

Е.И. Журавлев

КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ РАЗНОРОДНЫХ ДАННЫХ О СОСТОЯНИИ УГЛЕПОРОДНОГО МАССИВА, ПАРАМЕТРОВ АЭРОГАЗОВОГО КОНТРОЛЯ И РАБОТЫ КОМБАЙНА ДЛЯ РАСЧЕТА ПРОГНОЗА ГЕО- И ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В АНАЛИТИЧЕСКОЙ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ ШАХТЫ

Описана структура и этапы работы геоинформационной системы горного предприятия, которые сочетают в себе различного рода информацию о напряженно деформированном состоянии массива горных пород, данных аэрогазового контроля и работе очистных комплексов. Оперативный учет и анализ всей этой информации позволяет произвести прогноз возникновения геодинамических явлений на шахтах, а также заблаговременно выработать меры по обеспечению безопасности труда.

Ключевые слова: поддержка принятия решений, геоинформационная система, методы экстраполяции, нейросетевые технологии, опасность, геодинамическое явление.

Рост интенсивности горных работ и увеличение глубины отработки полезных ископаемых обуславливают активизацию геодинамических процессов и возникновение в связи с этим мощных геодинамических явлений. При этом на относительно малых глубинах геодинамические явления происходят в зонах влияния геологических нарушений.

Внезапный характер геодинамических процессов обуславливает сложность прогноза геодинамических явлений. Для повышения точности прогноза при его расчете необходимо учитывать множество разнородной информации о напряженно-деформированном состоянии массива горных пород, данные аэрогазового контроля и параметров комбайна [5–15].

Таблица 1

Этапы сбора данных

№ этапа	Наименование этапа
Этап 1	Получение данных мониторинга состояния массива горных пород, технических средств АГК и информации о состоянии комбайна
Этап 2	Формирование баз данных: первичной информации мониторинга массива горных пород, аэрогазового контроля и состояния комбайна
Этап 3	Обработка первичных данных мониторинга углепородного массива, ведения базы данных анализа напряженно-деформированного состояния массива горных пород с учетом данных АГК и состояния комбайна
Этап 4	Вычисление прогноза НДС массива горных пород, формирование отчетности по статистике и прогнозу ГДЯ

Общая схема этапов получения информации для расчета прогноза возникновения геодинамических явлений приведена в табл. 1.

Первый этап включает в себя процесс получения данных от технических устройств мониторинга состояния массива горных пород. К таким видам устройств относятся: сейсмические датчики, информация с которых показывает состояние угольного пласта в целом; сейсмоакустические датчики, которые осуществляют наблюдение за состоянием призабойного пространства лавы; информация с тензометрических датчиков показывает величину изменения деформаций, происходящих в углепородном массиве, а данные терморadiационных датчиков дают возможность измерять постоянные потоки оптического излучения сплошного спектра.

Каждый датчик-зонд записывает данные получаемые по трем перпендикулярным друг другу плоскостям, что позволяет производить мониторинг состояния в трехмерном пространстве. Комплексный анализ информации полученной с различных типов данных позволяет с большой долей уверенности идентифицировать различные геодинамические события.

На втором этапе информация, полученная с технических устройств, записывается в хранилища первичных данных. Такие данные с сейсмических и сейсмоакустических датчиков поступает со скоростью четыре тысячи измерений в секунду. Для обеспечения сбора, хранения, последующей обработки и визуального представления такого количества архивных данных используется промышленная база данных Proficy Historian компании GE. Архитектура такой базы данных состоит из четырех частей: сбор данных, ведение архива, управление потоками данных и анализ информации.

Информация, полученная с каждого датчика, хранится в базе данных в

трех тегах, каждый из которых соответствует направлению координатной плоскости. Знание местоположения конкретного датчика и информации о зарегистрированных им событиях позволяет произвести локацию эпицентра события в пространстве, а также оценить степень опасности влияния этого явления на подземные сооружения шахты и на планы ведения горных работ.

Система наблюдения позволяет в режиме реального времени отобразить получаемые данные по конкретному датчику или группе датчиков (лава, проходка и т.д.), что дает возможность убедиться в исправности всех датчиков системы. Для уточнения момента времени сбоя оборудования есть возможность отображения архивных данных за различные интервалы времени при изменяемом масштабе величины сигнала.

Для учета информации с технических средств аэрогазового контроля используется специализированная база данных АГК, которая позволяет хранить данные рудничной атмосферы, такие как: концентрация газов, скорость движения воздуха, температура, давление и влажность. Анализ таких данных позволяет разрабатывать комплексные общешахтные мероприятия по технике безопасности. Знание этих параметров дает возможность принимать своевременные меры по обеспечению безопасности труда путем нормализации параметров рудничной атмосферы с помощью расчета оптимального количества воздуха, подаваемого в горные выработки.

Получение данных о состоянии очистного комбайна важно для точности расчета прогноза геодинамических явлений. Информация с технических средств очистного комбайна собирается в специальную базу данных параметров комбайна и содержит в себе данные о скорости и направле-

нии движения комбайна, а также за- действованные его мощности в еже- сундном интервале измерения.

На третьем этапе производится анализ первичной информации, объ- единение знаний, полученных с раз- личных подсистем, и формирование комплексной оценки состояния мас- сива горных пород.

В ходе анализа первичной инфор- мации, поступающей с датчиков, с по- мощью использования специальных фильтров, основанных на знаниях геологических и геофизических ха- рактеристик полезного ископаемого конкретного производственного объ- екта и последующих математических преобразований, выявляются данные, свидетельствующие об обнаружение динамических (сейсмических) очагов критических деформаций и квазиста- тического движения в массиве горных пород (оседание пород, формирова- ние мульды сдвижения и т.д.), они за- нсятся в общую базу данных выявлен- ных событий.

При сопоставлении информации о напряженно-деформированном со- стоянии углепородного массива, дан- ных системы аэрогазового контроля и параметров работы комбайна произ- водится оценка типа природы и сте- пени опасности геодинамического яв- ления. Скорость нарастания опасно- сти зависит от комплексного влияния факторов производственного процес- са при добыче полезного ископаемо- го и состояния массива горных пород.

После этого с учетом закономерно- стей, выявленных при анализе архив- ных данных, и с учетом текущего со- стояния объекта наблюдения по спе- циальным алгоритмам производится расчет прогноза опасности возникно- вения геодинамических явлений. Фак- торы, влияющие на оценку степени опасности возникновения геодинами- ческих явлений, приведены в табл. 2.

Далее на этапе прогноза получае- ся функция состояния S , результат ко- торой зависит от величин параметров входящих в нее, т.е. $S = f(F_1, F_2, \dots, F_n)$, где F_i – влияние i -го фактора на функ- цию состояния, n – количество фак- торов [2].

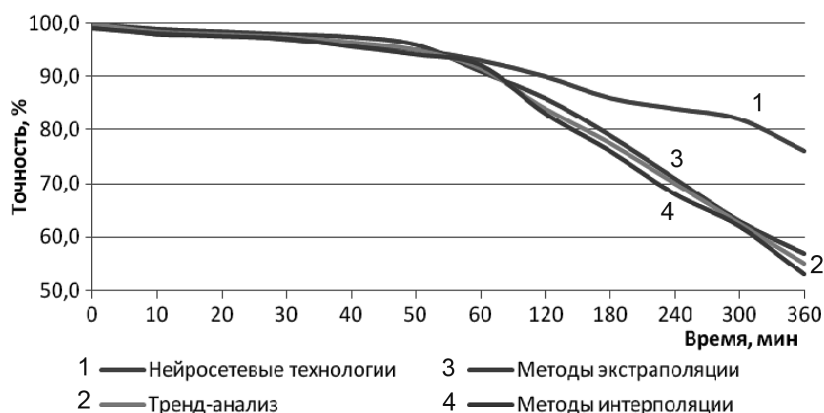
Так как геодинамические явления, протекающие в массиве горных пород, относятся к категории быстропроте- кающих процессов, то актуальность прогноза геодинамических явлений, сформированного на длительный про- межуток времени, имеет тем меньшую достоверность, чем больше интервал прогнозирования. На рисунке при- веден график зависимости точности прогноза геодинамических процессов различными технологиями прогнози- рования от величины горизонта прог- нозирования.

Из полученных результатов регрес- сионного анализа видно, что наи- больший коэффициент детерминации среди фактографических методов имеют методы экстраполяции. Следо- вательно, эта регрессия является наи- лучшей функцией. При использовании

Таблица 2

Факторы, влияющие на оценку опасности при работах на шахтах

№	Наименование фактора	Степень влияния
1	Количество активностей	Высокая
2	Величина энергий	Высокая
3	Работа комбайна	Низкая
4	Концентрация метана	Средняя
5	Расстояние от эпицентра до выработки	Средняя



Достоверность прогноза

аддитивного метода прогнозирования для подбора оптимальной функции экстраполяции из шести вариантов (линейная, квадратичная, логарифмическая, кубическая, степенная, показательная) при каждом конкретном расчете учитывается минимальная ошибка расчетов по заданным методам. На каждом следующем шаге выбирается наиболее оптимальный метод с минимальной ошибкой дисперсии, что позволяет отражать изменяющиеся во времени динамические свойства временного ряда и учитывать информационную ценность его членов [3, 4].

Качество прогноза зависит от следующих показателей качества: качество исходных данных, модель прогноза, метод прогнозирования [1].

Достоверность прогноза определяется формулой (1):

$$H = \frac{1}{2} \sum_{x \in out} (Z(x) - Z^*(x))^2, \quad (1)$$

где $Z^*(x)$ – требуемое значение выходного сигнала.

Обработанная первичная информация, а также расчеты прогноза геодинамических явлений хранятся в БД MS SQL Server для возможности последующего их представления в удобочитаемом виде отчета.

Хранение информации о выявленных геодинамических событиях в базе данных осуществляется в специальных таблицах, каждая из которых формируется данными по определенному признаку. Так, в таблице «Датчики» имеются поля с указанием идентификатора датчика, координаты места установки датчиков, дата установки датчика и поясняющего описание. Таблица данных о прогнозе геодинамических событий содержит поля с информацией о дате, часе, смене, их времени начала и конца, прогнозируемое количество импульсов, реально зафиксированное количество импульсов, прогнозируемое значение суммарной энергии импульсов, реально полученное значение суммарной энергии импульсов.

На этапе сбора статистики и формирования отчетности выполняются различные по типу и временному интервалу выборки данных, каждая из которых отражает прошлое и текущее состояние геофизических параметров напряженно деформированного состояния массива горных пород в наблюдаемых частях объекта.

Подсистемой статистики и отчетности системы АС ППТР и КСМ формируются сменные, суточные и итоговые отчеты на основе обработанной информации мониторинга массива

горных пород и подсистемы прогноза ГДЯ. В такие отчеты заносятся данные о количестве зафиксированных активностях сейсмоакустических эмиссий, значения их энергий, а также оценка степени влияния работы очистных комплексов на состояние углепородного массива. С помощью специального программного модуля все типы отчетов за любой выбранный период времени можно посмотреть в виде электронной таблицы, при необходимости также имеется возможность печати отчета.

Для формирования выборки статистических данных за требуемый период времени пользователю необходимо с помощью специального элемента управления Windows, выбрать дату и время требуемого периода получения статистических данных о напряженно деформированном состоянии массива горных пород, а также при помощи специального элемента пользователю

предоставляется выбрать единственный вариант из группы доступных, либо по прогнозной статистике: по дням, часам или суткам, или журналы об активностях акустической эмиссии или прогнозу геодинамических явлений. После нажатия кнопки «Запросить данные» в специальном списке отобразится информация о сформированной выборке при заданных условиях. Если при этом нажать кнопку «Печать», то сформированный отчет будет распечатан в бумажном виде.

Для обеспечения безопасного ведения горных работ каждая шахта должна обладать геоинформационной системой, позволяющей вести учет разнородных данных о состоянии углепородного массива и параметров рудничной атмосферы в реальном режиме времени, а при комплексном анализе такой информации помогающей принимать своевременные меры по обеспечению безопасности труда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Захаров С.И., Холмская А.Г. Повышение эффективности обработки сигналов вибрации и шума при испытаниях механизмов // Вестник машиностроения. – 2001. – № 10. – С. 31–32.
2. Новиков П.С. Элементы математической логики. 2-ое изд. – М.: Наука, 1973, 400 с.
3. Радченко С.Г. Устойчивые методы оценивания статистических моделей: Монография. – К.: ПП «Санспарель», 2005. – С. 504.
4. Ферстер Э., Ренц Б. Методы корреляционного и регрессионного анализа (Methoden der Korrelation – und Regressionsanalyse). – М.: Финансы и статистика, 1981. – 302 с.
5. Кубрин С.С. Комплексный синтезирующий геофизический мониторинг горного массива // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – № 5. – С. 85–92.
6. Захаров В.Н., Кубрин С.С., Фейт Г.Н. Мониторинг напряженного состояния горного массива и геофизических процессов в нем при разработке угольных пластов опасных по гео- и газодинамическим явлениям // Маркшейдерский вестник. – 2012. – № 4. – С. 53–56.
7. Кубрин С.С. Определение базового программного обеспечения комплексного мониторинга горного массива // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – № 11. – С. 213–214.
8. Захаров В.Н., Кубрин С.С., Фейт Г.Н., Блохин Д.И. Тензометрический мониторинг напряженного состояния горного массива при разработке угольных пластов опасных по гео- и газодинамическим явлениям // Маркшейдерский вестник. – 2012. – № 5. – С. 43–44.
9. Захаров В.Н., Кубрин С.С., Фейт Г.Н., Блохин Д.И. Определение напряженно-деформированного состояния горных пород при разработке угольных пластов опасных по гео- и газодинамическим явлениям // Уголь. – 2012. – № 10. – С. 34–36.
10. Кубрин С.С., Шек В.М. Геоинформационные системы для исследования опасных геодинамических явлений // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – ОВ 5. Информатизация и управление. – С. 103–112.
11. Кубрин С.С., Мазаник Е.В., Кигалов Н.Н. Автоматизированная система поддержки принятия геотехнологических

решений и комплексного синтезирующего мониторинга // Горный информационно-аналитический бюллетень. ОВ1. Труды международного научного симпозиума «Неделя горняка-2014». – 2014. – С. 267–278.

12. Кубрин С.С., Сукманов А.И. Методика оценки технического состояния оборудования // Автоматизация в промышленности. – 2012. – № 9. – С. 41–44.

13. Сукманов А.И., Зотов В.В., Кубрин С.С. Разработка методики оценки состояния оборудования очистных комплексов

горных предприятий // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2012. – № 10. – С. 260–264.

14. Сукманов А.И., Зотов В.В., Кубрин С.С. Методика оценки состояния очистного комплекса шахты // Уголь. – 2012. – № 11. – С. 14–18.

15. Кубрин С.С., Сукманов А.И. Системный подход к оценке технического состояния оборудования // Главный механик. – 2012. – № 10. – С. 44–49. **ПИБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Журавлев Евгений Игоревич – аспирант, e-mail: engene@mail.ru, ИПКОН РАН.

UDC 622.268.13:622.281.5

THE INTEGRATION OF HETEROGENEOUS DATA OF THE ROCK MASS STATE, THE PARAMETERS OF AIR AND GAS MONITORING AND COMBINE OPERATION FOR CALCULATION A GEOLOGICAL AND GAS DYNAMIC PHENOMENA FORECAST IN THE ANALYSIS OF GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM OF THE MINE

Zhuravlev E.I., Graduate Student, e-mail: engene@mail.ru,
Institute of Problems of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources
of Russian Academy of Sciences, 111020, Moscow, Russia.

This article describes the structure and operation stages of the mining enterprise geographic information system, which combines various types of information on the stress-strain state of the rock mass, air and gas monitoring data and wastewater treatment systems. Operational accounting and analysis of all this information allows to make the forecast of occurrence of geodynamic phenomena in the mines, as well as in advance to work out measures to ensure safety.

Key words: decision support, geographic information system, extrapolation methods, neural network technology, danger, geodynamic phenomena.

REFERENCES

1. Zakharov S.I., Kholm'skaya A.G. *Vestnik mashinostroyeniya*. 2001, no 10, pp. 3132.
2. Novikov P.S. *Elementy matematicheskoy logiki*. 2-oe izd. (Elements of mathematical logic. 2nd edition), Moscow, Nauka, 1973, 400 p.
3. Radchenko S.G. *Ustoychivyye metody otsenivaniya statisticheskikh modeley*: Monografiya (Robust assessment procedures for statistical models. Monograph), Kiev, PP «Sansparel», 2005, pp. 504.
4. Ferster E., Rents B. *Metody korrelyatsionnogo i regressionnogo analiza* (Correlation and regression analysis techniques (Methoden der Korrelation und Regressionsanalyse)), Moscow, Finansy i statistika, 1981, 302 p.
5. Kubrin S.S. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2012, no 5, pp. 85–92.
6. Zakharov V.N., Kubrin S.S., Feyt G.N. *Marksheyderskiy vestnik*. 2012, no 4, pp. 53–56.
7. Kubrin S.S. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2012, no 11, pp. 213–214.
8. Zakharov V.N., Kubrin S.S., Feyt G.N., Blokhin D.I. *Marksheyderskiy vestnik*. 2012, no 5, pp. 43–44.
9. Zakharov V.N., Kubrin S.S., Feyt G.N., Blokhin D.I. *Ugol'*. 2012, no 10, pp. 34–36.
10. Kubrin S.S., Shek V.M. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. Special issue 5. Informatizatsiya i upravlenie, 2013, pp. 103–112.
11. Kubrin S.S., Mazanik E.V., Kigalov N.N. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. Special issue 1. *Trudy mezhdunarodnogo nauchnogo simpoziuma «Nedelya gornyaka-2014»*, 2014, pp. 267–278.
12. Kubrin S.S., Sukmanov A.I. *Avtomatizatsiya v promyshlennosti*. 2012, no 9, pp. 41–44.
13. Sukmanov A.I., Zotov V.V., Kubrin S.S. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2012, no 10, pp. 260–264.
14. Sukmanov A.I., Zotov V.V., Kubrin S.S. *Ugol'*. 2012, no 11, pp. 14–18.
15. Kubrin S.S., Sukmanov A.I. *Glavnyy mekhanik*. 2012, no 10, pp. 44–49.