

DOI: 10.25558/VOSTNII.2021.32.94.004

УДК 622.831.3

© М.В. Шинкевич, 2021

М.В. ШИНКЕВИЧ

канд. техн. наук,
старший научный сотрудник
Институт угля ФИЦ УУХ СО РАН,
г. Кемерово
e-mail: max-valerich@rambler.ru



ПЕРИОДИЧНОСТЬ ИЗМЕНЕНИЯ ГОРНОГО ДАВЛЕНИЯ НА МЕХАНИЗИРОВАННУЮ КРЕПЬ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ

В статье рассмотрено поведение массива горных пород при ведении горных работ на угольных месторождениях Кузбасса. Отмечены особенности сдвижения горных пород, происходящие при выемке пластов угля. Для отслеживания поведения массива использовались показания давления в стойках механизированной крепи. Наблюдается периодичность изменения горного давления при отработке пластов длинными столбами по простиранию. Для построения и обработки показаний давления жидкости в стойках механизированной крепи использовалась программа Surfex. Найдено соответствие полученных данных более ранним публикациям. Предложены причины периодичности. Показана волнообразность нагрузки на крепь механизированной лавы с шагом 170–220 м в зависимости от свойств пород кровли. Приведен расчет величины сводов давления на крепь очистного забоя. Показано, что в формировании давления в очистном забое участвует весь массив обрушенных пород. Так, интервалы с минимальным горным давлением соответствуют максимальным размерам консолей, а максимальное давление — минимальным размерам консолей.

Ключевые слова: ГОРНОЕ ДАВЛЕНИЕ, ПЕРИОДИЧНОСТЬ, ОЧИСТНОЙ ЗАБОЙ, МЕХАНИЗИРОВАННАЯ КРЕПЬ, КОНСОЛЬ КРОВЛИ.

Ведение горных работ при добыче пластовых полезных ископаемых характеризуется особенностями сдвижения горных пород, происходящими при выемке пласта. Так, на шахтах Кемеровской области – Кузбасса при современных темпах отработки угольных пластов в условиях увеличивающейся глубины их разработки актуализируется задача повышения устойчивости высокопроизводительной и безопасной добычи угля. Современная интенсификация очистных работ, увеличение длин лав, длин выемочных столбов, повышение нагрузки на очистной забой, неизбежно приводит к изменению всех геомеханических процессов, происходящих в забое. Решение задачи управления геомеханическим состоянием как вмещающих пород кровли, так и

угольного пласта сводится к установлению закономерностей процессов, протекающих в окружающем породном массиве при ведении горных работ. Этому вопросу посвящено много трудов как за рубежом [1–6], так и в России [7–12].

Известно, что при движении очистного забоя происходит периодическое изменение размеров зависающих консолей подрабатываемых пород. Известен принцип гармонического ряда волн Вебера, согласно которому с удалением от пласта амплитуда волны снижается, а ее период увеличивается [13]. В работе [14] указывается, что с увеличением глубины и прочности пород этот эффект вырастает и происходит «топтанье» пласта горным давлением. В работе [15] показано, что горное давление на

секции крепи в очистном забое имеет волнообразный характер. Обычно изучение геомеханических процессов при ведении горных работ проводится с помощью датчиков, находящихся в скважинах, измеряющих деформации и сдвигения горных пород. Скважины бурятся как из массива, так и с земной поверхности, но частота бурения скважин очень мала, что затрудняет суждения о геомеханических процессах в массиве объемом сотни миллионов кубических метров.

Так, в работах [14, 15] рассмотрена гипотеза об изменении напряженно-деформированного состояния массива пород впереди забоя лавы. Этот процесс сопровождается периодическим изменением размеров зон динамической составляющей опорного давления. При максимальном значении величины зоны опорного давления — перед обрушением пород основной кровли, а минимальное после обрушения (рис. 1 а, б).

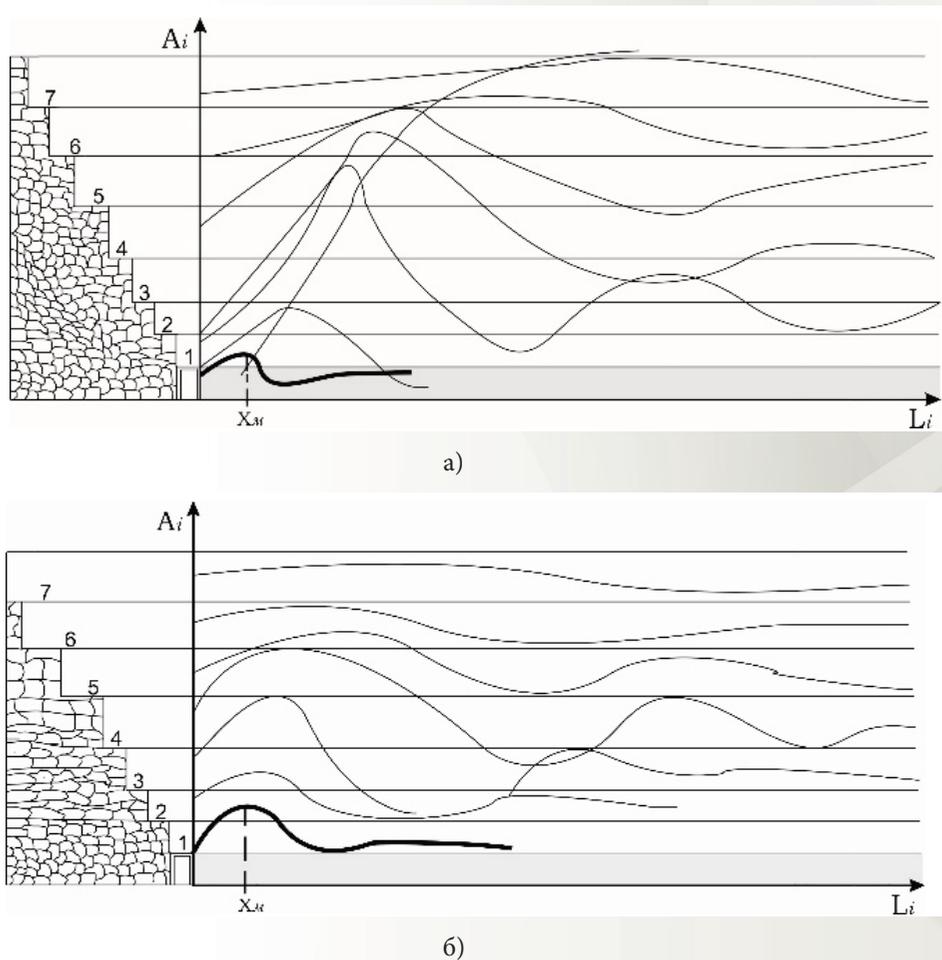


Рис. 1. Схема формирования напряжений впереди забоя лавы при минимальных размерах длин консолей (а) и при максимальных (б) [14], где A_1-A_7 — амплитуды гармоник напряжений, м; L_1-L_7 — размеры зон изменения напряжений в слоях горных пород, м; X_m — расстояние до максимума напряжений, м

При исследовании давления в стойках секций механизированной крепи также обнаружена её волнообразность [17]. Пересчитав показания давления по формулам (1–3), определим высоту слоя пород, оказывающего давление на крепь, приняв среднюю плотность пород $2,5 \text{ т/м}^3$ (рис. 2 а, б). Для построения по-

верхности давления используется программа *Surfer*.

Силовая реакция стоек механизированной крепи:

$$F_{\text{ст}} = P_{\text{ст.1}} S_{\text{ст.1}} + P_{\text{ст.2}} S_{\text{ст.2}}, \text{ МН}; \quad (1)$$

давление стоек, распределенное по площади верхняка крепи:

$$P_B = F_{ст} / S_B, \text{ МПа}; \quad (2)$$

высота слоя пород, оказывающего давление на крепь:

$$h_{сл} = P_B / 0,025, \text{ м}, \quad (3)$$

где $P_{ст.1}$, $P_{ст.2}$ — давление жидкости в стойках механизированной крепи, МПа; $S_{см.2}$, $S_{см.1}$ — площади поршня стоек механизированной крепи, м^2 ; $S_в$ — площадь верхняка механизированной крепи, м.

Были отстроены поверхности давления по лавам 3-32 шахты Алардинской пласта 3-3а

и 24-62 шахты им. С.М. Кирова пласта Болдыревский.

Лава 3-32. Отрабатывается пласт Алардинского месторождения на глубине 520–660 м. Полная мощность пласта до 5,6 м, вынимаемая мощность 4,5 м с оставлением пачки угля у почвы пласта. Угол падения пласта 140. Длина выемочного столба L_B — 1945 м, длина лавы 220 м.

В кровле пласта залегает углистый алевролит мощностью от 0,4 до 0,95 м, средней крепости $f = 2-3$. Выше находится слоистый зернистый алевролит, средней устойчивости, мощностью 3,3–20,9 м, крепостью $f = 6$. Основная кровля представлена устойчивым крупнослоистым песчаником крепостью $f = 6-9$, мощностью от 1,0 до 13,5 м (рис. 2).

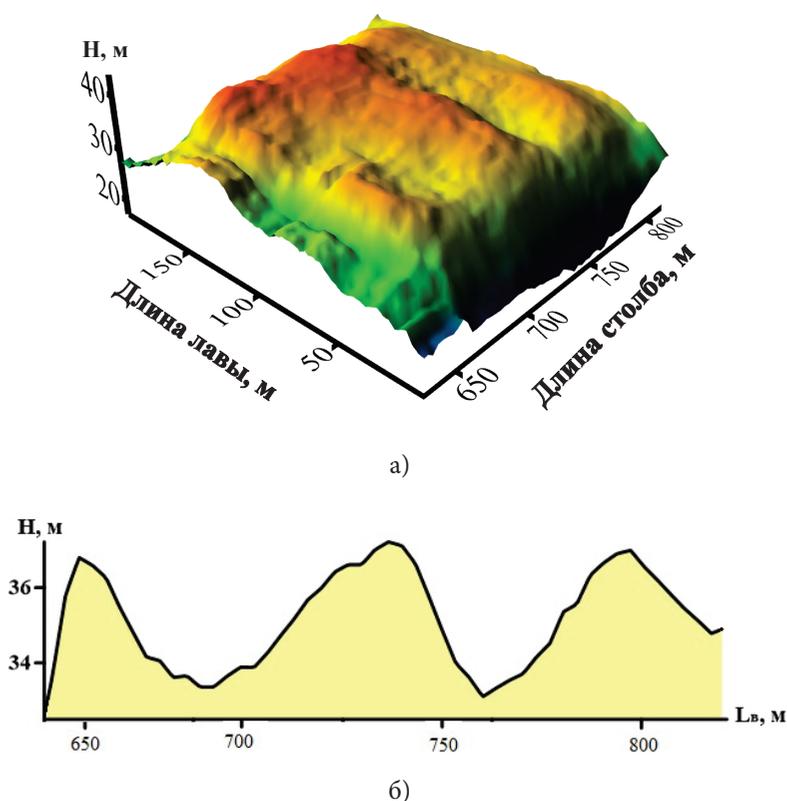
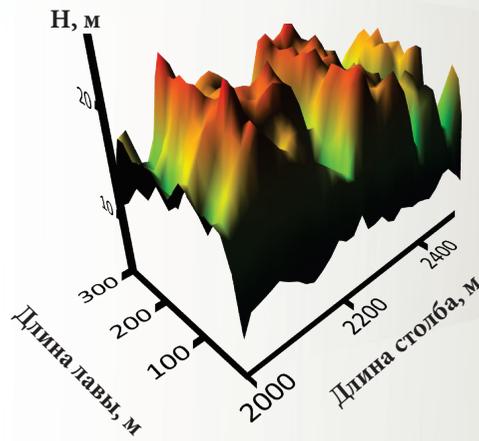


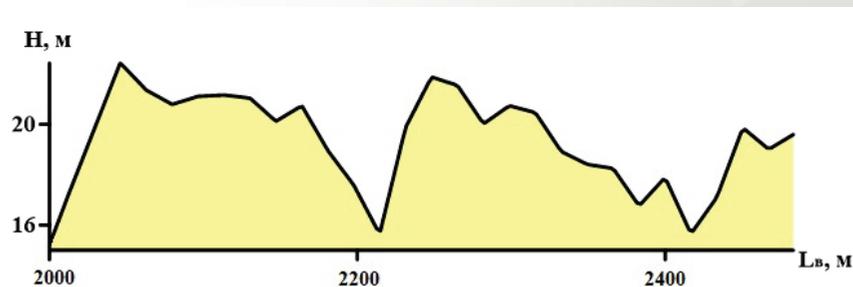
Рис. 2. Поверхность давления по лаве 3-32 шахты Алардинская (а) и её профиль (б)

Лава 24-62. Отрабатывается пласт Кольчугинской серии Ленинского района. Глубина лавы изменяется от 520 м у монтажной камеры до 476 м у уклона. Мощность пласта в среднем 2,5 м. Угол падения — 4^0-5^0 . Длина

лавы — 300 м. Длина столба L_B — 2500 м. Непосредственная кровля представлена алевролитом, крепостью $f = 4-5$, мощностью 7–9 м, основная песчаником, мощностью до 34 м, крепостью $f = 5-6$ (рис. 3).



а)



б)

Рис. 3. Поверхность давления по лаве 24-62 (а) и ее профиль (б)

Сказанное выше, а также понимание о процессе структуризации массива [18] позволяют нам разработать алгоритм нахождения высоты свода давления.

Расчетная мощность свода давления на крепь:

$$h_{p,x} = (h_n + A_n) + A_n \sin\left(2 \frac{L_{в,x}}{l_p} - \sqrt{2}\right), \text{ м}, \quad (4)$$

здесь $0 \leq L_{в}, x \leq L_{в}$ — текущая координата в пределах свода сдвижений, м; h_n — мощность минимального свода в структурной иерархии, м [19]; A_n — амплитуда синусоиды; x — индекс, обозначающий положение забоя по длине столба $L_{в}$, м.

Амплитуда синусоиды:

$$A_n = \frac{0,1 h_0 2^{n+1}}{\sqrt{2}}, \text{ м}, \quad (5)$$

где h_0 — мощность критического слоя, численно равно величине вторичного обрушения кровли, м по Мурашеву В.И. [20]; $\sqrt{2}$ — величина канонического параметра геосреды [18].

Интервал изменения давления на крепь:

$$l_p = 2^{n+k} h_0, \text{ м}, \quad (6)$$

где $n = 2$ — уровень структурной иерархии, k — эмпирический коэффициент (для шахты Алардинская равен 1, для шахты им. С.М. Кирова равен 1,3) (рисунки 4, 5).

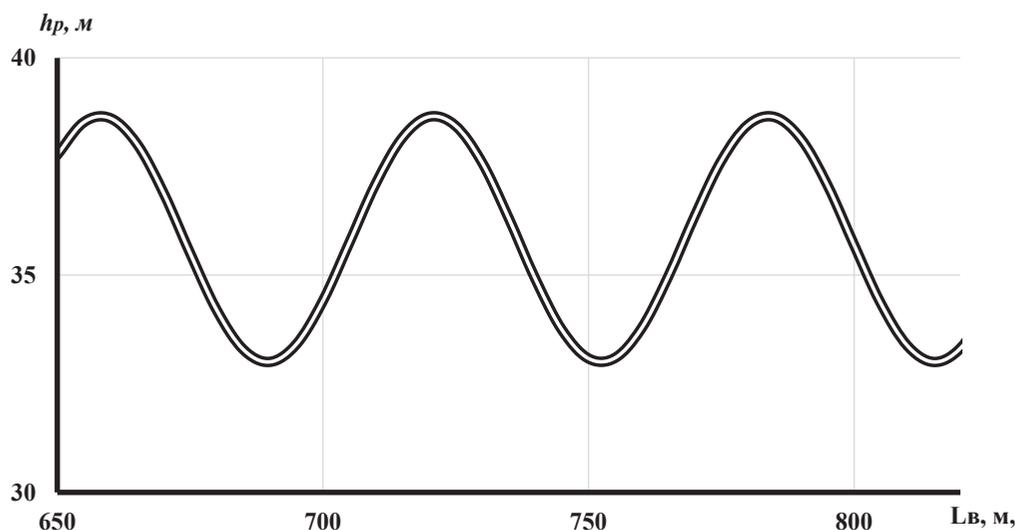


Рис. 4. Расчетная мощность свода давления для лавы 3-32 ш. Алардинская

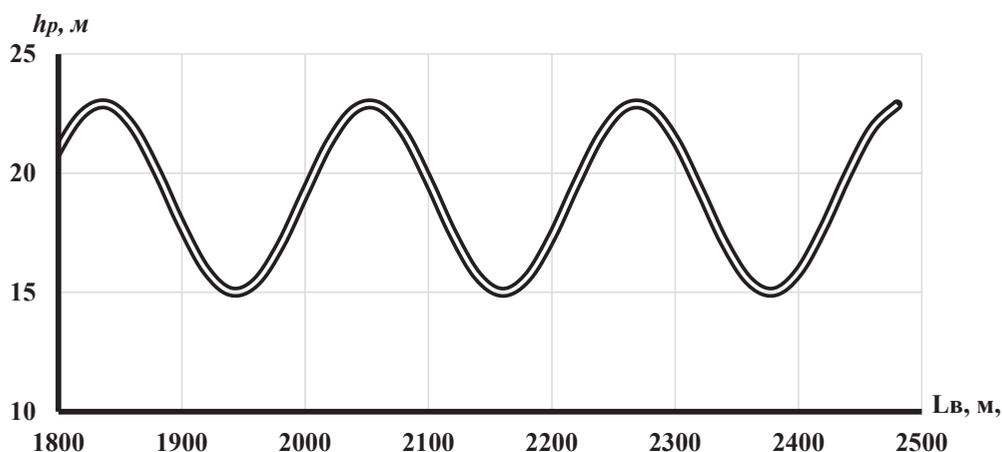


Рис. 5. Расчетная мощность свода давления для лавы 3-32 ш. им. С.М. Кирова

Как мы видим, горное давление в длинном очистном забое имеет волнообразный характер (рис. 2 а, 3 а). Причем его шаг (расстояние между максимумами сводов давления) достигает 170–220 м, что зависит от слагающих кровлю пород, их крепости. Причем высота сводов давления так же зависит от крепости пород. Так, при крепости до 9 f она равна 40 м, при крепости до 6 f — 25 м. Если обратиться к более ранним публикациям, то становятся понятны причины периодичности горного давления (рис. 1 а, б). В формировании давления в очистном забое участвует весь массив обрушенных пород. Рассматривая профиль

поверхностей давления, отстроенных по показаниям давления в стойках механизированной крепи, мы видим определенную волнообразность, которую формируют слои пород, периодически обрушаясь (рис. 2 б, 3 б). Так, интервалы с минимальным горным давлением соответствуют максимальным размерам консолей, а максимальное давление — минимальным размерам консолей (рис. 1 а, б).

Авторы выражают огромную благодарность коллективу АО «СУЭК-Кузбасс» за предоставленные материалы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бенявски З. Управление горным давлением. М.: Мир, 1990. 254 с.
2. Gu S., Jiang B., Hu C., Zhang W. Case of rock burst danger and its prediction and prevention in tunneling and mining period at an irregular coal face // *Geotechnical and Geological Engineering*. 2019. Vol. 37. No. 4. P. 2545–2564.
3. Li J., Gong S.-Y., He J., Cai W., Zhu G.-A., Wang C.-B., Chen T. Spatio-temporal assessments of rockburst hazard combining b values and seismic tomography // *Acta Geophysica*. 2017. Vol. 65. No. 1. P. 77–88.
4. Zhou H., Liu H., Hu D., Yang F., Lu J., Zhang F. Estimation of the effective thermal properties of cracked rocks // *European Journal of Environmental and Civil Engineering*. 2016. Vol. 20. No. 8. P. 954–970.
5. Reuter M., Krach M., Kießling U., Veksler Y. Zonal disintegration of rocks around breakage headings // *Journal of Mining Science*. 2015. Vol. 51. No. 2. P. 237–242.
6. Yu Y., Geng D.-X., Tong L.-H., Zhao X.-S., Diao X.-H., Huang L.-H. Time fractal behavior of microseismic events for different intensities of immediate rock bursts // *International Journal of Geomechanics*. 2018. Vol. 18. No. 7. P. 06018016.
7. Шадрин А.В., Клишин В.И. Совершенствование методов автоматизированного прогноза опасности проявления динамических явлений в процессе разупрочнения кровли и профилактической гидрообработки угольных пластов // *Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности*. 2017. № 3. С. 31–35.
8. Черданцев Н.В., Шадрин А.В. Расчет траектории движения одиночной трещины, расположенной в массиве горных пород, нагруженной давлением жидкости // *Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности*. 2017. № 4. С. 18–26.
9. Качурин Н.М., Клишин В.И., Борщевич А.М., Качурин А.Н. Прогноз метановой опасности угольных шахт при интенсивной отработке угольных пластов // *ТулГУ*, 2013. 220 с.
10. Portola V.A., Torosyan E.S., Kuznetsova A.S. Indirect Negative Influence of Coal Mine Motor Vehicles on the Environment // *Applied Mechanics and Materials: Scientific Journal*. 2015. Vol. 770: Urgent Problems of Up-to-Date Mechanical Engineering. P. 690–694.
11. Shadrin A.V., Diyuk Yu.A. Geophysical criterion of pre-outburst coal outstriking from the face space into the working // *International Journal of Mining Science and Technology*. 2019. Vol. 29. Issue 3. P. 499–506.
12. Kormin A.N., Tailakov O.V., Sokolov S.V., Makeev M.P. Seismological survey of the coal fields based on the applying of the low-power sources of oscillation // *E3S Web of Conferences Electronic edition*. 2018. No. 01029. P. 1–5.
13. Weber H. Der Gebirgsdruck als Ursache für das Auftreten von Schlagwettern, Blasern, Gasausbrüchen und Gebirgsschlagen. Gluckauf, 1916. Bd 49.
14. Черняк И.Л., Зайденварг В.Е. Периодичность изменения напряжённо-деформированного состояния массивов угля и пород впереди очистного забоя // *Горный журнал. Известия Высших учебных заведений*. 1993. № 3. С. 25–28.
15. Якоби О. Практика управления горным давлением. М.: Недра, 1987. 566 с.
16. Черняк И.Л. Геомеханические аспекты выбросов угля и газа // *Безопасность труда в промышленности*. 1991. № 6. С. 64–67.
17. Shinkevich M.V. Variability of rock pressure long he length of the working ace // *News of the Higher Institutions. Mining Journal*. 2020. No. 3. P. 24–30.
18. Опарин В.Н., Танайно А.С. Каноническая шкала иерархических представлений в горном породоведении. Новосибирск: Наука, 2011. 259 с.
19. Козырева Е.Н., Шинкевич М.В., Родин Р.И. Газокинетические следствия нелинейных геомеханических процессов в массиве горных пород на шахтах Кузбасса // «Нелинейные

геомеханико–геодинамические процессы при отработке месторождений полезных ископаемых на больших глубинах». Новосибирск, 2012. С. 267–272.

20. Мурашев В.И. Разработка научных основ безопасного ведения горных работ в угольных шахтах на основе исследования геомеханических процессов: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Вячеслав Иванович Мурашев. М., 1980. 36 с.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2021.32.94.004

UDC 622.831.3

© M.V. Shinkevich, 2021

M.V. SHINKEVICH

Candidate of Engineering Sciences,

Senior Researcher

Institute of Coal «The FRC of Coal and Coal Chemistry of SB of RAS», Kemerovo

e-mail: max-valerich@rambler.ru

PERIODICITY OF CHANGE OF ROCK PRESSURE ON MECHANIZED SUPPORT OF CLEANING FACE

The article discusses the actions of the rock mass during mining operations at the coal deposits of Kuzbass. The features of rock displacement occurring during the excavation of coal seams are noted. The pressure readings in the roof supports were used to track the actions of the rock mass. Periodicity of rock pressure changes is observed when mining seams with long pillars along strike. The Surfer software was used to construct and process the fluid pressure readings in the roof supports. Found the correspondence of the obtained data to earlier publications. The reasons for the periodicity are suggested. The waviness of the load on the mechanized lava support with a pitch of 170–220 m is shown depending on the properties of the roofing rocks. Calculation of pressure arches value on treatment face support is given. It is shown that the entire mass of collapsed rocks is involved in the formation of pressure in the treatment face. So, intervals with minimum rocks pressure correspond to maximum dimensions of cantilevers, and maximum pressure — to minimum dimensions of cantilevers.

Keywords: ROCKS PRESSURE, PERIODICITY, CLEANING FACE, MECHANIZED SUPPORT, ROOF CANTILEVER.

REFERENCES

1. Benjawski 3. Rock pressure management. M.: Mir, 1990. 254 p. [In Russ.].
2. Gu S., Jiang B., Hu C., Zhang W. Case of rock burst danger and its prediction and prevention in tunneling and mining period at an irregular coal face // Geotechnical and Geological Engineering. 2019. Vol. 37. No. 4. P. 2545–2564.
3. Li J., Gong S.-Y., He J., Cai W., Zhu G.-A., Wang C.-B., Chen T. Spatio-temporal assessments of rockburst hazard combining b values and seismic tomography // Acta Geophysica. 2017. Vol. 65. No. 1. P. 77–88.
4. Zhou H., Liu H., Hu D., Yang F., Lu J., Zhang F. Estimation of the effective thermal properties of cracked rocks // European Journal of Environmental and Civil Engineering. 2016. Vol. 20. No. 8. P. 954–970.
5. Reuter M., Krach M., Kießling U., Veksler Y. Zonal disintegration of rocks around breakage headings // Journal of Mining Science. 2015. Vol. 51. No. 2. P. 237–242.
6. Yu Y., Geng D.-X., Tong L.-H., Zhao X.-S., Diao X.-H., Huang L.-H. Time fractal behavior

of microseismic events for different intensities of immediate rock bursts // International Journal of Geomechanics. 2018. Vol. 18. No. 7. P. 06018016.

7. Shadrin A.V., Klishin V.I. Improvement of methods of automated forecasting of the danger of manifestation of dynamic phenomena in the process of softening of the roof and preventive hydro-treatment of coal seams // Bulletin of the VostNII Scientific Center for Industrial and Environmental Safety [Vestnik Nauchnogo tsentra VostNII po promyshlennoy i ekologicheskoy bezopasnosti]. 2017. No. 3. P. 31–35. [In Russ.].

8. Cherdantsev N.V., Shadrin A.V. Calculation of the trajectory of a single crack located in a rock mass, loaded with fluid pressure // Bulletin of the Scientific Center for the Safety of Work in the Coal Industry [Vestnik Nauchnogo tsentra po bezopasnosti rabot v ugolnoy promyshlennosti]. 2017. No. 4. P. 18–26. [In Russ.].

9. Kachurin N.M., Klishin V.I., Borshchevich A.M., Kachurin A.N. Forecast of methane hazard of coal mines during intensive mining of coal seams // TulsU, 2013. 220 p. [In Russ.].

10. Portola V.A., Torosyan E.S., Kuznetsova A.S. Indirect Negative Influence of Coal Mine Motor Vehicles on the Environment // Applied Mechanics and Materials: Scientific Journal. 2015. Vol. 770: Urgent Problems of Up-to-Date Mechanical Engineering. P. 690–694.

11. Shadrin A.V., Diyuk Yu.A. Geophysical criterion of pre-outburst coal out squeezing from the face space into the working // International Journal of Mining Science and Technology. 2019. Vol. 29. Issue 3. P. 499–506.

12. Kormin A.N., Tailakov O.V., Sokolov S.V., Makeev M.P. Seismological survey of the coal fields based on the applying of the low-power sources of oscillation // E3S Web of Conferences Electronic edition. 2018. No. 01029. P. 1–5.

13. Weber H. Der Gebirgsdruck als Ursache fur das Auftreten von Schlagwettern, Blasern, Gasausbruchen und Gebirgsschlagen. Gluckauf, 1916. Bd 49.

14. Chernyak I.L., Zaydenvarg V.E. Periodicity of changes in the stress-strain state of coal and rock massifs in front of the working face // Mining Journal. News of the Higher Institutions. [Gornyy zhurnal. Izvestiya Vysshikh uchebnykh zavedeniy]. 1993. No. 3. P. 25–28. [In Russ.].

15. Jacobi O. Practice of rock pressure management. M.: Nedra, 1987. 566 p. [In Russ.].

16. Chernyak I.L. Geomechanical aspects of coal and gas emissions // Industrial safety [Bezopasnost truda v promyshlennosti]. 1991. No. 6. P. 64–67. [In Russ.].

17. Shinkevich M.V. Variability of rock pressure long he length of the working ace // News of the Higher Institutions. Mining Journal. 2020. No. 3. P. 24–30.

18. Oparin V.N., Tanaino A.S. Canonical scale of hierarchical representations in rock science. Novosibirsk: Nauka, 2011. 259 p. [In Russ.].

19. Kozyreva E.N., Shinkevich M.V., Rodin R.I. Gas-kinetic consequences of nonlinear geomechanical processes in the rock mass at the mines of Kuzbass // «Nonlinear geomechanical-geodynamic processes during the development of mineral deposits at great depths». Novosibirsk, 2012. P. 267–272. [In Russ.].

20. Murashev V.I. Development of scientific foundations for the safe conduct of mining in coal mines based on the study of geomechanical processes: thesis abstract for the degree of Doctor of Engineering Sciences / Vyacheslav Ivanovich Murashev. M., 1980. 36 p. [In Russ.].