

**Лань Тяньвэй, Чжан Хунвэй, А.С. Батугин, И.М. Батугина,
Юй Лицзян, Ли Шен, Жун Хай, Тан Гошуй**

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ ДЛЯ ПРОГНОЗА ОПАСНОСТИ ГОРНЫХ УДАРОВ НА УГОЛЬНОЙ ШАХТЕ ЮЭЦЗИНЬ*

На основе изучения внутренней связи факторов, влияющих на опасность проявления горных ударов разработана модель для их многофакторного регионального прогноза и установлен вероятностный критерий прогноза опасности. Анализ исходных данных с применением нейронной сети и элементов теории нечетких множеств позволил провести геодинамическое районирование шахтного поля с пространственным выделением участков высокой, средней и низкой опасности. Такой подход повышает качество прогноза опасности проявления горных ударов.

Ключевые слова: горный удар, региональный прогноз, метод распознавания образов, нейронной сети по математике, опасный регион.

При прогнозе горных ударов различают установление удароопасности месторождения в целом, региональный прогноз удароопасности в пределах шахтного поля, прогноз степени опасности отдельных участков горного массива.

Методы отнесения месторождения к угрожаемому или опасному по горным ударам хорошо разработаны [1]. Также хорошо развиты методы прогноза отдельных участков массива вблизи горных выработок.

Большое значение придается региональному прогнозу удароопасности, поскольку это позволяет своевременно предусматривать меры борьбы с горными ударами на стадиях проектирования и строительства шахт и рудников, что способствует повышению безопасности горных работ и их экономической эффективности. Так, статистический анализ мест проявления горных ударов на шахтах Китая и других стран мира показывает, что они

имеют региональное распределение, а опасные области занимают только 20–25% площадей отработки [2]. Заблаговременно опасные зоны на месторождении могут быть выделены методом геодинамического районирования на основе расчетов напряженного состояния массива с учетом его блочного строения [3], но при этом возможно учесть только ограниченное количество влияющих факторов и получать в основном качественные оценки (опасно-неопасно). Поэтому разработка методов заблаговременного прогноза расположения опасных областей на шахтном поле не теряет своей актуальности [4–6].

Современные возможности позволяют использовать при многофакторном распознавании опасных мест проявления горных ударов нейронные сети, что позволяет получать вероятностные оценки опасности и уже их использовать для районирования шахтного поля.

* Тема фонда: Открытый исследовательский фонд лаборатории изучения и профилактики теплодинамики (JSK200212) министерства просвещения КНР; Фонд Ляонинского провинциального отдела народного образования (L2013140) ; Фонд национальных естественных наук (51274117).

Принцип прогноза горных ударов методом распознавания образов

Горные удары на угольных шахтах признаются основным осложняющим фактором при угледобыче в Китае, особенно на больших глубинах. Механизм горных ударов очень сложен и существует много факторов, влияющих на удароопасность, среди которых главную роль играет глубина разработки, напряженное состояние массива, способность пород накапливать упругую энергию, газообильность, геологическая структура массива и др. [1, 7–10].

В исследовании по распознаванию опасных мест проявления горных ударов в качестве объекта выберем элементарную площадь шахтного поля [10]. Тогда на уже отработанных частях шахтного поля будем иметь элементарные площади (объекты), на которых была отмечена опасность горных ударов и где такой опасности отмечено не было [11]. Каждый объект может быть охарактеризован набором из n признаков, качественных и количественных характеристик, влияющих на опасность проявления горных ударов. Тогда каждую элементарную площадь шахтного поля можно представить как векторный элемент в n -мерном пространстве. Сочетание одинаковых близких по характеристикам объектов образует в n -мерном пространстве один образ. Однородные образы находятся ближе

друг к другу, неоднородные образы находятся далеко друг от друга. Задача распознавания состоит в том, чтобы на основе изучения характерных признаков относить новые объекты (новые площади шахтного поля) к тому или иному классу (образу) с определенной долей вероятности [12–13].

Модель распознавания образов для прогноза горных ударов

Математическая модель нейрона

В области компьютерной имитации человеческой мысли и распознавания образов используют так называемые нейронные сети. Простые вычислительные элементы, каждый из которых имитирует поведение отдельной клетки человеческого мозга называют нейронами, а модель обработки информации называют нейронной сетью. Основные задачи, которые ставятся перед нейронными сетями, заключаются в том, чтобы классифицировать входной образ, то есть отнести его к какому-либо известному сети классу. Математические модели могут быть построены на базе простой концепции строения нейрона. Так называемая суммирующая функция объединяет все входные сигналы X_i , которые поступают от нейронов-отправителей. Значением такого объединения является взвешенная сумма, где веса W_i представляют собой синоптические мощности. Возбуждающие синапсы имеют положительные

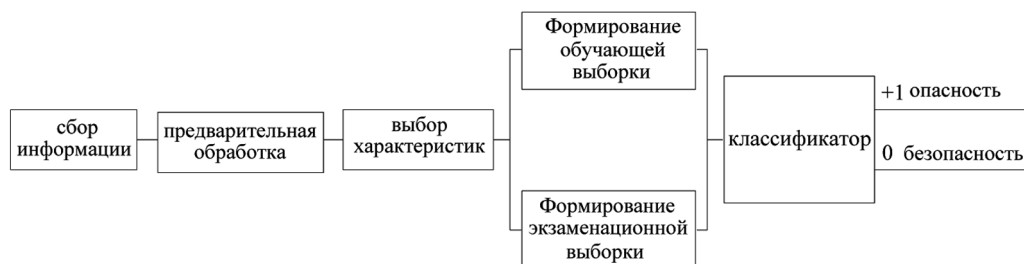


Рис. 1. Базовая структура нейронной сети

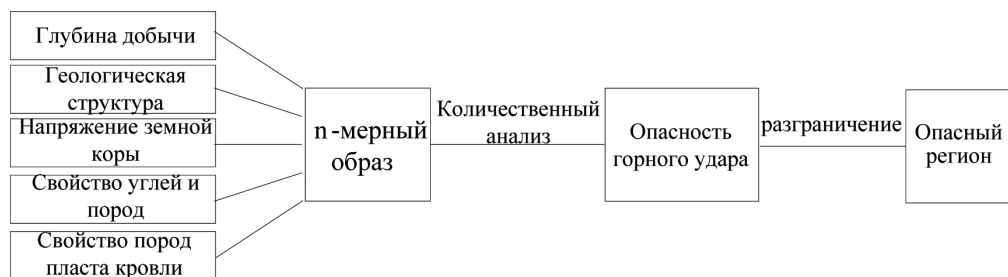


Рис. 2. Модель прогноза опасности горных ударов на шахте Юэ Цзинь

веса, а тормозящие синапсы – отрицательные веса.

Для решения задачи распознавания опасности горных ударов необходима математическая модель, в которой 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.

Анализ проявления горных ударов на угольной шахте Юэ Цзинь

На шахте Юэ Цзинь при добыче угля на глубинах 800–1000 м, было выявлено несколько удароопасных зон, в которых часто происходили горные удары. Одним из удароопасных мест был район добычи № 25, находящийся на глубине 850 м. С 14 декабря 2006 по 1 марта 2011 гг. в этом районе произошли четырнадцать горных ударов. В забое № 25110 произошло шесть горных ударов и в забое № 25090 произошло восемь. Магнитуды горных ударов составляли $M_L = 0,5 \sim 3,0$.

На шахте Юэ Цзинь основными факторами, влияющими на проявление

горных ударов, являются глубина добычи, тектонические нарушения (разрывы и складки), физико-механические свойства угля и пород кровли, напряженное состояние массива. Эти признаки учитывались при составлении n -мерных образов опасных и неопасных участков, с которыми сопоставлялись планируемые к отработке участки шаштного поля. На рис. 2 схематически показана модель прогноза опасности горных ударов на шахте Юэ Цзинь.

Разграничение опасности горных ударов на шахте Юэ Цзинь

Размер единичной ячейки в модели прогноза опасности горных ударов выбран 50 м × 50 м, в результате чего поле шахты оказалось поделено на 9506 единиц (объектов). К опасному району отнесены области, заполненные ячейками с вероятностью k проявления горного удара $0,66 \leq k < 1,0$. К районам среднего уровня опасности отнесены области со значениями вероятности проявления горных ударов в диапазоне $0 \leq k < 0,43$. К неопасному району отнесены области с вероятностью проявления горных ударов менее 0,43. Площадь опасного района по проявлению горных ударов составила 29% от общей площади шахтного поля, площадь района со средним уровнем опасности составила соответственно 35% и площадь неопасного района составила 36%, рис. 3 и 4.

Для опасных районов рекомендуется заблаговременное применение региональных профилактических мероприятий и планирование применения локальных профилактических мероприятий. Здесь необходим усиленный контроль за определением степени опасности горных ударов во время ведения горных работ.

Для района среднего уровня опасности ($0,43 \leq k < 0,66$) необходимо применять ограниченные профилактические мероприятия, но в то же время контролировать достигаемый эффект.

В неопасных районах по горным ударам горные работы можно вести без профилактических мероприятий, но осуществлять контроль опасности.

Внедрение данного прогноза опасности горных ударов на шахте Юэ Цзинь позволило повысить уровень

безопасности работ в шахте и обеспечить бесперебойную добычу угля.

Выводы

(1) Использование метода распознавания образов повышает уровень прогноза горных ударов. На основе



Рис. 3. Прогноз опасности горных ударов на шахте Юэ Цзинь: 1 – опасный регион, 2 – регион среднего условия опасности, 3 – безопасный регион

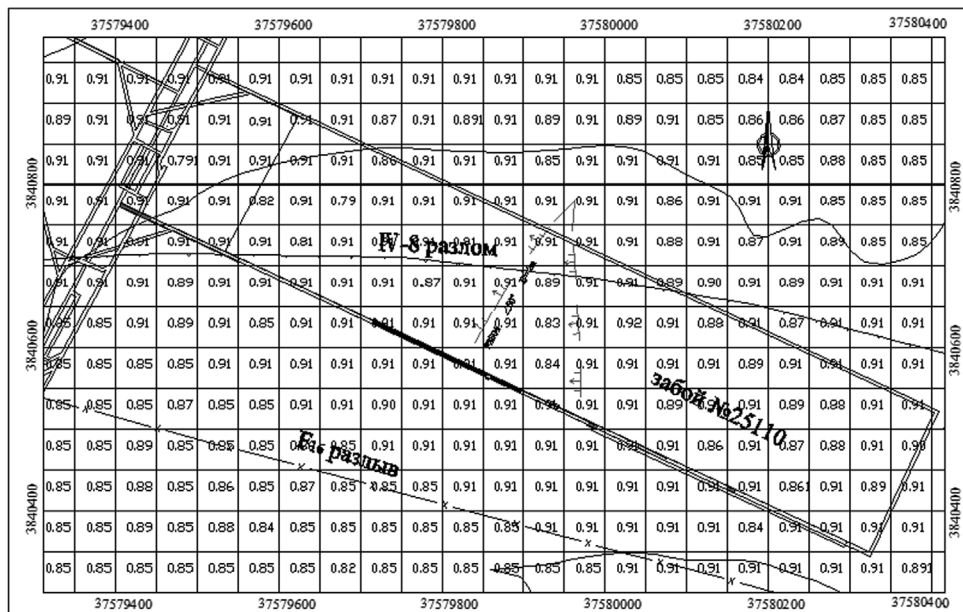


Рис. 4. Схема прогноза опасности горных ударов в лаве № 25110

выяснения внутренней связи факторов, влияющих на опасность проявления горных ударов, разработана модель многофакторного регионального прогноза удароопасности, установлен вероятностный критерий разделения шахтного поля по степени опасности на опасные, средней опасности и неопасные районы.

Площадь опасной зоны на поле шахты Юэ Цзинь занимает 29% от

всей площади шахтного поля, площадь зоны среднего уровня опасности занимает 35% от всей площади шахтного поля, площадь безопасной зоны занимает соответственно 36% всей площади шахтного поля. Полученная карта позволяет осуществлять прогноз опасности при планировании горных работ и применять профилактические мероприятия для обеспечения условий безопасной добычи угля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по безопасному ведению горных работ на рудных и нерудных месторождениях, склонных к горным ударам. – Л.: ВНИМИ, 1989. – 59 с.
2. Qi Qing-xin, Dou Lin-ming. Rockburst theory and technology [M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2007: 1–15.
3. Петухов И.М., Батугина И.М. Геодинамика недр. – М.: Недра, 1996.
4. Зыков В.С., Непомнишев И.П. Геодинамическое зонирование участков угольных пластов // Маркшейдерский вестник. – 2013. – № 4.
5. 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.
6. Шабаров А.Н. Геологическое обеспечение горных работ в геодинамически опасных зонах // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2004. – № 5. – С. 181–188.
7. Петухов И.М. Горные удары в угольных шахтах. – М.: Недра, 1972, 2004; Китай, 1980.
8. 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.
9. Мустафин М.Г., Петухов И.М. Об основных факторах, обуславливающих возникновение горных ударов с разрушением почвы выработок // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2002. – № 11. – С. 17–22.
10. 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.
11. Загоруйко Н.Г. Методы распознавания образов: состояние и перспективы. – М.: Сов. Радио, 1972. – 120 с.
12. Ковалевский В.А. Методы распознавания изображений. – М., 1975. – 380 с.
13. Li Sheng, Zhang Hongwei. Coal and gas outburst model recognition and regional prediction Proceedings in Mining Science and Safety Technology, 2002, p 331–334. **ГИАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Лань Тяньвэй^{1,2,3} – доктор, преподаватель, e-mail: ltw821219@163.com,

Чжан Хунвэй¹ – доктор, профессор,

Ли Шен¹ – доктор, профессор,

Жун Хай¹ – аспирант,

Тан Гошуй¹ – аспирант, доцент,

Батугина Ирина Михайловна³ – доктор технических наук, научный руководитель,

Юй Лицзян³ – аспирант,

Батугин Андриан Сергеевич – доктор технических наук, профессор, e-mail: as-bat@mail.ru,

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

² Ляонинский технический университет, Лаборатория министерства образования по исследованию и профилактике термодинамических явлений, КНР,

³ МГИ НИТУ «МИСиС», Центр геодинамики недр.

MULTI-FACTOR PATTERN RECOGNITION METHOD FOR PREDICTING ROCK BURST RISK OF YUEJIN COAL MINE

Lan Tianwei^{1,2,3}, Doctor, Lecturer, e-mail: ltw821219@163.com,

Zhang Hongwei¹, Doctor, Professor,

Li Sheng¹, Doctor, Professor,

Rong Hai¹, Graduate Student,

Tang Guoshui¹, Graduate Student, Assistant Professor,

Batugina I.M.³, Doctor of Technical Sciences, Scientific Supervisor,

Yu Lijiang³, Graduate Student,

Batugin A.S.³, Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: as-bat@mail.ru,

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

² Key Laboratory of Mine Thermo-motive Disaster and Prevention, Ministry of Education of Liaoning Technical University, fuxin 123000, China,

³ Center of Geodynamics of the Earth's Interior, Mining Institute,

National University of Science and Technology «MISiS», 119049, Moscow, Russia.

On the basis of making sure the relationship between influence factors and danger of rockburst, a multi-factor pattern recognition model has been built, and then the probability prediction criterion for rockburst has been identified. Multi-factor pattern recognition method is based on the result of geo-dynamic division and spatial data management. neural network and fuzzy reasoning method were combined to divide the danger area, threatened area and safety area of rockburst. Rockburst danger can be estimated by this method, and rockburst disaster forecast accuracy is improved.

Key words: rockburst, regional forecast, multi-factor pattern recognition, neural network, outburst danger area.

ACKNOWLEDGEMENTS

Support: Key Laboratory of Mine Thermo-Motive Disaster and Prevention, Ministry of Education (JSK200212), Project of Education Department of Liaoning Province (L2013140) and the National Natural Science Funds Projects (51274117).

REFERENCES

1. *Instruktsiya po bezopasnomu vedeniyu gornykh rabot na rudnykh i nerudnykh mestorozhdeniyakh, sklonnykh k gornym udaram* (Guidelines on safe mining of rockburst-hazardous metalliferous and nonmetallic deposits), Leningrad, VNIMI, 1989, 59 p.
2. Qi Qing-xin, Dou Lin-ming. *Rockburst theory and technology* [M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology, 2007: 1–15.
3. Petukhov I.M., Batugina I.M. *Geodinamika nedr* (Geodynamics of Earth's bowels), Moscow, Nedra, 1996.
4. Zykov V.S., Nepomnishchev I.L. *Marksheiderskii vestnik*. 2013, no 4.
5. Ignatov Yu.M. *Vestnik KuzGTU*. 2010, no 1, pp. 139–143.
6. Shabarov A.N. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2004, no 5, pp. 181–188.
7. Petukhov I.M. *Gornye udary v ugol'nykh shakhtakh* (Горные удары в угольных шахтах), Moscow, Nedra, 1972, 2004: China, 1980.
8. 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.
9. Mustafin M.G., Petukhov I.M. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 2002, no 11, pp. 17–22.
10. 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.
11. Zagoruiko N.G. *Metody raspoznavaniya obrazov:sostoyanie i perspektivy* (Image identification techniques: State-of-the-art and prospects), Moscow, Sov. Radio, 1972, 120 p.
12. Kovalevskii V.A. *Metody raspoznavaniya izobrazhenii* (Image identification methods), Moscow, 1975, 380 p.
13. Li Sheng, Zhang Hongwei. Coal and gas outburst model recognition and regional prediction. *Proceedings in Mining Science and Safety Technology*, 2002, p 331–334.

