



V ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

DOI: 10.25558/VOSTNII.2018.8.45.010

УДК 622.1:744:004.92

© Ю.М. Игнатов, А.А. Гагарин, Г.Н. Роут, 2018

Ю.М. ИГНАТОВ

канд. техн. наук, доцент
КузГТУ, г. Кемерово
e-mail: mnoc@mail.ru



А.А. ГАГАРИН

главный маркшейдер
АО «СУЭК-Кузбасс», г. Ленинск-Кузнецкий
e-mail: gagarinaa@suek.ru



Г.Н. РОУТ

канд. техн. наук, доцент
КузГТУ, г. Кемерово
e-mail: rgn23.12.47@gmail.com



РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ГЕОАНАЛИЗА И ПРОГНОЗА ГОРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ДЛЯ УГОЛЬНЫХ ШАХТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

В статье приводятся результаты применения трех методов оценки и прогноза горно-геологических условий на основе анализа цифровой модели массива горных пород с использованием ГИС-технологий.

Методы позволяют произвести выполнение геоинформационного анализа геообъектов для прогнозирования горно-геологических условий, оценить влияние вектора геодинамических процессов, повысить точность построения границ опасных зон.

Ключевые слова: МАРКШЕЙДЕРСКИЙ ЦИФРОВОЙ ПЛАН, ТРЕЩИНОВАТОСТЬ ГОРНОГО МАССИВА, ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА, КОМПЬЮТЕРНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ.

Введение

Для предотвращения природных и техногенных аварий на угольных шахтах разрабатываются организационные и технические мероприятия по их предупреждению на всех этапах освоения месторождения. Основные опасности массива горных пород в виде обширных обрушений пород кровли, обычных и сухлярных выделений метана, газодинамических явлений и др. геологических нарушений в горном массиве оцениваются на основе прогнозной информации. Использование значительного объема прогнозной информации о строении и свойствах горного массива является основой при создании документации (проектно-сметной, геолого-маркшейдерской, производственно-технической), входящей в состав проекта строительства шахты. Календарные планы развития горных работ (перспективные, текущие), паспорта эксплуатации выемочных участков, проведения и ремонта горных выработок и другие документы для горного предприятия также базируются на использовании прогнозов [1]. По мере освоения месторождения вся прогнозная информация о горном массиве проверяется, накапливается в бумажном и цифровом форматах, и необходимы методы ее анализа и хранения.

Перспективным направлением совершенствования методов оценки, прогноза и хранения информации о строении и свойствах массива горных пород является использование геоинформационных систем (ГИС). К настоящему времени на всех шахтах с применением компьютерных технологий выполнен переход к цифровым моделям объектов и созданию цифровой горной графической документации. Последующие необходимые действия для компьютерного моделирования месторождения — это создание базы данных с цифровым описанием геополей и геоанализ с прогнозированием и размещением результатов на цифровых маркшейдерских планах. Нами разработана и опубликована методика компьютерного моделирования пластовых месторождений с привлечением ГИС [2]. Ее использование позволит произвести обработку прогнозных данных пакетами программ ГИС-технологий для

решения задач проектирования и планирования горных работ, повысить степень оптимальности проектных решений за счет учета результатов моделирования.

Цель работы — разработка методов прогноза строения и свойств массива горных пород на основе геоинформационных технологий и проверка их работоспособности.

Определение и нанесение на горную графическую документацию точных границ опасных зон (повышенного горного давления, газодинамических проявлений, выбросов и горных ударов) позволяют своевременно на основе применения известных знаний разработать профилактические мероприятия и привести решаемую задачу в нужное целевое состояние. В прогнозируемых опасных зонах необходимо проектировать комплекс мер по предупреждению проявления аварий, поэтому требуется совершенствовать методы для более точного прогноза положения на планах границ. Необходим прогноз впереди забоев горных выработок для установления площади опасных зон, прогноз реальной опасности с конкретизацией ее вида в зонах и контроль ее изменения при развитии горных работ [3].

В данной статье приведены результаты компьютерного моделирования для шахт «Талдинская-Западная», пласт 69, и «Алардинская», пласт 3.

Компьютерное моделирование пластовых месторождений с привлечением ГИС производилось в следующем порядке:

- создание электронного плана горных выработок;
- создание базы с цифровым описанием массива горных пород;
- построение цифровых прогнозных планов свойств массива горных пород.

Для создания электронного плана горных выработок выполнено конвертирование векторных данных из созданных на предприятиях планах в программе AutoCAD в программы ГИС [4].

Создана база геоданных (БД) с цифровым описанием горно-геологических условий, влияющих на работоспособность подготовительных и очистных забоев. К ним относятся: мощность пласта, мощность непосредствен-

ной кровли, гипсометрия пласта и др. Такие базовые факторы отражают геометрию пласта, строение толщи горных пород и минеральный состав. БД состоит из графических файлов и атрибутивных таблиц, жестко связанных между собой, в которых содержится описание геомеханических свойств массива, и эти свойства отражены на планах. Все атрибутивные признаки массива разбиты на функциональные блоки: наименование признака; количественные характеристики; качественные характеристики; характеристики функциональных связей. Созданы цифровые матрицы с использованием пяти методов интерполяции (линейной, по усредненной поверхности, обратного взвешивания, полиномы, кригинг). Созданные БД полей геологических, геометрических и геомеханических характеристик по материалам геологической разведки и горных работ импортированы в программы ГИС-технологии (Mineframe, MicroMine, Surpac, MapInfo).

Произведено построение цифровых прогнозных планов геомеханических свойств массива горных пород с использованием геоинформационных технологий [5]. Применяемые ГИС-технологии содержат возможности использования табличных процессоров, систем управления базами данных (СУБД), прикладного программирования, формирования информационных систем и тиражирования твердых копий цифровых планов. Это позволяет собрать все сведения о горном массиве в графические и тематические базы данных, соединить их с модельными и расчетными функциями для преобразования в пространственную информацию и визуализировать на маркшейдерском цифровом плане. В ГИС векторные слои хранятся в виде постоянных таблиц-слоев, каждый из которых имеет двуединое представление своих данных: графическое — в виде набора векторных объектов и атрибутивное — в виде реляционной таблицы (в среде Surpac, MapInfo используется «списком»). В данной работе прогнозный план геомеханических свойств массива построен с использованием блочной модели, интегрированной в ГИС. Блочная модель представляет собой набор цифровых моделей поверхностей по отдельным показателям и используется для пространственного

анализа в пакетах программ ГИС, а также для создания прикладных программ решения отдельных задач.

Перечисленные ГИС-технологии обладают примерно одинаковыми функциональными возможностями, но для предприятий следует учитывать, что российский программный продукт системы MINEFRAME из-за санкций является приоритетным [6].

Построение цифровых прогнозных планов геомеханических свойств массива горных пород выполнялось в следующем порядке:

- произведена количественная оценка свойств горных пород;
- созданы связи между моделями, геоинформационной системой и цифровыми планами горных выработок;
- произведен анализ результатов моделирования и выполнен поиск на планах аномальных зон.

При создании цифровых прогнозных планов главной задачей является поиск и нанесение на цифровые планы аномальных зон, где значения показателей значительно отличаются от усредненных. Основные опасности массива горных пород проявляются на отдельных участках пласта [7]. Согласно исследованиям Зыкова В.С. [3] геотехнологические процессы при ведении горных работ накладываются на геодинамические процессы в недрах и при соответствующем их сочетании приводят к проявлению опасных явлений. Скорости вызываемых горными работами процессов в массиве превышают в 3-5 раз скорости природных динамических процессов в земной коре. Последние в результате влияния горных работ активизируются и могут реализовываться в виде различных опасных явлений.

Для анализа ситуации, которая складывается в опасных зонах, следует исходить из следующих положений, сформулированных Зыковым В.С. [3]. Опасность представляет переходный тип нарушений от пликативных к дизъюнктивным — флексурные складки, распространенные на угольных месторождениях, которые можно рассматривать как не реализовавшийся разрыв. Флексура — коленчатый изгиб моноклинально залегающих слоев. Нередко флексура переходит в разрыв. Высокий

уровень напряжений соответствует предразрывной стадии нагружения пород, а отсутствие разрыва препятствует частичной разрядке напряжений, что приводит к их концентрации. В нормативном документе [8] указывается, что геолого-маркшейдерским службам организаций необходимо выполнять задачи по определению и своевременному нанесению на горнографическую документацию опасных зон, зон повышенного горного давления, газодинамических проявлений, выбросов и горных ударов.

Для поиска аномальных зон на цифровых планах нами использованы три метода: метод градиентов, метод томографии, метод SQL-запросов.

Метод градиентов для поиска аномальных зон

Метод опробован на шахте «Талдинская-Западная» по шахтопласту 69. Блочная модель построена по плановым и высотным коорди-

натам скважин. Были выбраны данные по 96 скважинам и проведен их статистический и геостатистический анализ, с последующим созданием цифровых матриц с использованием пяти методов интерполяции и визуализацией полученных результатов для прогнозирования устойчивости непосредственной кровли. Признаком наличия деформированности массива являются изменения внешней формы пласта, которые были выявлены при математической обработке и вычислении показателей гипсометрических планов.

Построены зоны аномалий по методу градиента тектонических деформаций [5]. После вычисления градиента в каждом блоке модели на плане он изображен в виде вектора в каждой ячейке матрицы, проведены изолинии величины градиента. План с прогнозируемыми тектонически напряженными зонами аномалий по методу градиента по пласту 69 представлен на рис. 1, 2.

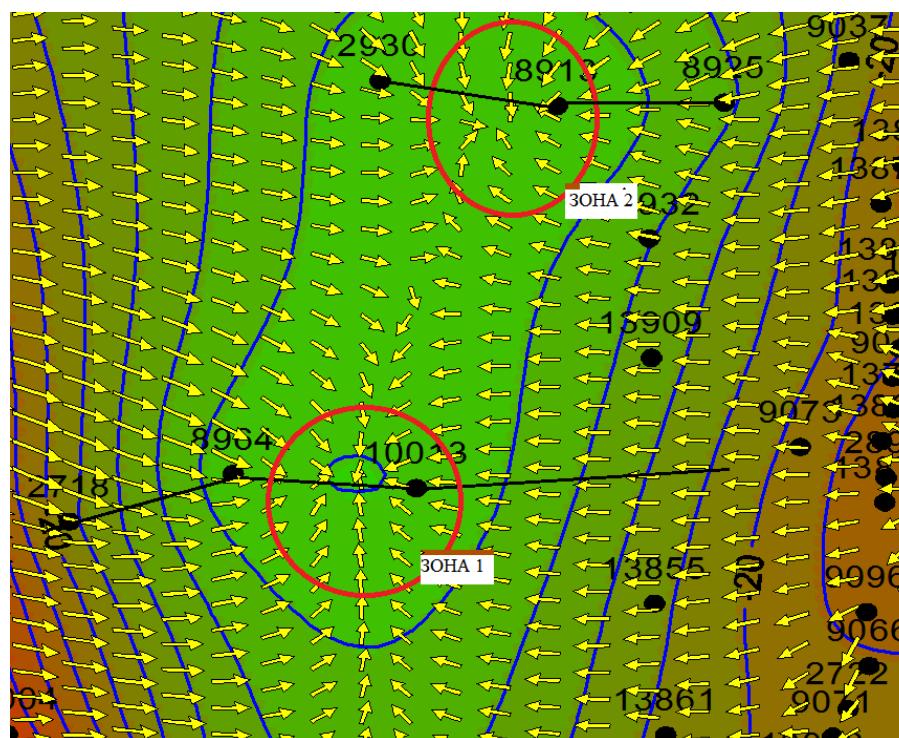


Рис. 1. Модель поверхности пласта с прогнозируемыми зонами аномалий

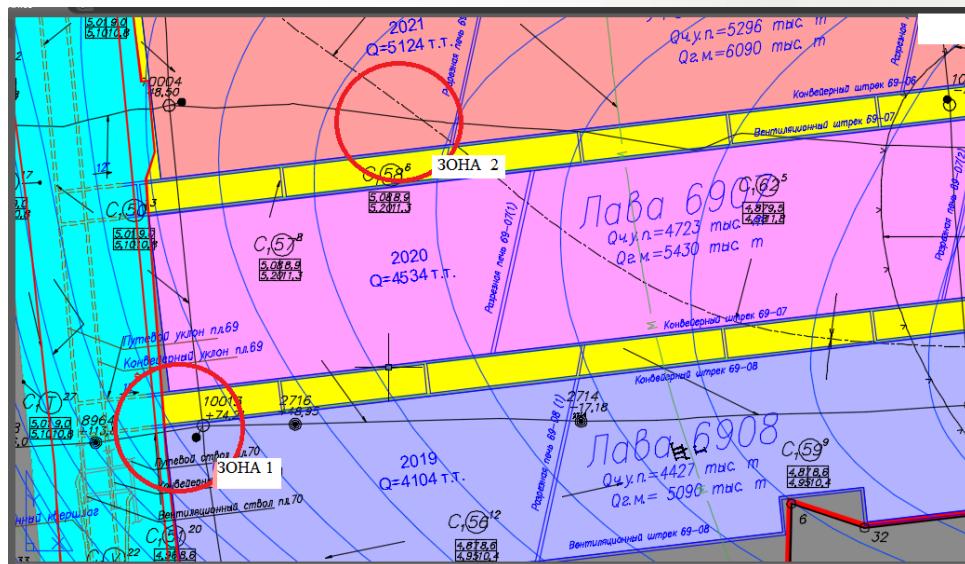


Рис. 2. Выкопировка с плана горных работ с нанесенными зонами аномалий

При анализе выделены 2 зоны. Указанные участки являются аномальными зонами деформирования массива. В этих зонах резко изменяется устойчивость непосредственной кровли угольного пласта 69. Мы прогнозируем, что в этих зонах будет повышенная трещиноватость. Для проверки работоспособности нашего прогноза следует указать, что пройдённый в шахте конвейерный штрек 69-08 попал в прогнозируемую зону № 1 в районе скважины № 10013. При его проходке произошли аварии, связанные с обвалами и обрушениями горных пород.

Метод томографии для поиска аномальных зон

Метод опробован на шахте «Талдинская-Западная», пласт 69, по фактору «обрушаемость основной кровли». По материалам геологоразведочных работ была вычислена характеристика обрушаемости основной кровли угольного пласта в каждой скважине, и затем построена матрица ячеек для цифровой модели. Обрушаемость основной кровли вычислена в соответствии с методикой Смирнова Б.В. [9]. При оценке учитываются наиболее существенные геологические факторы

и показатели: литотип пород, прочность пород на сжатие, мощность слоев и сцепление между ними, отношение мощности непосредственной кровли к выемочной мощности, интенсивность трещиноватости, развитой в породе, особенности структурного положения угольного пласта, угол падения, глубина залегания угольного пласта.

В каждом блоке модели задано цветовое отображение каждой характеристике. Создав блочную модель и определив цветовой диапазон для значений показателя обрушаемости основной кровли все месторождение раскрашивается в соответствии с выбранной характеристикой. Метод позволил произвести построение цифровой модели плана обрушаемости основной кровли в виде томограммы. Кровля сильно обрушаемая изображена на цифровом плане участком, имеющим красный тон, а менее обрушаемая — зеленый. При этом участки основной кровли, имеющие различное значение обрушаемости, имеют на карте различный тон по насыщенности.

Основная кровля изменяется от трудно обрушающейся до легко обрушающейся. Обнаружены 4 аномальные зоны (рис. 4). Причем зона 1 совпала по своим координатам с зоной 1 из рис. 1.

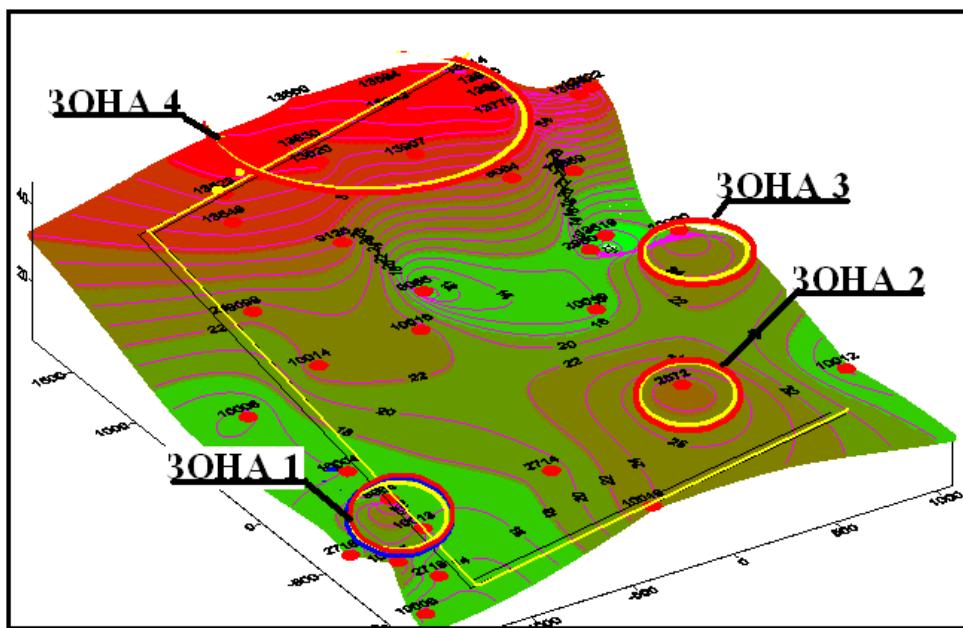


Рис.3. Построение модели 3Д по обрушаемости основной кровли по пласту 69

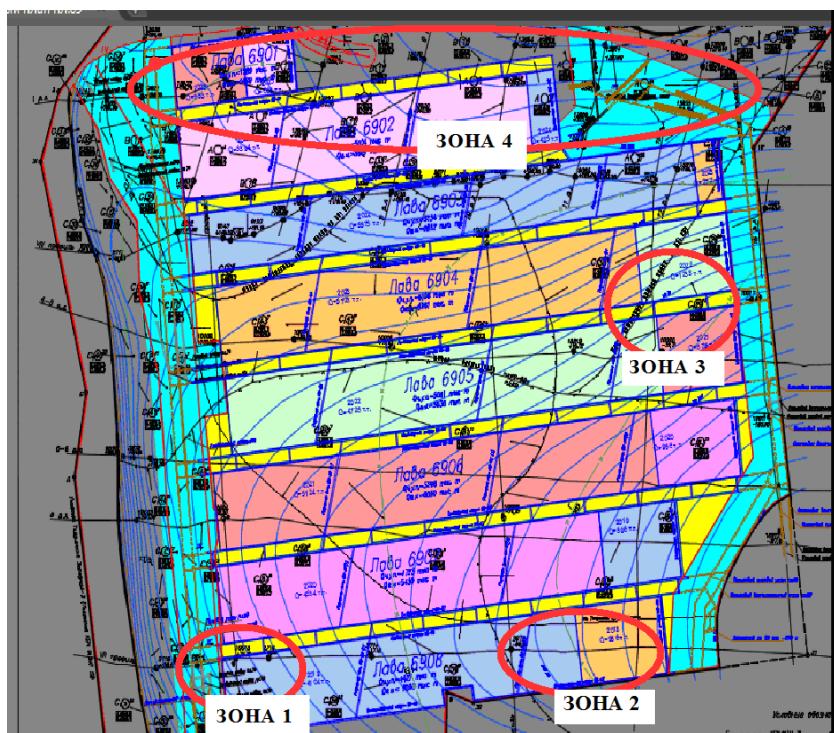


Рис.4. Зоны высокой обрушаемости основной кровли по пласту 69

Метод SQL-запросов для поиска аномальных зон

Метод опробован на шахте «Алардинская» для поиска аномальных зон по устойчивости непосредственной кровли. В результате выполненных работ по обработке геолого-маркшейдерских материалов (200 точек) по пласту 3 шахты «Алардинская» построена цифровая модель массива горных пород. При геоанализе данной модели программами ГИС-технологий произведено вычисление интегральных показателей полей, создан прогнозный план геомеханических характеристик и выполнен поиск аномальных зон.

Пространственный анализ полученных результатов произведен на основе таблиц выборки с присоединенными графическими объектами с помощью стандартных средств ГИС. Выборка формируется с помощью языка запросов SQL (Structured Query Language), встроенного в систему управления БД (СУБД). СУБД — комплекс программ

и языковых средств, предназначенных для создания, ведения и использования баз данных. Данные выборки могут быть обобщены, объединены, агрегированы, комбинированы, группированы на этапе формирования. Выбранные по SQL-запросу графические объекты в окне карты показываются как «выбранные» и отмечаются как «выбранные записи» в исходной таблице.

Вычисление интегральных характеристик поверхностей позволили выявить закономерности совместного изменения гипсометрии, трещиноватости и устойчивости кровли пласта 3 и выявить аномальные зоны (ЗОНА 1 и ЗОНА 2). Аномальные зоны получены как площадь пласта с ячейками сетки, которые выбраны по SQL-запросу и в окне карты показываются как «выбранные». Полученные зоны перенесены на цифровой маркшейдерский план (рис. 5). Указанные участки являются зонами повышенной трещиноватости массива.



Рис. 5. Выкопировка с плана горных работ с зонами аномалии по SQL-запросу

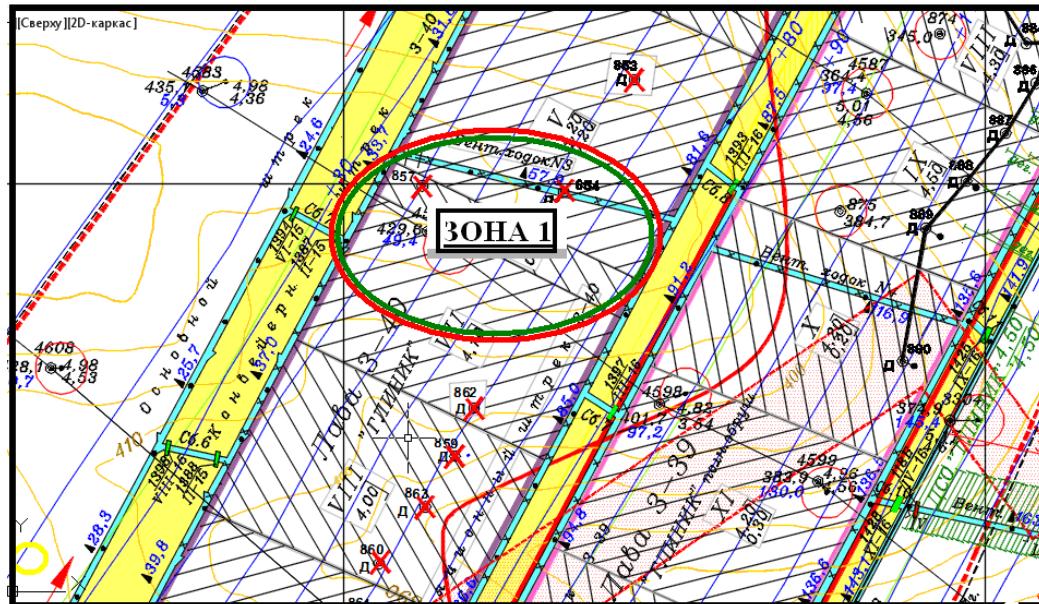


Рис. 6. Выкопировка с плана горных работ с зоной 1

Горные работы в зоне 1 шахтой велись в июне 2015 года. Были серьезные проблемы при работе лавы 3-40 с устойчивостью кровли. Подвигание лавы за месяц было очень маленьким (рис. 6). Согласно созданному нами прогнозному плану горные работы лавой 3-38 в зоне 2 встретят устойчивость кровли аналогичную с зоной № 1.

Вывод

Выполненные работы показывают следующие результаты:

1. Опробована методика построения цифровой модели массива горных пород, которая базируется на положении, что картографической основой цифрового моделирования горного массива являются маркшейдерские

планы, а формой визуализации площадных геологических объектов — совокупность ячеек из генерированных матриц.

2. Применены три метода прогнозирования горно-геологических условий с привлечением ГИС, которые позволили произвести вычисление интегральных геомеханических характеристик, создать прогнозный план горно-геологических условий и произвести поиск опасных зон.

3. Произведено сравнение результатов прогноза с материалами оценки геологических условий, полученных при ведении горных работ. Проверка показала, что при попадании горных работ в прогнозируемые аномальные зоны произошли аварии, связанные с обвалами и обрушениями горных пород.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по геологическим работам на угольных месторождениях Российской Федерации. СПб., 1993. 147 с.
2. Гагарин А.А. Цифровое описание горно-геологических условий для анализа, прогнозирования и визуализации результатов на маркшейдерских цифровых планах / А.А. Гагарин, Ю.М. Игнатов, Г.Н. Роут, М.М. Латагуз // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2018. № 1. С. 45–52.
3. Зыков В.С. Внезапные выбросы угля и газа и другие газодинамические явления в шахтах. Кемерово: ООО «Фирма ПОЛИГРАФ», 2010. 334 с.
4. Гагарин А.А. Анализ маркшейдерских цифровых планов для последующего включения

их в геоинформационную систему / А.А. Гагарин, Ю.М. Игнатов, Г.Н. Роут, М.М. Латагуз // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2017. № 1. С. 45–52.

5. Игнатов Ю.М. Применение компьютерного моделирования месторождения для снижения травматизма на шахтах / Ю.М. Игнатов, А.А. Гагарин, Г.Н. Роут, М.М. Латагуз // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2018. № 1. С. 72–79.

6. Лукичёв С.В., Наговицын О.В., Морозова А.В. Моделирование рудных и пластовых месторождений в системе Mineframe // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2004. № 5. М.: МГГУ. С. 296–301.

7. Зыков В.С. Зонирование участков пластов на угольных шахтах по видам и степени геодинамической опасности / В.С. Зыков, И.Л. Непомнищев, И.Л. Абрамов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2015. № 6. С. 45–49.

8. РД 07-408-01. Положение о геологическом и маркшейдерском обеспечении промышленной безопасности и охраны недр. Доступ из справ.-правовой системы «Техэксперт».

9. Смирнов Б.В. Пособие по многофакторному прогнозированию устойчивости углевмещающих пород в очистных выработках шахт Кузбасса / Б.В. Смирнов, А.И. Дымко, Э.Л. Бараньян и др. Ростов-на-Дону, 1982. 46 с.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2018.8.45.010

UDC 622.1:744:004.92

© Yu.M. Ignatov, A.A. Gagarin, G.N. Rout, 2018

Yu.M. IGNATOV

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor
T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo
e-mail: mnoc@mail.ru

A.A. GAGARIN

Chief surveyor
JSC «SUEK-Kuzbass», Leninsk-Kuznetsk
e-mail: gagarinaa@suek.ru

G.N. ROUT

Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor
T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, Kemerovo
e-mail: rgn23.12.47@gmail.com

DEVELOPMENT OF THE GEO-ANALYSIS AND GEOLOGICAL CONDITIONS FORECAST METHODS FOR COAL MINES USING GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS

The paper presents the application results of three methods for the assessment and the forecast of mining and geological conditions based on the analysis of the rocks massif digital model using GIS-technologies.

Methods allow to carry out the geoinformation analysis of geoobjects for mining and geological conditions forecast, to estimate the influence of the geodynamic processes vector and to increase the accuracy of the creation of hazardous zones borders.

Keywords: SURVEYING DIGITAL PLAN, ROCK MASS FRACTURING, GEO-INFORMATION SYSTEM, COMPUTER FORECASTING.

REFERENCES

1. Instructions for geological work in coal deposits of the Russian Federation. SPb., 1993. 147 p. (In Russ.).
2. Gagarin A.A., Ignatov Yu.M., Rout G.N., Lataguz M.M. Digital description of the mining and geological conditions for analysis, forecasting and visualization of results in surveyor digital plans. Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2018. № 1. pp. 84–92. (In Russ.).
3. Zykov V.S. Coal and gas emissions and other gas-dynamic phenomena in mines. Kemerovo: OOO «Firma POLIGRAF». 2010. 334 p. (In Russ.).
4. Gagarin A.A., Ignatov Y.M., Route G.N., Lataguz M.M. The analysis of digital survey plans for subsequent inclusion in a geographic information system. Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2017. № 1. pp. 45–52. (In Russ.).
5. Ignatov Yu.M., Gagarin A.A., Rout G.N., Lataguz M.M. Primenenie kompyuternogo modelirovaniya mestorozhdeniya dlya snizheniya travmatizma na shakhtakh (Computer simulation of deposits in the decreasing of injuries in coal mines). Vestnik nauchnogo tsentra VostNII po promyshlennoy i ekologicheskoy bezopasnosti = Bulletin of Scientific Centre VostNII for Industrial and Environmental Safety. 2018. № 1. pp. 72–79. (In Russ.).
6. Lukichev S.V., Nagovitsyn O.V., Morozova A.V. Modeling of ore and stratified deposits in the Mineframe system // Gorny informative and analytical bulletin = Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal). 2004. № 5. pp. 296–301. (In Russ.).
7. Zykov V.S., Nepomnishev I.L., Abramov I.L. Zoning of reservoir sites in the coal mines of the idam and degree of geodynamic danger. Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of the Kuzbass State Technical University. 2015. № 6. pp. 45–51. (In Russ.).
8. RD 07-408-01. Polozhenie o geologicheskem i marksheyderskom obespechenii promyshlennoy bezopasnosti i okhrany nedr (Statute Concerning Geological and Surveying Support for Industrial Safety and the Protection of Subsurface Resources). Available at: «Tekhekspert» system.
9. Dymko A.I., Baranyan A.L., Smirnov B.V. A manual on multifactor forecasting of the stability of surrounding rock during coal face operations in Kuzbass mines. Rostov-na-Donu, 1982. 46 p.

Оформление подписки на журнал «Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности» осуществляется по Каталогу Агентства «Роспечать» «Газеты. Журналы»

Подписной индекс 80814