

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ / ORIGINAL PAPERS

DOI: 10.17073/2500-0632-2019-1-57-64

Анализ возможного возникновения куполов в лаве

Имранов Р. А., Хмырова Е. Н., Бесимбаева О. Г., Оленюк С. П., Капасова А. З.

Карагандинский государственный технический университет, Караганда, Казахстан,

✉hmyrova@mail.ru

Аннотация: Исследования направлены на решение задач по оценке устойчивости горных выработок при подземной разработке в сложных горно-геологических условиях, повышающих надежность и безопасность проведения горных работ. Исследование геомеханических процессов, происходящих в горном массиве при отработке угольных пластов, с целью определения устойчивости кровли выемочного блока является важнейшей задачей. Выполнено цифровое моделирование массива горных пород по структурным колонкам пласта K1 и ближайшей скважине, которое позволило с высокой детальностью определить типы пород, залегающих в кровле пласта, и их прочностные характеристики, напряжения на сжатие. Для определения устойчивости кровли выемочного блока был использован показатель коэффициента запаса прочности пород, который определялся методом моделирования с использованием программного обеспечения Phase 28.0 и Rockscience. Контакт комплекс лавы с кровлей пласта был принят прослой углистого аргиллита мощностью 0,09–0,12 м, и для полноты анализа использовалась верхняя высокозольная пачка угля в кровле пласта мощностью до 0,7 м. Результаты моделирования, отраженные на графике изменения коэффициента запаса прочности в зависимости от расстояния между конвейерным и вентиляционными штреками, показывают, что вероятность образования куполов в лаве велика, так как коэффициент запаса прочности пород менее единицы, что указывает на неустойчивость кровли при отработке выемочного участка угольного пласта. Методами моделирования показана возможность произвести оценку устойчивости горных выработок, на основании которой своевременно разработать мероприятия, повышающие надежность и безопасность проведения горных работ, и принять правильные технические и технологические решения.

Ключевые слова: лава, пласт, геомеханический и газодинамический процесс, напряжение, деформация, устойчивость, моделирование, коэффициент запаса прочности.

Для цитирования: Имранов Р. А., Хмырова Е. Н., Бесимбаева О. Г., Оленюк С. П., Капасова А. З. Анализ возможного возникновения куполов в лаве. *Горные науки и технологии*. 2019;4(1):57-64. DOI: 10.17073/2500-0632-2019-1-57-64.

Analysis of Possible Origination of Domes in Longwalls

R. I. Imranov, E. N. Khmyrova, O. G. Besimbayeva, S. P. Olenyuk, A. Z. Kapasova

Karaganda State Technical University, Karaganda, Kazakhstan, ✉hmyrova@mail.ru

Abstract: The research is aimed at solving problems of assessing underground working stability in complicated mining and geological conditions to increase reliability and safety of mining operations. Analysis of geomechanical processes occurring in a rock mass during extraction of coal seams to determine the stability of mining block roof is the most important task. The performed digital modeling of the rock mass based on the structural logs for K1 seam and the nearest borehole log enabled highly detailed identifying the types of rocks occurred in the seam roof and their strength characteristics, compressive stresses. To determine the stability of a mining block roof, the factor of safety of the rocks was used, which was determined by modeling method using Phase 28.0 and Rockscience software. The carbonaceous argillite parting 0.09–0.12 m thick was taken as the contact of the longwall with the seam roof, and, for completeness of the analysis, the upper high-ash coal member in the seam roof up to 0.7 m thick was used. The modeling findings, presented in the graph of dependence between the safety factor and the distance between the belt heading and air drift, showed that the probability of dome formation in the longwall is high, as the factor of safety of the rocks is less than unity, that indicates the roof instability in the course of the coal seam block extraction. The modeling methods allowed assessing the mine working stability, based on which the measures to improve the reliability and safety of mining operations can be timely developed, and due technical and technological solutions shall be reached.

Keywords: longwall, seam, rock mechanical and gas-dynamic process, stress, strain, stability, modeling, factor of safety.

For citation: Imranov R. I., Khmyrova E. N., Besimbayeva O. G., Olenyuk S. P., Kapasova A. Z. Analysis of possible origination of domes in longwalls. *Mining Science and Technology*. 2019;4(1):57-64. (In Russ.). DOI: 10.17073/2500-0632-2019-1-57-64.

Введение

Подземная разработка угольных месторождений практически всегда сопровождается сложными горно-геологическими и горно-техническими условиями, поэтому актуальным вопросом является исследование геомеханических и газодинамических процессов, происходящих в подземных горных выработках. Определение уровня максимальных действующих напряжений вокруг горных выработок является одной из наиболее важных задач геомеханики [3, 4]. Анализ результатов моделирования с учетом коэффициента запаса прочности пород позволяет произвести выбор оптимальных параметров отработки месторождения, схемы вскрытия и подготовки горизонтов.

Исследование вопроса влияния горного давления на массив и механизированную крепь при отработке выемочного участка угольной лавы позволяет определить изменение состояния пород кровли пласта от сжатия к растяжению, которое может привести к постепенному поэтапному падению породы с кровли выработки до внезапного массового обрушения и образованию куполов.

Цели и задачи исследования

Идея проводимых исследований заключается в изучении совокупности различных факторов: структуры и свойств углепородного массива, сочетания горно-геологических и горнотехнических условий, уровня действующих напряжений в горном массиве и технологических параметров отработки выемочного участка [5].

В этой связи разработка методики комплексного управления геомеханическими и газодинамическими процессами на угольных

шахтах является актуальной научной и практической задачей.

Полученные научные и практические результаты проведенных авторами исследований могут быть положены в основу методики комплексного управления геомеханическими и газодинамическими процессами на шахтах [6–10].

Большинство исследований основано на решении упругой геомеханической задачи, при этом полученные напряжения и деформации сравниваются с предельно допустимыми для горных пород приконтурного массива. При решении геомеханических задач одним из основных вопросов является определение надежных расчетных значений прочностных свойств горного массива.

Методы исследований

По уровню напряжений, действующих в горном массиве, возможно произвести оценку устойчивости горных выработок и определить показатель коэффициента запаса прочности пород.

Горно-капитальные выработки в процессе их проведения могут изменить свое поперечное сечение от влияния напряженного состояния массива окружающих их горных пород [11–13]. Нарушения устойчивости выработок происходят при высоком вертикальном напряженном состоянии. Однако в практике встречаются случаи, когда горизонтальные напряжения значительно превышают вертикальные, тогда могут деформироваться породы кровли и почвы. Деформация почвы проявляется только выпучиванием, что может оставаться почти незамеченным.

Наличие напряжений на растяжение не всегда свидетельствует о разрушении массива

в данной области. Сами породы могут в некоторой степени сопротивляться растяжению, и даже при наличии нарушений горного массива они сохраняют некоторую устойчивость (так называемая остаточная прочность горных пород) [3, 17].

Деформация породы кровли (рис. 1) может сопровождаться активным падением породы, сначала в виде заколов, потом с переходом на обвалы. Переход на обвалы связан с уменьшением опорной площади при приближении к замковой части кровли.

Необходимо отметить, что при динамическом проявлении нарушения устойчивости в виде постепенного поэтапного падения породы с кровли выработки может произойти внезапное массовое обрушение.

На участках, где вертикальные и боковые напряжения σ_v и σ_b могут одновременно оказывать влияние на образование формы поперечного сечения выработки, физика процесса деформации

проистекает в полном соответствии с физико-механическими свойствами горных пород.

Поэтому как уровень действующих напряжений, так и свойства горных пород, в каждом конкретном случае носят индивидуальный характер.

Объектом исследований является угольный пласт K1 при отработке его лавой 46K1–3. Отработка выемочного участка приводит к изменению горного давления на массив и механизированную крепь, это в свою очередь приводит к периодическому изменению состояния пород от сжатия к растяжению, при этом изменяются размер и число зависающих пачек пород кровли пласта, участвующих в формировании опорного давления [1, 4, 18, 19].

Для определения устойчивости кровли лавы (рис. 1) было произведено цифровое моделирование массива горных пород [20] по структурным колонкам пласта (рис. 2) и скважине № 11355.

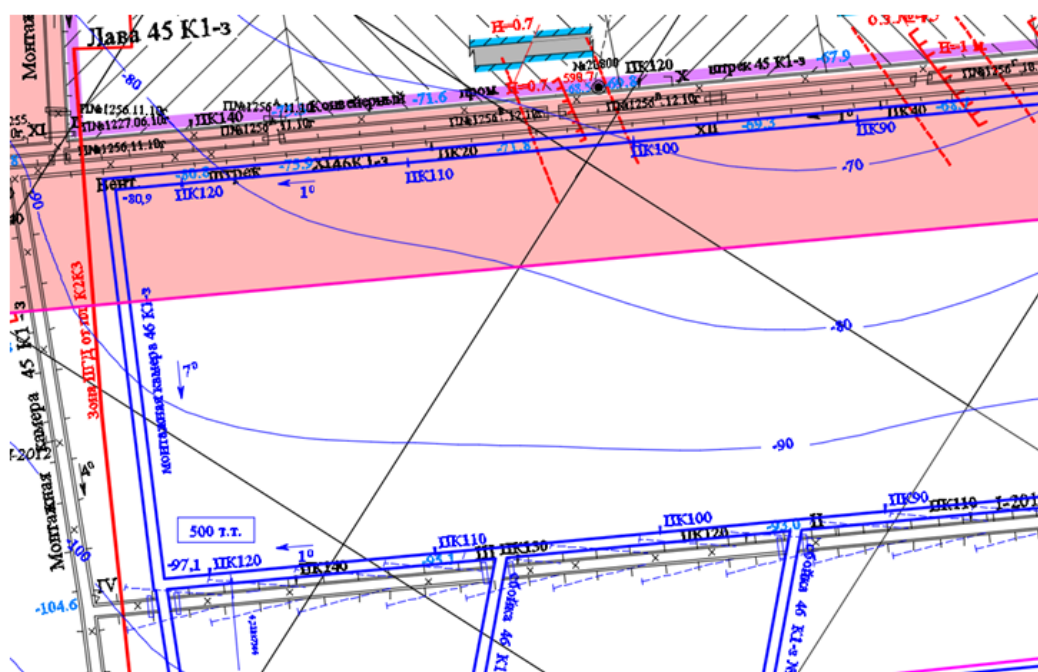




Рис. 2. Структурная колонка пласта К1

Fig. 2. K1 seam structural log

Пласт К1 состоит из 6–7 кондиционных и двух высокозольных угольных пачек в кровле пласта (напряжение на сжатие составляет $\sigma_{сж} = 11–12$ МПа). Кровля пласта представлена среднезернистыми аргиллитами мощностью до 20,5 м (напряжение на сжатие составляет $\sigma_{сж} = 22–25$ МПа). В непосредственной кровле пласта в 1,2–1,8 м залегает пласт К1 мощностью до 0,2 м. В почве пласта залегают песчаники и алевролиты, напряжение на сжатие которых $\sigma_{сж} = 35–59$ МПа.

Для определения устойчивости кровли выемочного столба был использован показа-

тель коэффициента запаса прочности пород. Контакт комплекс лавы с кровлей пласта был принят прослой углистого аргиллита мощностью 0,09–0,12 м (рис. 2). Для полноты анализа использовалась угольная пачка в кровле пласта мощностью до 0,7 м.

Результаты

По полученным результатам исследования можно сделать вывод о том, что кровля пласта по контакту с прослоем углистого аргиллита в лаве неустойчивая и легкообрушаемая. Коэффициент запаса прочности на контакте комплекса и углистого аргиллита (рис. 3) *в среднем по лаве равен 0,92*.

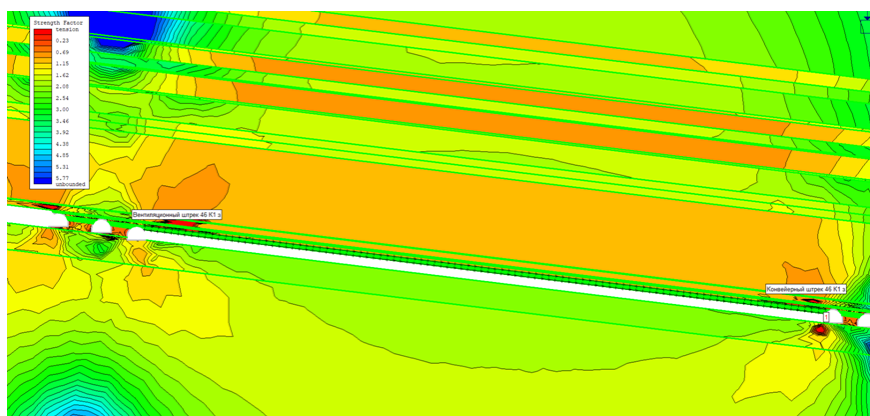


Рис. 3. Коэффициент запаса прочности моделируемого массива

Fig. 3. Factor of safety of the modeled rock mass

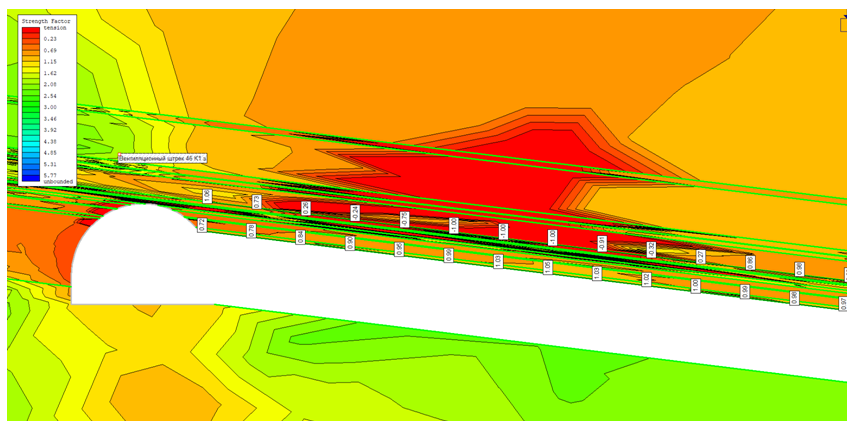


Рис. 4. Коэффициент запаса прочности у вентиляционного штрека

Fig. 4. Factor of safety of the air heading

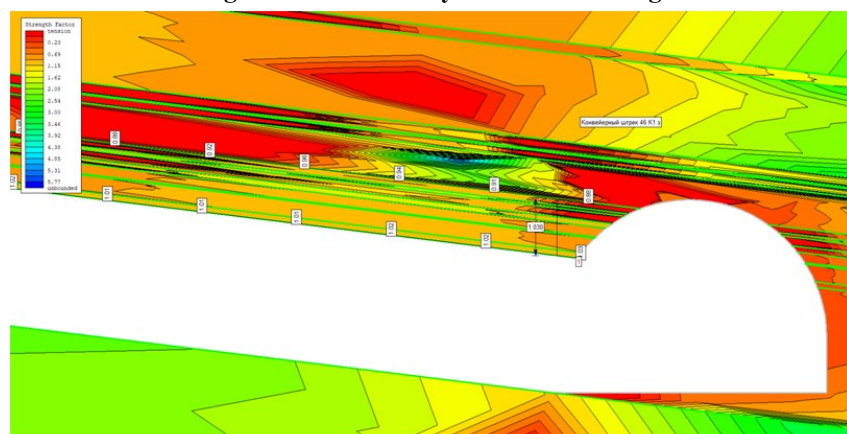


Рис. 5. Коэффициент запаса прочности у конвейерного штрека

Fig. 5. Factor of safety of the belt heading

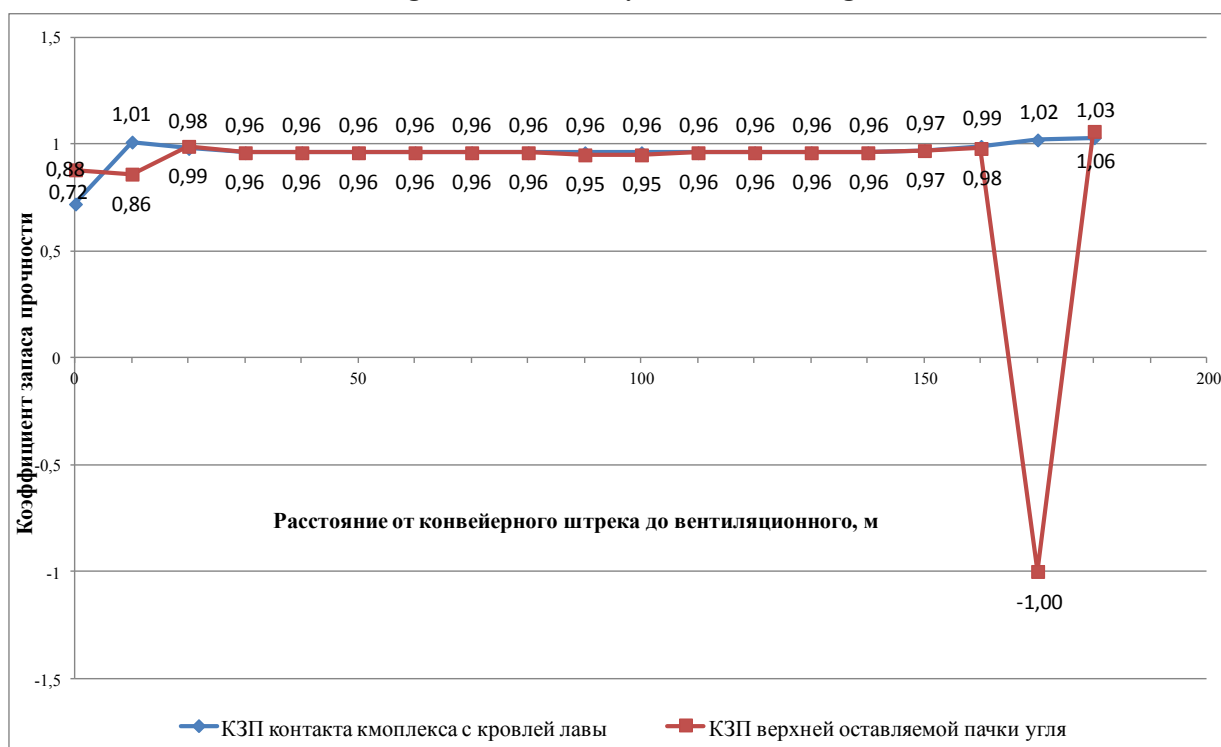


Рис. 6. Изменение коэффициента запаса прочности (КЗП) в зависимости от расстояния между конвейерным и вентиляционными штреками

Fig.6. The change in factor of safety depending on the distance between the belt and air headings

Коэффициент запаса прочности верхней высокозольной пачки угля меньше единицы и приобретает в некоторых местах отрицательные значения на участке длиной в 25 м от вентиляционного штрека в сторону выемочного участка (рис. 4). Значение коэффициента запаса прочности является показателем того, что породы кровли при отработке выемочного блока в этом месте разрушатся [21–23], возможной причиной этого является то, что данный участок находится в зоне ОГД от отработки вышележащего выемочного блока.

Заключение

Результаты моделирования по графику изменения коэффициента запаса прочности в зависимости от расстояния между конвейерным и вентиляционными штреками наглядно показывают, что вероятность образования куполов в кровле выемочного блока велика, так как КЗП пород менее 1, что говорит о не-

устойчивости кровли лавы при её работе (рис. 6). На основании проведенных исследований геомеханических процессов, протекающих в массиве горных пород при отработке выемочного блока, могут быть приняты правильные решения по дальнейшей отработке угольного пласта [24]. Знание прогнозных данных отработки участка угольного пласта позволит еще на стадии проектирования заранее определить наиболее опасные места, а именно точки обрушения кровли.

Проведенные исследования с определением коэффициента запаса прочности позволяют прогнозировать вероятность образования куполов в кровле выемочного блока и разработать мероприятия по обеспечению безопасных условий отработки угольных пластов, а также предупредить будущие аварийные ситуации [24, 25].

Библиографический список

1. Черняк И. Л. Периодичность изменения напряжённо-деформированного состояния массивов угля и пород впереди очистного забоя / И. Л. Черняк, В. Е. Зайденварг // Горный журнал. Изв. высших учебных заведений. 1993. № 3. С. 25–28.
2. Отчет о результатах исследования № 304 185 16 Казахстанская ДМТ ГмбХ энд Ко. КГ, Эссен. 2016 г.
3. Филимонов К. А. Исследование напряженного состояния подрабатываемого массива // Вестник Куз-ГТУ. 2003. № 5. С. 22–25.
4. Полевщиков Г. Я. Деформационно-волновые процессы в массиве горных пород при движении очистного забоя в угольных пластах / Г. Я. Полевщиков // ФТПРПИ. 2013. № 5. С. 50–60.
5. Долгонос В. Н., Пак Г. А., Дрижд Н. А., Алиев С. Б., Низаметдинов Ф. К. Геомеханические и газодинамические процессы в угольных шахтах. Караганда: Изд-во КарГТУ, 2012. 214 с.
6. Полевщиков Г. Я. и др. Фрактальная особенность структуризации массива горных пород в изменениях давления на призабойную часть отработываемого длинным очистным забоем угольного пласта // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. Научно-технический журнал. Кемерово. 2013. Вып. 1-1. С. 16–23.
8. Scott M., Mazumder S., Jiang J. Permeability Increase in Bowen Basin Coal as a Result of Matrix Shrinkage during Primary Depletion, SPE International SPE 158152, 2012, vol. 1, pp. 323–343.
9. Pan Z., Connell L. D., Modeling Permeability for Coal Reservoirs: A Review of Analytical Models and Testing Data, Int. J. Coal Geol., 2012, 92, pp. 1–44.
10. Nazarova L. A., Nazarov L. A., Karchesvsky A. L., Vandamme M. Determining Kinetic Parameters of a Block Coal Bed Gas by Solving Inverse Problem Based on Data of Borehole Gas Measurements, J. Min. Sci., 2015, vol. 51, no. 4, pp. 666–672.
11. Еременко А. А., Серяков В. М., Гахова Л. Р. Геомеханическое обоснование параметров и способа создания демпферного слоя в окрестности выработки для снижения уровня горного давления // ФТПРПИ. – 2014. № 4. С. 61–70.
12. Pinkun Guo, Yuanping Cheng. Permeability Prediction in Deep Coal Seam: A Case Study on No. 3 Coal Seam of the Southern Qinshui Basin in China, The Scientific World Journal, 2013, vol. 2013.
13. Seidle J., Jeanson M., Erickson D. Application of Matchstick Geometry to Stress Dependent Permeability in Coals, SPE Rocky Mountain Regional Meeting, Society of Petroleum Engineers, 1992.

14. Fedorov A. V., Fedorchenko I. A., Leont'ev I. V. Mathematical modeling of two problems of wave dynamics in heterogeneous media, *Shock Waves Journ.*, Vol. 15, No. 8, 2006.
15. Oparin V. N., Tanaino A. S., Yushkin V. F. Discrete properties of entities of a geomedium and their canonical representation. *Journal of Mining Science*, No. 3(2007).
16. Wang X., Pan Y., Zhang Z., A Spatial Strain Localization Mechanism of Zonal Disintegration through Numerical Simulation, *J. Min. Sci.*, 2013, vol. 49, no. 3, pp. 357–367.
17. Ройтер М. Волнообразное распределение горного давления вдоль забоя лавы / М. Ройтер, В. Курфюст, К. Майрховер, Ю. Векслер // ФТПРПИ. 2009. № 2. С. 38–44.
18. Козырева Е. Н., Шинкевич М. В. Структуризация массива горных пород в условиях отработки угольного пласта длинными столбами // Промышленная безопасность и геомеханика. – Кузбасс. Сборник трудов «Образование, наука, инновации». 2014. №1.
19. Козырева, Е. Н. Особенности газогеохимических процессов на выемочном участке шахты / Е. Н. Козырева, М. В. Шинкевич // Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. Кемерово. 2010. № 2. С. 28–35.
20. Леонтьева Е. В. Оценка возможностей методов компьютерного моделирования геомеханического процесса во вмещающем массиве [Электронный ресурс] / Кемерово. Инновационный конвент.
21. Захаров В. Н., Малинникова О. Н., Трофимов В. А., Филиппов Ю. А. Зависимость проницаемости угольного пласта от газосодержания и действующих напряжений // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2016. №2. С. 16–26.
22. Пак Г. А., Дрижд Н. А., Долгонос В. Н. Методика расчета шагов обрушения основной кровли и прогноз газовыделения на шахтах Карагандинского бассейна // Безопасность труда в промышленности. 2010. № 10. С. 31–34.
23. Шпаков П. С., Пак Г. А., Долгонос В. Н. Взаимосвязь шагов обрушения основной кровли и интенсивности газовыделения на шахтах «Сокурская» и «Саранская» Карагандинского бассейна // Маркшейдерия и недропользование. 2009. № 6. С. 70–72.
24. Инструкция по безопасному ведению горных работ на пластах, опасных по внезапным выбросам угля и газа / Министерство энергетики и угольной промышленности РК, 1995. 92 с.
25. Правила охраны сооружений и природных объектов от вредного влияния подземных горных работ на угольных месторождениях. М.: Недра, 1981. 288 с.

References

1. Chernyak I. L., Zaidenvarg V. E. Frequency of changes in stress-strain state of coal and rock masses at the front of production face: *Mining Journal, News of Higher Educational Institutions*, 1993, No. 3, pp. 25-28. (in Russ.)
2. Report on the findings of Research No. 304 185 16 Kazakhstan: DMT GmbH & Co. KG, Essen, 2016. (in Russ.)
3. Filimonov K. A. Research of the stress condition of undermined rock mass: *Vestn.Kuz.GTU*, 2003, No. 5, pp. 22-25. (in Russ.)
4. Polevshchikov G. Ya., "Deformation-wave" processes in rock mass when stoping face moving in coal seams: Polevshchikov G. Ya, *FTRPI*, 2013, No. 5, pp. 50-60. (in Russ.)
5. Dolgonosov V. N., Pak G. A., Drizhd N. A., Aliev S. B., Nizametdinov F. K. Geomechanical and gas-dynamic processes in coal mines: Karaganda, Publishing House of KarGTU, 2012, 214 p. (in Russ.)
6. Polevshchikov G. Ya., *et al.* Fractal feature of rock mass structuring when changing pressure on near-face part of coal seam extracted by longwall face: *Bulletin of Scientific Center for Safety in Coal Industry, Scientific and technical journal*, Kemerovo, 2013, No. 1-1, pp. 16-23. (in Russ.)
8. Scott M., Mazumder S., Jiang J. Permeability Increase in Bowen Basin Coal as a Result of Matrix Shrinkage during Primary Depletion, *SPE International SPE 158152*, 2012, vol. 1, pp. 323–343.
9. Pan Z., Connell L. D., Modeling Permeability for Coal Reservoirs: A Review of Analytical Models and Testing Data, *Int. J. Coal Geol.*, 2012, 92, pp. 1–44.
10. Nazarova L. A., Nazarov L. A., Karchesvsky A. L., Vandamme M. Determining Kinetic Parameters of a Block Coal Bed Gas by Solving Inverse Problem Based on Data of Borehole Gas Measurements, *J. Min. Sci.*, 2015, vol. 51, no. 4, pp. 666–672.
11. Eremenko A. A., Seryakov V. M., Gakhova L. R. Geomechanical substantiation of the parameters and methods for creating a damping layer in the vicinity of a mine roadway to reduce rock pressure: *FTRPI*, 2014, No. 4, pp. 61–70. (in Russ.)
12. Pinkun Guo, Yuanping Cheng. Permeability Prediction in Deep Coal Seam: A Case Study on No. 3 Coal Seam of the Southern Qinshui Basin in China, *The Scientific World Journal*, 2013, vol. 2013.

13. Seidle J., Jeansonne M., Erickson D. Application of Matchstick Geometry to Stress Dependent Permeability in Coals, SPE Rocky Mountain Regional Meeting, Society of Petroleum Engineers, 1992.
14. Fedorov A. V., Fedorchenko I. A., Leont'ev I. V. Mathematical modeling of two problems of wave dynamics in heterogeneous media, Shock Waves Journ., 2006, Vol. 15, No. 8.
15. Oparin V. N., Tanaino A. S., Yushkin V. F. Discrete properties of entities of a geomedium and their canonical representation. Journal of Mining Science, 2007, No. 3.
16. Wang X., Pan Y., Zhang Z., A Spatial Strain Localization Mechanism of Zonal Disintegration through Numerical Simulation, J. Min. Sci., 2013, vol. 49, no. 3, pp. 357–367.
17. Reuter M. Waveform distribution of rock pressure along longwall face: Reuter, M., Kurfüst, V., Mayrhofer, K., Wexler, Ju.: FTPRPI, 2009, No. 2, p. 38-44.
18. Kozyreva E. N., Shinkevich M. V. Structuring rock mass in the conditions of extracting coal seam by longwalls: Industrial Safety and Geotechnics, Kuzbass. Collected papers "Education, science, innovation", 2014, No.1. (in Russ.)
19. Kozyreva E. N. Features of gas-geomechanical processes at a mine extraction district: Kozyreva, E.N., Shinkevich, M.V.: Bulletin of Scientific Center for Safety in Coal Industry, Kemerovo, 2010, No. 2, p. 28-35.
20. Leontyeva Ye, V. Evaluation of the possibilities of computer simulation of a geomechanical process in a hosting rock mass [Electronic resource]: Kemerovo. Innovative Convention. (in Russ.)
21. Zakharov V. N., Malinnikova O. N., Trofimov V. A., Filippov Yu. A. The dependence of coal seam permeability on gas content and effective stresses: Physical and technical issues of mining, 2016, No.2, pp. 16-26. (in Russ.)
22. Pak G. A., Drizhd N. A., Dolgonosov V. N. Method of main roof caving step calculation and forecast of gas release in the mines of Karaganda basin: Labor Safety in Industry, 2010, No. 10, pp. 31-34. (in Russ.)
23. Shpakov P. S., Pak G. A., Dolgonosov V. N. Interrelation of main roof caving steps and gas release intensity in Sokurskaya and Saranskaya mines of Karaganda basin: Mine surveying and subsoil use, 2009, No. 6, pp. 70-72. (in Russ.)
24. Instructions for safe extraction of dangerous (in coal-and-gas outburst) seams: Ministry of Energy and Coal Industry of Kazakhstan, 1995, 92 p. (in Russ.)
25. Rules for protection of structures and natural objects from harmful effects of underground coal mining: Moscow, Nedra Press, 1981, 288 p. (in Russ.)