

**Лань Тяньвэй, Чжан Хунвэй, Ли Шен, А.С. Батугин,
И.М. Батугина, Тан Гошуй, Хан Цзюнь, Сун Вэйхуа**

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ ДЛЯ ПРОГНОЗА ОПАСНОСТИ ВЫБРОСОВ УГЛЯ И ГАЗА НА УГОЛЬНОЙ ШАХТЕ ЦЗИСИ*

На основе изучения связи факторов, влияющих на опасность проявления выбросов угля и газа, разработана модель для их многофакторного регионального прогноза и установлен вероятностный критерий прогноза опасности. Анализ исходных данных с применением нейронной сети позволил выделить районы шахтного поля с высокой, средней и низкой опасностью выбросов угля и газа. Рассмотрено применение данного подхода на примере шахты Цзиси, опасной по выбросам угля и газа.

Ключевые слова: выброс угля и газа; региональный прогноз; метод многофакторного распознавания образов; опасный регион.

Анализ мест проявления внезапных выбросов угля и газа в Китае и других странах показывает, что участки проявления выбросов угля и газа имеют дискретное распределение, а опасные области занимают только 8–20% от общих площадей разработки [1]. Выброс угля и газа является результатом действия комплекса факторов, главными из которых являются тектонические напряжения, давление газа, физико-механические свойства угля, а также геомеханические процессы и др. [2–9]. На основе выяснения внутренней связи факторов, влияющих на проявление опасности выбросов угля и газа, предлагается критерий и модель многофакторного регионального прогноза выбросоопасности. На основе анализа пространственных данных разработана схема прогноза вероятности проявления опасности

внезапных выбросов угля и газа в элементарных сегментах шахтного поля, что позволяет районировать его на опасные и безопасные участки. Это существенно повышает качество прогноза и способствует безопасной отработке угольных пластов .

Принцип прогноза выбросов угля и газа методом распознавания образов

Для изучения возможности регионального прогноза выберем n влияющих факторов. Каждый фактор можно представить как один векторный элемент, поэтому n факторов составляют n -мерный вектор. Каждое сочетание из факторов является одним образом, для которого в n -мерном характерном пространстве имеется единственное место. Однородные образы находятся очень близко друг от

* Работа выполнена при поддержке: 1. Фонд естественных наук провинции Ляонин; 2. Фонд отдела народного образования провинции Ляонин (L2013140); 3. Национальный фонд естественных наук Китая (51274117); Национальный молодежный фонд естественных наук Китая (51304110), ФЦП «Проведение исследований по приоритетным направлениям развития науки, технологий и техники в Российской Федерации с участием научно-исследовательских организаций и/или университетов стран БРИКС в рамках двустороннего и многостороннего сотрудничества БРИКС», заявка 2015-14-585-0002-3601.

друга, неоднородные образы находятся более далеко друг от друга. Разница характеристик образов, находящихся более близко друг от друга, не большая. Необходимо разделить пространство каким-нибудь методом, чтобы однородные образы приблизительно находились в одном районе этого характерного пространства. На счет образов, которые будем классифицировать, можем отметить, что они принадлежат определенным группам в зависимости от того, в каком районе характерного пространства находятся их характерные векторы. Задача распознавания образов заключается в том, чтобы каким-нибудь методом разделить характерное пространство так, чтобы однородные образы находились в одном регионе [10].

На основе этих результатов выбирается район исследований и ограниченный прогнозный элемент. Метод многофакторного распознавания образов предполагает анализ внутренних связей влияющих факторов на опасность проявления выбросов угля и газа. Для исследований выбирается район проявления выбросов угля и газа и район, в котором выбросы не проявляются. Сопоставляя многофакторный составной образ района для прогноза с образом хорошо изученного района и применяя нейронную сеть и теорию нечетких множеств возможно определить вероятность опасности для каждого элементарного элемента, выделенного районе, предназначенном для прогноза. Имея

значения вероятности опасности проявления внезапных выбросов в каждом элементе и задавая пороговые значения для классификации можно выделить опасные, угрожаемые и безопасные участки.

Создание модели прогноза распознавания многофакторного образов

Механизмы выбросов угля и газа очень сложные и имеется много влияющих факторов. Имеются математические модели, в которых рассматриваются вопросы прогноза внезапных выбросов [11–13 и др.]. Для решения задачи распознавания необходимо иметь математическую модель, представленную на рис. 1. Комбинацию значений различных влияющих факторов можно представить как образ O :

$$O = \{f_1, f_2, \dots, f_n\} \quad (1)$$

где f_1, f_2, \dots, f_n – значения влияющих факторов.

При решении задачи распознавания опасности внезапных выбросов каждый нейрон в нейронной сети осуществляет преобразование входных сигналов в выходной сигнал и связан с другими нейронами. Изначально сети даются эталонные образы – такие образы, принадлежность которых к определенному классу известна. Затем на вход сети подается некоторый неизвестный образ, и сеть пытается по определенному алгоритму соотнести его с каким-либо эталонным образом, рис. 1.

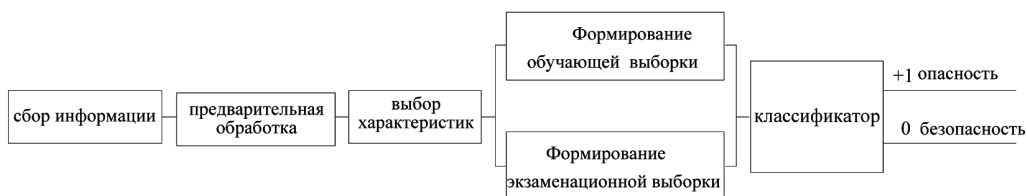


Рис. 1. Базовая структура нейронной сети

Региональный прогноз выбро-соопасности на основе метода распознавания образов

На месторождении Цзисин под влиянием поля тектонических напряжений сформировалась сложная тектоническая структура. Имеются складки, разломы и выходы магматических пород различных геологических периодов. Большое развитие имеют малые и средние разрывные структуры. Шахта Цзисин является одной из наиболее выбросоопасных шахт Китая. Здесь с 25-го ноября 1950 г., когда произо-

шел первый выброс угля и газа, по настоящее время зафиксировано более 800 выбросов с максимальным количеством выброшенной угольной массы до 800 т и объема газа 6×10^4 м³.

При выполнении геодинамического районирования шахтного поля Цзиси возникло предположение, что выделяемые границы блоков V ранга могут оказывать комплексное воздействие как на физико-механические свойства угля и пород, так и на характер протекания геомеханических процессов. Как показали исследования, фактор

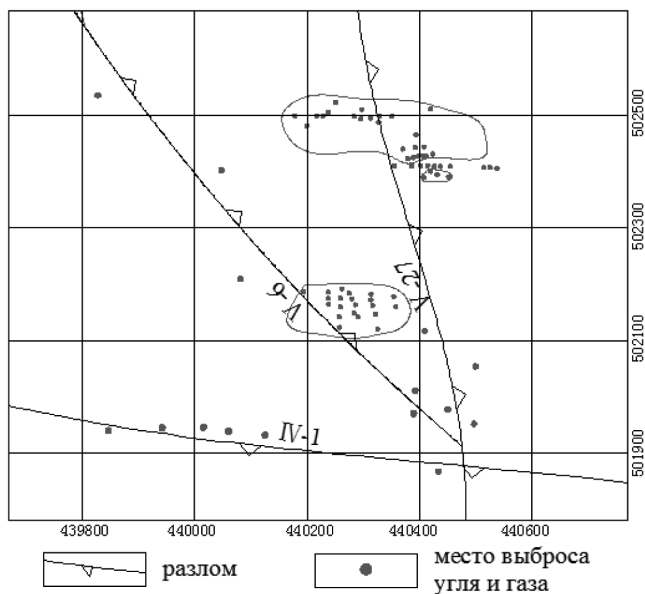


Рис. 2. Схема расположения границ блоков и мест внезапных выбросов разломы и выбросов угля и газа на шахте Цзисин

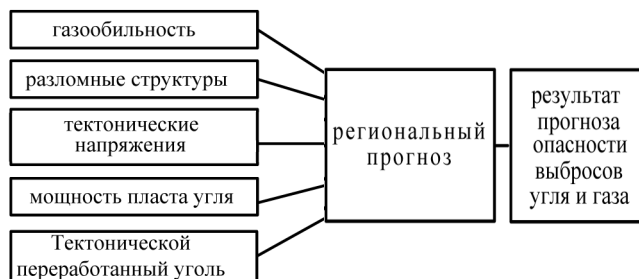


Рис. 3. Модель прогноза опасности выбросов угля и газа на шахте Цзисин

удаленности от границы блоков действительно оказался одним из важных и информативных для распознавания. На рис. 2 представлен фрагмент шахтного поля с границами блоков и местами проявления внезапных выбросов. Как видно из рис. 2, наблюдается приуроченность мест проявления внезапных выбросов к границам блоков.

Кроме близости к границам блоков на шахте Цзисин основными факторами, влияющими на опасность проявления внезапных выбросов являются газоносность, наличие тектонических нарушений, тектонические напряжения, мощность пласта угля, наличие тектонически перемятого угля. Значения влияющих факторов учитываются в процессе распознавания опасности проявления внезапных выбросов в каждой ячейке шахтного поля размером 100×100 м, которых выделено всего 3179 единиц (рис. 3 и 4).

Для прогноза был выбран перспективный для освоения район шахтного

поля. В результате расчетов по распознаванию образов были получены величины вероятности опасности выбросов для каждой ячейки, что представлено на рис. 4.

К опасному району отнесены области, заполненные ячейками с вероятностью проявления выбросов угля и газа. К районам среднего уровня опасности отнесены области со значениями вероятности проявления выбросов угля и газа в диапазоне . К неопасному району отнесены области с вероятностью проявления выбросов угля и газа менее 0,31. По величинам вероятности опасности выбросов получена цветная схема, которая наглядно отражает результаты прогноза, (рис. 5). Распределение количества ячеек с различной вероятностью опасности проявления выбросов угля и газа по шахтному полю представлено на рис. 6.

Выводы

1) На основе выяснения внутренней связи факторов, влияющих на опасность проявления выбросов угля и газа, разработана модель регионального прогноза вероятности проявления выбросов на шахтном поле.

2) На угольной шахте Цзисин одним из основных факторов, влияющих на опасность проявления внезапных выбросов угля и газа является удаленность от геодинамически опасной зоны V ранга (границы блоков, выделенных при геодина-

0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33
0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.31	0.31	0.31	0.33	0.33	0.33	0.33
0.23	0.23	0.23	0.23	0.33	0.31	0.31	0.31	0.31	0.33	0.33	0.33
0.23	0.23	0.33	0.33	0.33	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31	0.31
0.23	0.33	0.33	0.33	0.33	0.33	0.38	0.38	0.44	0.45	0.51	0.63
0.23	0.33	0.33	0.33	0.33	0.40	0.38	0.38	0.62	0.65	0.62	0.63
0.23	0.23	0.33	0.40	0.40	0.40	0.38	0.62	0.64	0.66	0.68	0.67
0.23	0.23	0.40	0.40	0.41	0.40	0.40	0.63	0.66	0.67	0.67	0.68
0.23	0.30	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.65	0.65	0.64	0.66	0.68

Рис. 4. Прогноз вероятности опасности выбросов угля и газа на шахте Цзисин по элементам матрицы

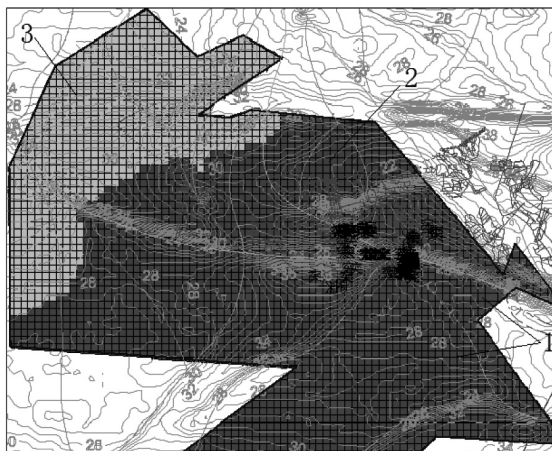


Рис. 5. Прогноз опасности выбросов угля и газа на шахте Цзисин: 1 – опасный участок; 2 – участок среднего уровня опасности; 3 – безопасный участок

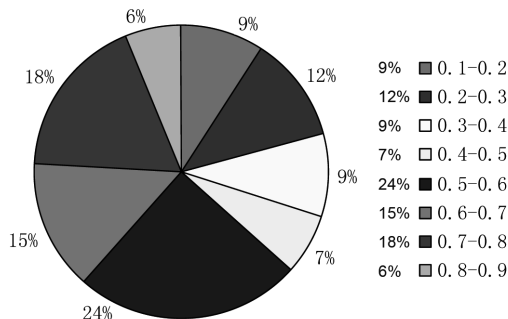


Рис. 6. Распределение элементов матрицы шахтного поля Цзисин с различными значениями вероятности проявления выбросов угля и газа

мическом районировании). Установлен вероятностный критерий разделения шахтного поля по степени опасности на опасные, средней опасности и неопасные районы при использовании для прогноза метода распознавания образов.

3) Полученная карта регионального прогноза выбросов угля и газа позволяет осуществлять прогноз опасности при планировании горных работ и применять профилактические мероприятия для обеспечения условий безопасной добычи угля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yu Bufan. Handbook of Mine Gas Disaster Prevention and Utilize Technology [M]. Beijing: China Coal Industry Press, 2000.

2. Субботин А.И., Чигрин В.Д., Шмелев В.А. Петухов И.М. и др. Инструкция по безопасному ведению горных работ на пластах, опасных по внезапным выбросам угля (породы) и газа.

3. Барановский В.И. Влияние природных факторов на выбор способов разработки угольных пластов на глубоких горизонтах. – М.: Госгортехиздат, 1963. – 177 с.

4. Петухов И.М., Линьков А.М. К теории внезапных выбросов угля и газа / Тезисы докладов к VI Всесоюзному научно-техническому совещанию «Борьба с внезапными выбросами угля и газа». – Л.: изд. ВНИМИ, 1972. – С. 27–30.

5. Зыков В.С., Непомнишев И.Л. Геодинамическое зонирование участков угольных пластов // Маркшейдерский вестник. – 2013. – № 4.

6. Игнатов Ю.М. Совместное использование горно-геометрических данных и цифрового маркшейдерского плана в геоинформационной системе для поиска опасных зон // Вестник КузГТУ. – 2010. – № 1. – С. 139–143.

7. Шабаров А.Н. Геологическое обеспечение горных работ в геодинамически опасных зонах // Горный информационно-

аналитический бюллетень. – 2004. – № 5. – С. 181–188.

8. Мустафин М.Г. Формирование техногенных выбросоопасных зон в угольных пластах // Записки Горного института. – Т. 204. – С. 62–65.

9. Сластунов С.В. Каркашадзе Г.Г., Коликов К.С., Ермак Г.П. Аналитическая методика расчета допустимой нагрузки на очистной забой по газовому фактору // ФТПРПИ. – 2013. – № 6.

10. Загоруйко Н.Г. Методы распознавания образов: состояние и перспективы. – М.: Сов. Радио, 1972. – 120 с.

11. Li, Sheng; Zhang, Hongwei. Coal and gas outburst model recognition and regional prediction Proceedings in Mining Science and Safety Technology, 2002, p 331–334.

12. Zhang Hong-wei, Han Jun, Song Weihua, et al. Coal and gas outburst mechanism and risk analysis of tectonic concave [J]. Journal of China Coal Society, 2011, 36(S1): 108–113.

13. Каркашадзе Г.Г., Дулий М.Г. Современные возможности прогноза газообильности очистного забоя на основе компьютерного моделирования физических процессов массопереноса метана и геомеханического состояния углепородного массива // Горный информационно-аналитический бюллетень. ОВ 1. Труды международного научного симпозиума «Неделя Горняка 2015». – 2015. – С. 76–85. **ПИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Лань Тяньвэй^{1,2} – доктор, преподаватель, e-mail: ltw821219@163.com,

Чжан Хунвэй¹ – доктор, профессор,

Ли Шен¹ – доктор, профессор,

Тан Гошуй¹ – аспирант, доцент,

Хан Цзюнь¹,

Сун Вэйхуа¹,

Батугин Андриан Сергеевич² – доктор технических наук,

директор Центра геодинамики недр,

Батугина Ирина Михайловна² – доктор технических наук, научный руководитель,

¹ Ляонинский инженерно-технический университет, Институт горного дела КНР,

² МГИ НИТУ «МИСиС», Центр геодинамики недр.

STUDY ON COAL AND GAS OUTBURST REGIONAL PREDICTION BY PATTERN RECOGNITION

Lan Tianwei^{1,2}, Doctor, Lecturer, e-mail: ltw821219@163.com,

Zhang Hongwei¹, Doctor, Professor,

Li Sheng¹, Doctor, Professor,

Tang Guoshui¹, Graduate Student, Assistant Professor,

Han Jun¹,

Song Weihua¹,

Batugin A.C.², Doctor of Technical Sciences, Director,

Batugina I.M.², Doctor of Technical Sciences,

¹ School of Mines, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China,

² Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS», Center of Geodynamics of the Earth's Interior, 119049, Moscow, Russia.

Multi factor pattern recognition model has been built, and probability prediction criterion for coal and gas outburst has been identified after finding out the relationship between influence factors and danger of coal and gas outburst. Multi factor pattern recognition method is based on the result of geo-dynamic division and spatial data management, combining with neural network and fuzzy reasoning method, which is used to divide the danger area, the threatened area and safety area. According to this method, coal and gas outburst danger can be estimated, and gas disaster forecast accuracy has been improved.

Key words: coal and gas outburst, regional forecast, multi factor pattern recognition, outburst danger area.

ACKNOWLEDGEMENTS

The study was supported by the Natural Science Fund in Liaoning Province, Fund of Liaoning Provincial Education Department (L2013140); National Natural Science Foundation in China (51274117); Young Scientists Fund of the National Natural Science Foundation in China (51304110), Federal Targeted Program on Research in Priority Areas of Development of Science, Technology and Equipment in Russian Federation Jointly with Scientific Organizations and/or Universities from BRICS Countries in the Framework of Multilateral and Bilateral Collaboration within BRICS, Application No. 2015-14-585-0002-3601.

REFERENCES

1. Yu Bufan. *Handbook of Mine Gas Disaster Prevention and Utilize Technology* [M]. Beijing: China Coal Industry Press, 2000.
2. Subbotin A.I., Chigrin V.D., Shmelev V.A., Petukhov I.M. *Instruktsiya po bezopasnomu vedeniyu gornykh rabot na plastakh, opasnykh po vnezapnym vybrosam uglja (porody) i gaza* (Guidelines on safe mining in coal and gas outburst hazardous beds).
3. Baranovskiy V.I. *Vliyaniye prirodnykh faktorov na vybor sposobov razrabotki ugl'nykh plastov na glubokikh gorizontakh* (Effect of natural factors on the choice of deep level coal mining methods), Moscow, Gosgortekhzdat, 1963, 177 p.
4. Petukhov I.M., Lin'kov A.M. *Tezisy dokladov k VI Vsesoyuznomu nauchno-tekhnicheskomu soveshchaniyu «Bor'ba s vnezapnymi vybrosami uglja i gaza»* (VI All-Union Scientific-Technical Conference on Combating Coal and Gas Outbursts: Head-notes), Leningrad, izd. VNIMI, 1972, pp. 27–30.
5. Zykov V.S., Nepomnishchev I.L. *Marksheyderskiy vestnik*. 2013, no 4.
6. Ignatov Yu.M. *Vestnik KuzGTU*. 2010, no 1, pp. 139–143.
7. Shabarov A.N. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2004, no 5, pp. 181–188.
8. Mustafin M.G. *Zapiski Gornogo instituta*. vol. 204, pp. 62–65.
9. Slastunov S.V., Karkashadze G.G., Kolikov K.S., Ermak G.P. *Fiziko-tekhnicheskiye problemy razrabotki poleznykh iskopayemykh*. 2013, no 6.
10. Zagoruyko N.G. *Metody raspoznavaniya obrazov: sostoyaniye i perspektivy* (Methods of image identification: Current states and prospects), Moscow, Sov. Radio, 1972, 120 p.
11. Li, Sheng; Zhang, Hongwei. *Coal and gas outburst model recognition and regional prediction Proceedings in Mining Science and Safety Technology*, 2002, p 331–334.
12. Zhang Hong-wei, Han Jun, Song Wei-hua, et al. Coal and gas outburst mechanism and risk analysis of tectonic concave [J]. *Journal of China Coal Society*, 2011, 36(S1): 108–113.
13. Karkashadze G.G., Lupiy M.G. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. Special issue 1. *Trudy mezhdunarodnogo nauchnogo simpoziuma «Nedelya Gornyaka 2015»*. 2015, pp. 76–85.