигания очистного забоя, рекомендуемый предел скорости – не менее 3 м/сут;
- фактор суммирования опорного давления в характерных зонах очистного забоя и при подходе его к демонтажной камере или переезде сложных зон – пересечение ранее пройденных горных выработок;
- фактор сопротивления механизированной крепи, который оказывает значительное влияние на вывалы пород кровли в призабойном пространстве очистного забоя (учет параметрического соответствия механизированной крепи выбранному очистному комбайну).

Было установлено, что для устранения причин неудовлетворительного состояния и несоответствия крепления демонтажной камеры в связи с суммированием развивающегося горного давления необходимо:

- при заблаговременной подготовке демонтажных камер, в кровле пласта заранее пройденной выработки учитывать расслоение пород непосредственной и основной кровли с образованием значительного горного давления. Этот процесс зависит от времени проведения демонтажных камер;
- при расчете крепи демонтажных камер учитывать величину опорного давления наезжающего очистного забоя;
- проводить необходимые измерения величины максимального опорного давления впереди очистного забоя и шага обрушения основной кровли;
- считать, что формирование демонтажных камер в результате доработки очистного забоя является наиболее благоприятным вариантом подготовки демонтажных камер;
- предложить технологию подготовки демонтажных камер при доработке запасов в выемочном столбе как достаточно апробированную и успешно применяемую в ми-

ровой практике на основе анкерного крепления демонтажных камер;

• для более точного определения шага обрушения кровли и нагрузки на перекрытие секций механизированной крепи необходимо оснащать все приобретаемые механизированные комплексы автоматизированной системой контроля за воздействием горного давления на перекрытия секций механизированной крепи.

Наилучшим вариантом мониторинга опорного давления будут автоматизированные системы мониторинга с использованием датчиков на секциях механизированной крепи, как показала серия исследований, проводимых в течение ряда лет ЗАО ЦАК г. Ленинска-Кузнецкого. В результате была получена высокая сходимость результатов аналитических расчетов по гипотезе балок и плит с параметрами давления, полученными при экспериментальных исследованиях автоматизированными системами мониторинга.

ВЫВОДЫ

При определении параметров опорного давления необходимо использовать комплексный подход как основной при гармоничном сочетании следующих методов исследования процессов и контроля геомеханического состояния массива пород: аналитических, экспериментально-аналитических, экспериментальных (натурых), лабораторных. Для достоверного определения опорного давления в конкретных зонах необходимо разрабатывать математическую модель с определением эмпирической площади свода «пригрузки», с последующей проверкой модели на адекватность как статистическими, так и инструментальными методами.

Список литературы

1. Phillips W. Rock Bursts and Bumps in Coal Mines. Trans. Inst. Mining England. 1944. P. 55-94.
2. Tectonics in Mining // Colliery England. 1948; 1958. P. 1-12.
3. Holland C.T., Thomas E. Coal-Mine Bumps: Some Aspects of Occurrence, Cause and Control. U.S. Bureau of Mines Bulletin 535, 1954, 37 p.
4. Zanski J. Podziemna Eksploalozia. Katowice: Zios Publ., 1964 (Engl. trans.).
5. Spalding J. Deep Mining. London: Mining Publ., 1948.
6. Salinstowiier A. Szinnik craskw Zagadmeniach mechaniki // Przegiad Gorniczy. 1959. N 1-2.
7. Shrivastava K.N., Singh K. The effect of penny-shaped crack on the distribution of in semi-infinite solid // International Journal of England Science. 1969. Vol. 7. N 5.
8. Ritter W. Die Static der Tunnel – gowölbe. Berlin, 1879.
9. Coal Mining Safety and Health Act 1999 / Current as at 28 September 2017. State of Queensland 2017. 215 p. URL: <https://www.legislation.qld.gov.au/view/html/inforce/2017-09-28/act-1999-039> (дата обращения: 15.03.2018).
10. Coal Mining Safety and Health Regulation 2017 / Reprint current from 1 September 2017. URL: <https://www.legislation.qld.gov.au/view/html/inforce/2017-09-01/sl-2017-0165> (дата обращения: 15.03.2018).
11. Geoff Nugent. Queensland and NSW Mines Rescue Services. Emergency Mine Entry/Re-entry and Knowledge Management. URL: <http://slideplayer.com/slide/3463132/> (дата обращения: 15.03.2018).

12. Leading Practice Sustainable Development Program for the Mining Industry. Australia. Department of Industry, Tourism and Resources, 2007. 79 p.

13. MINE HEALTH AND SAFETY ACT No. 967. 14 June 1996. URL: <http://www.kznhealth.gov.za/occhealth/17242.pdf> (дата обращения: 15.03.2018).

14. Risk and emergency preparedness analysis. NORSO STANDARD Z-013. Rev. 2, 2001-09-01. 126 p. URL: <http://www.standard.no/pagefiles/955/z-013.pdf> (дата обращения: 15.03.2018).

15. Risk Management. Leading Practice Sustainable Development Program for the Mining Industry. September 2016. Commonwealth of Australia, 2016. 125 p. URL: <https://industry.gov.au/resource/Documents/LPSDP/LPSDP-RiskHandbook.pdf> (дата обращения: 15.03.2018).

16. Mining Risk Review 2017. The future of mining is now. Willis Towers Watson Natural Resources Industry Group, 2017. 87 p. URL: <https://www.willistowerswatson.com/-/media/WTW/PDF/Insights/2017/09/mining-review2017.pdf> (дата обращения: 15.03.2018).

17. United Nations (UN). Rio Declaration on Environment and Development 1992. SiSU (<http://www.jus.uio.no/sisu>), 1992. URL: <http://www.jus.uio.no/lm/en/html/environmental.development.rio.declaration.1992/> (дата обращения: 15.03.2018).

18. The Precautionary Principle World Commission on the Ethics of Scientific Knowledge and Technology (COMEST). UNESCO, 2005. 52 p. URL: <http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001395/139578e.pdf> (дата обращения: 15.03.2018).

UNDERGROUND MINING

UDC 622.831.3.001 © A.V. Remezov, S.V. Novoselov, 2018

ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2018, № 6, pp. 21-25

Title THEORETICAL AND METHODOLOGICAL ISSUES OF DETERMINING PARAMETERS OF BEARING PRESSURE IN MINE WORKINGS AND PRACTICE OF THEIR IMPLEMENTATION

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2018-6-21-25>

Authors

Remezov A.V.¹, Novoselov S.V.²

¹T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (KuzSTU), Kemerovo, 650000, Russian Federation

²Belovo branch Kuzbass State Technical University (KuzSTU), Belovo, 652644, Russian Federation

Authors' Information

Remezov A.V., Doctor of Engineering Sciences, "Mining Machines and Plants"
Department Professor, e-mail: lion742@mail.ru

Novoselov S.V., PhD (Economic), Associate Professor
of Department "Economic safety and Management", tel.: +7 (950) 273-31-86,
e-mail: nowosyolow.sergej@yandex.ru

Abstract

The paper deals with the problem of determining bearing pressure in conditions of intensification of coal mining technologies and the methods which allow to determine reliably its parameters. In addition, the aspect of increased highwall mining loads will form the problem of occurrence of methane hazard risks in the highwall mining, which determines the accuracy of the calculation of ventilation air amount. In view of increase in highwall mining rate advance, the roof exposure area increases, which predetermines hanging of the large area plates. Due to this, increased bearing pressure is created at the highwall mining edge and on ventilation and conveyor drifts under the lava. Especially hazardous are highwall mining – drift interface areas.

In order to determine reliably the rock pressure parameters when drawing up working area chart, an integrated approach as the basic one must be used, with a harmonious combination of the following methods for studying the processes and controlling of the geodynamic condition of the rock massif: analytical, experimental and analytical, experimental (full-scale) and laboratory ones. Determination of bearing pressure in specific areas requires the development of mathematical models, with determination of the empirical area of the arch "overloading" followed by the model check for adequacy, using both statistical and instrumental methods.

Figures:

Fig. Pattern of bearing pressure distribution prior to regular squeezing of the upper roof-caving, bedding angle $\alpha = 0^\circ$

Keywords

Pressure formation hypotheses, Arch theory, Beam theory, Plate theory, Bearing pressure, Accumulation of stresses, Empirical area of arch.

References

1. Phillips W. Rock Bursts and Bumps in Coal Mines. Trans. Inst. Mining Eng., 1944, pp. 55-94.
2. Tectonics in Mining. *Colliery England*, 1948; 1958, pp. 1-12.
3. Holland C.T. & Thomas E. Coal-Mine Bumps: Some Aspects of Occurrence, Cause and Control. U.S. Bureau of Mines Bulletin 535, 1954, 37 p.

4. Zanski J. Podziemna Eksploalozia. Katowice, Zios Publ., 1964 (Engl. trans.).
5. Spalding J. Deep Mining. London, Mining Publ., 1948.
6. Salinstowiier A. Szinnik craskw Zagadmeniach mechaniki. Przegiad Gorniczy, 1959, N 12.
7. Shrivastava K.N. & Singh K. The effect of penny – shaped crack on the distribution of in semi – infinite solid. *International Journal of England Science*, 1969, Vol. 7, No. 5.
8. Ritter W. Die Static der Tunnel – gowölbe. Berlin, 1879.
9. Coal Mining Safety and Health Act 1999. Current as at 28 September 2017. State of Queensland 2017, 215 p. Available at: <https://www.legislation.qld.gov.au/view/html/inforce/2017-09-28/act-1999-039> (accessed 15.03.2018).
10. Coal Mining Safety and Health Regulation 2017 / Reprint current from 1 September 2017. Available at: <https://www.legislation.qld.gov.au/view/html/inforce/2017-09-01/sl-2017-0165> (accessed 15.03.2018).
11. Geoff Nugent. Queensland and NSW Mines Rescue Services. Emergency Mine Entry/Re-entry and Knowledge Management. Available at: <http://slide-player.com/slide/3463132/> (accessed 15.03.2018).
12. Leading Practice Sustainable Development Program for the Mining Industry. Australia. Department of Industry, Tourism and Resources, 2007, 79 p.
13. MINE HEALTH AND SAFETY ACT No. 967. 14 June 1996. [Electronic resource]. Available at: <http://www.kznhealth.gov.za/occhealth/17242.pdf> (accessed 15.03.2018).
14. Risk and emergency preparedness analysis. NORSO STANDARD Z-013, Rev. 2, 2001-09-01, 126 p. [Electronic resource]. Available at: <http://www.standard.no/pagefiles/955/z-013.pdf> (accessed 15.03.2018).
15. Risk Management. Leading Practice Sustainable Development Program for the Mining Industry. September 2016. Commonwealth of Australia, 2016, 125 p. [Electronic resource]. Available at: <https://industry.gov.au/resource/Documents/LPSDP/LPSDP-RiskHandbook.pdf> (accessed 15.03.2018).
16. Mining Risk Review 2017. The future of mining is now. Willis Towers Watson Natural Resources Industry Group, 2017, 87 p. [Electronic resource]. Available at: <https://www.willistowerswatson.com/-/media/WTW/PDF/Insights/2017/09/mining-review2017.pdf> (accessed 15.03.2018).
17. United Nations (UN). Rio Declaration on Environment and Development 1992. SiSU (<http://www.jus.uio.no/sisu>), 1992. [Electronic resource]. Available at: <http://www.jus.uio.no/lm/en/html/environmental.development.rio.declaration.1992/> (accessed 15.03.2018).
18. The Precautionary Principle World Commission on the Ethics of Scientific Knowledge and Technology (COMEST). UNESCO, 2005, 52 p. Available at: <http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001395/139578e.pdf> (accessed 15.03.2018).