

DOI: 10.25558/VOSTNII.2018.02.009

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: lmm.mdg@kuzstu.ru



МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ ПРОГНОЗНЫХ ПЛАНОВ ТРЕЩИНОВАТОСТИ ГОРНОГО МАССИВА ПРИ КОМПЬЮТЕРНОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ПЛАСТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В статье приведены результаты исследовательских работ по созданию метода построения цифровых прогнозных планов трещиноватости горного массива, включающие решения задач, необходимые для совершенствования цифрового описания горно-геологических условий пластовых месторождений.

Приведены результаты применения разработанного метода для геологических условий по пласту Полысаевскому-2 шахты имени А.Д. Рубана. Для нахождения зон с повышенной трещиноватостью данные геоинформационных полей, отражающих геологические, геометрические и геомеханические характеристики шахтного поля, обрабатывались в программе геоинформационной технологии. Выполненный анализ позволил выявить аномальную зону по трещиноватости, в которой может возникнуть эндогенный пожар, если заблаговременно не выполнить профилактические противопожарные мероприятия.

Полученные научные результаты показывают, что данное направление исследований позволило разработать новые методы изучения пространственной информации, что приведет к установлению новых научных фактов и закономерностей и существенно расширит знания о геологических условиях месторождения, использование которых повысит надежность создаваемых технологических документов и послужит снижению риска аварий на шахтах.

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

Применение компьютерных технологий техническими службами на всех шахтах и разрезах Кузнецкого бассейна позволило выполнить векторное описание горно-технологических объектов и создать цифровые маркшейдерские планы (далее — ЦМП) горных выработок в цифровом формате [1]. Для дальнейшего совершенствования компьютерной обработки данных необходимо создание табличных баз данных к цифровым моделям горно-технологических объектов и цифровое описание горно-геологических условий с использованием программ геоинформационных систем (ГИС). Массивы горных пород характеризуются изменчивостью условий (тектонической нарушенностью, трещиноватостью, показателями физико-механических свойств, мощностью и углом падения пластов и др.) и оцениваются большим количеством показателей. Научная систематизация нормативной документации о процессах изучения горно-геологических условий позволила создать базу знаний, обосновать состав табличных баз горно-геологических условий и определить пути их включения в состав ГИС. Методика цифрового описания горно-геологических условий с помощью комплекта матриц, отражающих прогнозные размещение физических свойств горного массива и полей напряжений, описана нами в статье [2].

В настоящей статье для дальнейшего совершенствования цифрового описания горно-геологических условий приведены решения трех задач:

- 1) анализ базы знаний для выбора основных, доминирующих факторов при цифровом описании геологических условий;
- 2) поиск закономерностей в структуре тектонофизического строения Кузнецкого бассейна;
- 3) поиск зон с повышенной трещиноватостью для горного массива шахты имени А.Д. Рубана.

Научная новизна и значимость полученных результатов заключаются в том, что

применена ГИС-технология для изучения и анализа пространственной информации о свойствах горного массива, которая существенно улучшает процесс получения знания о составе, структуре и динамике массивов горных пород и угольных пластов. На основе применения данного метода получения новых знаний возможны:

- разработка принципиально новых подходов к научной оценке горно-геологических данных;
- получение новой дополнительной пространственной горно-геологической информации;
- открытие принципиально новых научных фактов и закономерностей.

Анализ базы знаний для выбора основных, доминирующих факторов при цифровом описании геологических условий

Разработанный метод компьютерного моделирования пластовых месторождений включает в себя применение созданного на шахте ЦМП горных выработок, использование базы знаний, создание базы данных и последующую компьютерную обработку исходной информации. Рекомендации по содержанию и структуре ЦМП опубликованы в статье [1]. Для пополнения его цифровым описанием геологических условий необходимо произвести анализ базы знаний для выбора основных, доминирующих показателей.

База знаний используется для создания экспертных систем хранения данных: документации, руководств, статей технического обеспечения. Главная цель создания такой базы — обоснование правил цифрового описания и способа изучения горно-геологических условий. База знаний как совокупность правил и требований создана нами на основе нормативных документов [3–6], утвержденных постановлениями Госгортехнадзора России. Дальнейшая ее доработка подразумевает дополнение прагматическими знаниями в виде конкретных фактов и моделей, позволя-

ющих провести анализ и сделать выводы при решении сложных задач в предметной области. База знаний должна удовлетворять следующим требованиям:

- упорядочивать используемые понятия по степени общности;
- содержать информацию о методах анализа и контроля состояния объекта;
- содержать специальные знания, применение которых изменяет состояние задач, функционирующих в составе ГИС.

Приводим основные разделы разрабатываемой базы знаний:

- 1) методы изучения геологических условий;
- 2) перечень необходимых геологических работ;
- 3) перечень показателей свойств массива и методов их оценки;
- 4) использование прогнозных данных.

В документе [6] указывается, что геолого-маркшейдерским службам организаций необходимо выполнять задачи по определению и своевременному нанесению на горно-графическую документацию опасных зон, зон повышенного горного давления, газодинамических проявлений, выбросов и горных ударов.

В документе [3] в разделе 1.3. перечислены геологические работы, которые необходимо выполнять на угледобывающих предприятиях. Наиболее важные из них — это изучение геологических нарушений угольных пластов (разрывов, складок, размывов, раздувов и пережимов, расщеплений) и трещиноватости.

Из документа [3] далее приводим сведения, которые приняты нами за базовые исходные понятия для цифрового описания горно-геологических условий. В разделах 5.11.—5.15 указывается, что трещиноватость — совокупность трещин, нарушающих сплошность массива горных пород. Основными показателями, характеризующими трещиноватость, являются:

- ориентировка трещин;
- количество систем трещин;
- размеры трещин (протяженность и степень раскрытости);

– интенсивность проявления трещиноватости в пределах каждой из систем.

Обработка и обобщение результатов полевых наблюдений включает установление средних элементов залегания систем, интенсивности трещиноватости, связи трещиноватости с тектоническими структурами и геологическими нарушениями. При горных работах в шахте следует учитывать, что трещиноватость:

1) изменяет физические и механические свойства пород, снижает устойчивость пород при горных работах и влияет на условия поддержания выработок;

2) управление кровлей определяется интенсивностью и количеством систем трещин, взаимной ориентировкой пласта угля и основной системы трещин;

3) способствует дегазации горных пород и угля и уменьшает или, наоборот, увеличивает, в зависимости от ориентировки систем трещин, их склонность к внезапным выбросам угля, газа и пород;

4) зоны повышенной трещиноватости могут быть коллекторами подземных вод или путями поступления воды в шахту.

В документе [3] указывается, что горно-геологический прогноз является основой технических документов, разрабатываемых в соответствии с проектами строительства и реконструкции угледобывающих предприятий. Объектами геологического прогноза являются: форма, строение и условия залегания угольного пласта, качество и запасы угля, вмещающие угольный пласт породы, нарушение пласта и трещиноватость, гидро-геологические условия, устойчивость и обрушаемость вмещающих пород и др.

Таким образом, трещиноватость является одним из доминирующих факторов, для прогнозирования которого необходимо совершенствовать методы его изучения и анализа.

Поиск закономерностей в тектонофизической модели строения Кузнецкого бассейна

Для создания метода прогнозирования трещиноватости выполнялся геоинформа-

ционный анализ геологических условий с целью поиска закономерностей в структуре, определения наличия и вида взаимосвязей в пространственном распределении отдельных характеристик, установления тенденций развития явлений в пространстве и во времени. Анализ производился с помощью стандартных средств ГИС-технологии, которая позволяет выполнять получение, обработку и анализ информации, объединяет в себе цифровую обработку изображений с системой управления базами данных. Объединение табличных, текстовых и картографических данных в ГИС позволяет производить их совместную обработку, чтобы выявить те особенности и взаимосвязи, которые не видны из таблиц, диаграмм и графиков, и создать новые данные.

Нами производилась компьютерная обработка цифровых файлов геологических условий с использованием геоинформационных технологий MicroMine, Surpac, MapInfo для трехмерных представлений моделей горного массива, для создания новых методов изучения и прогноза горно-геологических условий. При создании прогнозных планов важным фактором геологических условий является блочность горного массива [7]. Поэтому для выделения границ блоков были использованы признаки: речная сеть, разности высот рельефа, конфигурация горизонталей, наклоны рельефа и их изменения и др.

При работе с серией карт производится наложение одной карты на другую, проводится их сопряженный анализ, вводятся атрибутивные данные, разрезы, сечения, фотоизображения и создаются в электронном виде новые карты. Целью является создание цифровой тектонофизической модели Кузнецкого бассейна, и часть такой модели в виде карты тектоно-гидрологической сети представлена на рис. 1.

Анализ данной карты показывает, что граница между Салаиром и Кузнецким бассейном представляет дугу, обращенную своей выпуклостью к центру бассейна. Складки и крутые продольные разрывы располагаются параллельно указанной границе и испытывают такой же изгиб, при этом наибольшая амплитуда смещений по крупным разрывам совпадает с участками максимального прогибания указанной дуги. Это обстоятельство свидетельствует о формировании граничной тектонической зоны бассейна за счет тангенциальных движений со стороны Салаирского кряжа.

Горные породы собраны в складки и разорваны крупными продольными разрывами вдоль граничной зоны длиной до 150 км. Разрывы падают на юго-запад под углом 40–80 град., имеют амплитуду смещения более 2000 метров. На карте тектоно-гидрологической сети Кузбасса видно, что долина реки Ини точно повторяет контуры дугообразной юго-западной границы бассейна с Салаирским кряжем. Этим подтверждаются выводы М.А. Усова, Р.Г. Коломина, С.А. Батутина и др. о том, что речные долины наиболее четко реагируют на элементы тектоники. Вода стремится распространяться в местах, удобных для размыва, т. е. вдоль дизъюнктивных зон. Если реке приходится отходить от структуры, то она выбирает зоны с более слабыми породами (новые прорастающие разломы) [8].

Развитие неотектонических движений вызывает приоткрывание древних трещин и образование новых. Такие движения существуют и со стороны Колывань-Томской складчатой зоны, и это отчетливо видно по гидрографической сети Кузбасса. На карте этой сети (рис. 1) видно, что все крупные притоки рек Томи и Ини, а также их крупные изгибы расположены параллельно плоскости Томского надвига.

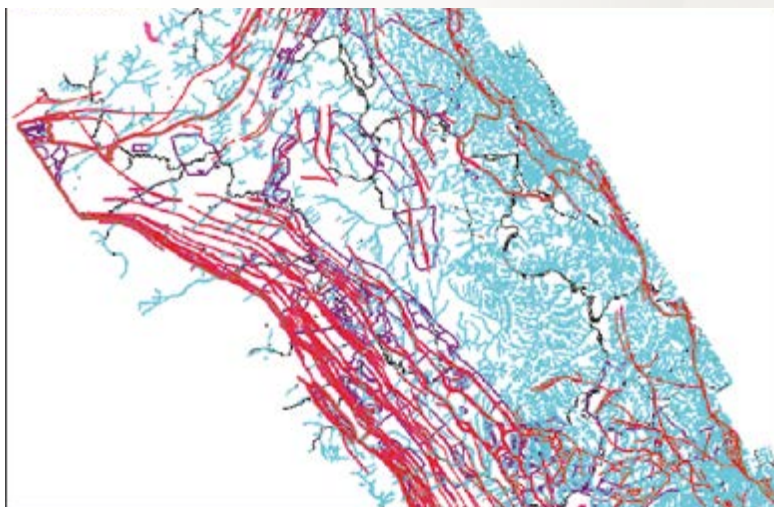


Рис. 1. Фрагмент цифровой тектоно-гидрологической сети Кузнецкого бассейна

Поиск зон с повышенной трещиноватостью для горного массива шахты имени А.Д. Рубана

Для создания цифровой тектонофизической модели горного массива шахты име-

ни А.Д. Рубана собраны в базах данных ГИС графические файлы, данные полей геологических, геометрических и геомеханических характеристик (см. рис. 2).

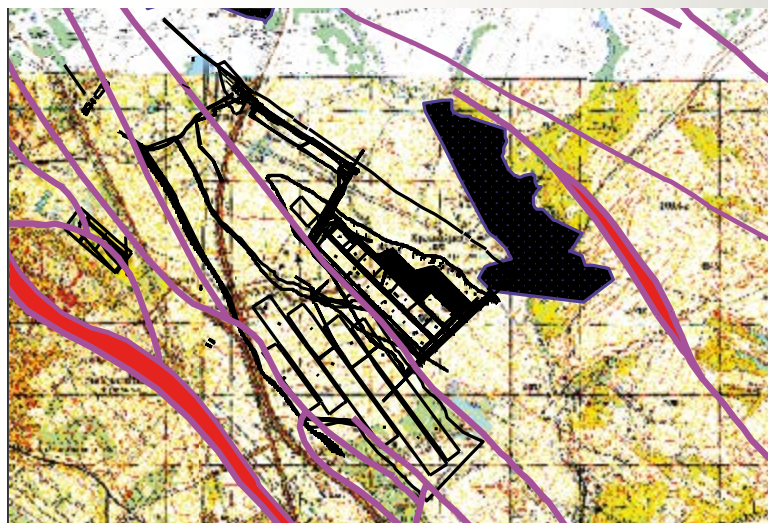


Рис. 2. Исходные данные для цифровой модели горного массива шахты имени А.Д. Рубана

Анализ созданной цифровой модели горного массива показал, что участок разбит двумя взаимно перпендикулярными господствующими системами тектонических трещин. Тектонические трещины (трещины, связанные с разрывом горных пород, и кливаж) развиваются в горных породах под влиянием тектонических сил. Особенности этих трещин являются: выдержанность по простиранию и падению, распространение на значи-

тельные расстояния, пересечение всех слоев горных пород.

Первой системой являются трещины, параллельные продольным зонам разрывов, возникших в Ленинском районе в результате прогибания Салаирской дуги, образующиеся при касательных напряжениях и простирающиеся по азимуту 140 град., с углами падения 70-90 градусов. Эти трещины скалывания плотно сжаты, имеют ровные поверхности

стенок со знаками скольжения, обладают значительной протяженностью и сравнительно выдержанной густотой. Такие трещины возникают на участках, нарушенных взбросами и сбросами, являясь оперяющими сместитель. Трещины продольной системы интенсивнее, чем поперечные.

Вторая система — нормально секущие. Развитие неотектонических движений спо-

собствует приоткрыванию древних трещин и образованию новых. Такие движения существуют со стороны Колывань-Томской складчатой зоны, что отчетливо доказывается конфигурацией гидрологической сети Кузбасса.

На рисунке 3 приведены две господствующие системы трещин для горного массива шахты имени А.Д. Рубана, ориентированные относительно горных выработок.



Рис. 3. План горных выработок поля шахты имени А.Д. Рубана

На фоне рассмотренной закономерной стабильной трещиноватости проявляются ее локальные изменения, вызванные складчатыми тектоническими дислокациями. При радиальных напряжениях, возникающих главным образом в куполах складок, образуются трещины отрыва, которые открыты, лишены следов перемещения, быстро уходят в глубину, имеют шероховатые поверхности. Соскладчатые системы проявляются при приближении к замку складки. В замке складок преобладают системы, параллельные осевой плоскости. Локальное изменение степени трещиноватости в замковой части складок оценивает-

ся интенсивностью (количество трещин на 1 метр) в два раза выше, чем на остальной площади пласта.

При обработке табличных данных высотных отметок маркшейдерских точек (44 шт.) и высотных отметок разведочных скважин (68 шт.) построена 3Д модель кровли пласта «Полысаевский-2». Анализ данной модели показал, что складчатая тектоническая дислокация сформировала участок, ограниченный линией эллипса на рисунке 4, который является зоной № 1 деформированности горного массива.

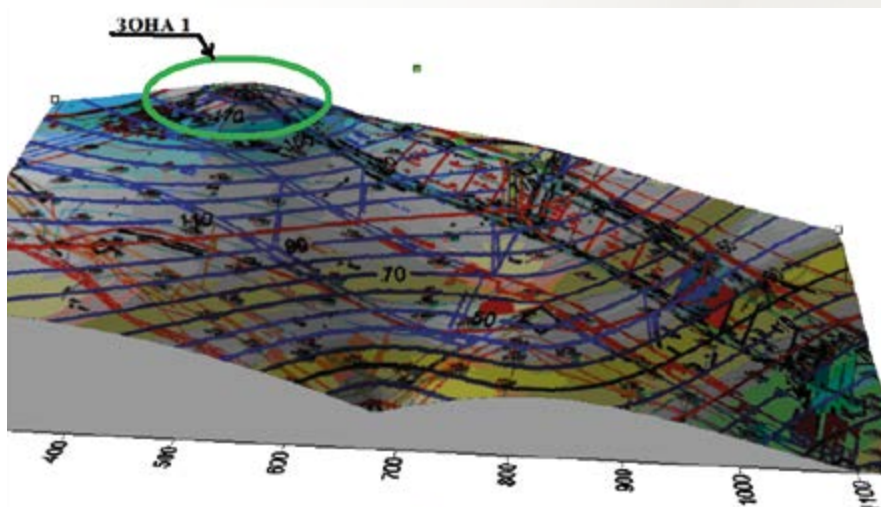


Рис. 4. Модель 3Д пласта «Полысаевский-2» до цифровой фильтрации

Для построения прогнозных планов геологических условий пласта «Полысаевский-2» за показатель деформированности массива принята величина расхождения

между фактической поверхностью кровли пласта и аналитической поверхностью [9], которая определяется методом цифровой фильтрации (рис. 5).

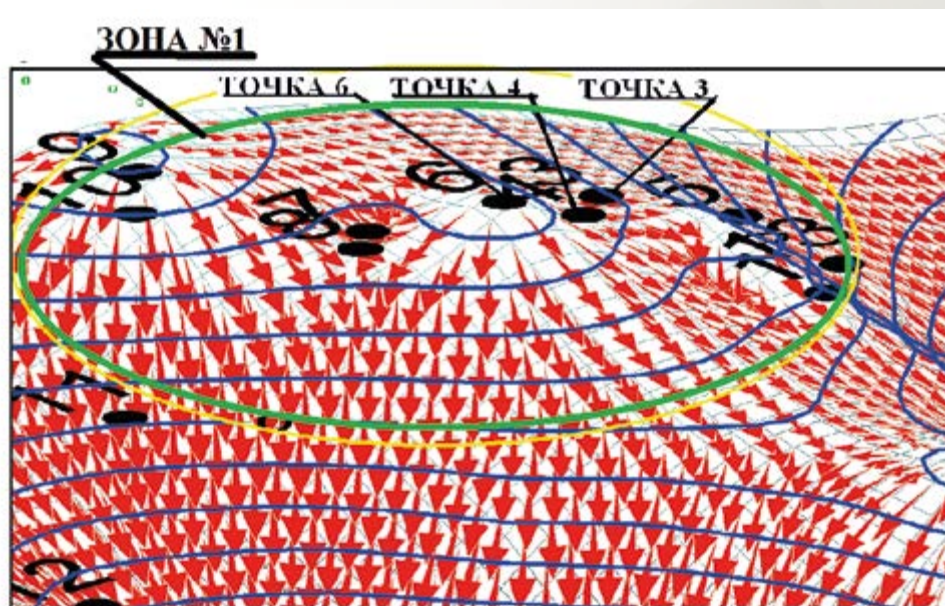


Рис. 5. Модель 3Д деформаций по результатам цифровой фильтрации в зоне № 1

Максимальная локальная трещиноватость приурочена к местам наибольшего изгиба слоев, которых много в замковых частях складок и в местах резкого перегиба пластов. Согласно исследованиям Гзовского М.В. [10] форма складок, возникающих при многократном смятии слоев, часто бывает весьма сложной и своеобразной. Формы созданной мелкой складчатости для пласта «Полысаевский-2» определяются величиной угла между осевыми поверхностями первоначальных складок, образовавшихся за счет тангенци-

альных движений со стороны Салаирского кряжа, и наложенных складок, расположенных параллельно Томскому надвигу, благодаря проявлению которого они и возникали. Зона № 1 выявляется на 3Д модели деформаций в более явном виде и позволяет получить ее форму и численные параметры. Из рис. 5 следует, что зона № 1 — это антиклинальная флексура с высотными отметками более 180 метров, и ее поверхность на 25 метров отклоняется от аналитической поверхности.

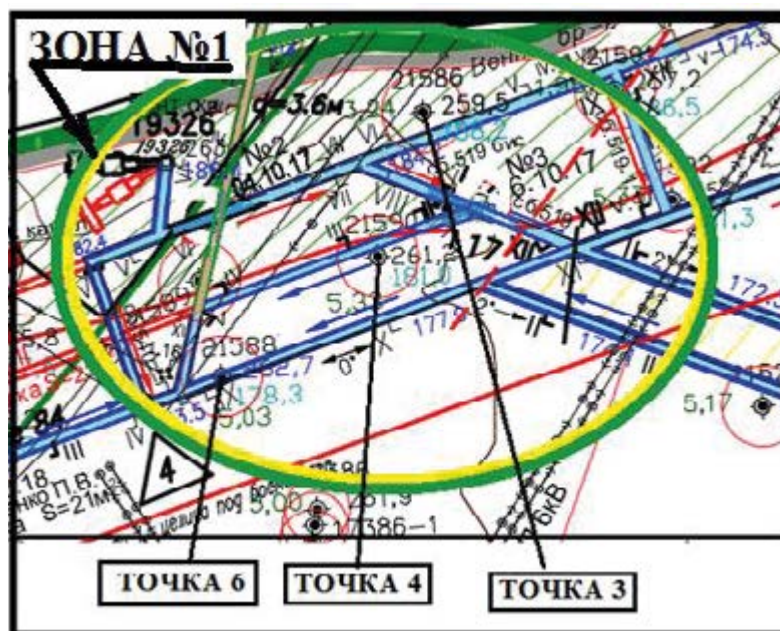


Рис. 6. Участок пласта «Полысаевский-2» на плане горных работ в зоне № 1

На рис. 6 на плане горных работ показан участок пласта с характерными точками в зоне № 1 (точка 6 — скважина № 21588, точка 4 — скважина № 21590, точка 3 — скважина № 1586). Эти точки для сравнения рисунков обозначены и на рис. 4.

Вывод

Исходя из вышеизложенного, утверждаем, что аномальная зона № 1 — это антиклинальная флексура с высотными отметками более 180 метров, на 25 метров отклоняющаяся от аналитической поверхности, и в этой зоне интенсивность трещиноватости угольного пласта в два раза выше, чем на остальной площади пласта. В этой аномальной зоне по трещиноватости расположено большое количество горных выработок, через которые в трещиноватый угольный массив под давле-

нием поступает свежий воздух, вызывающий эндогенный пожар, если срочно не выполнить рекомендации по недопущению данного явления.

Таким образом, применение метода построения прогнозных планов трещиноватости горного массива при компьютерном моделировании пластовых месторождений для проектирования горных выработок позволяет улучшить качество проектов. Выполненные работы послужили основой для разработки и отладки методики построения цифровой тектонофизической модели массива горных пород, которая позволит производить реконструкцию полей напряжений и определять господствующие системы трещин для каждого участка территории бассейна, чтобы обеспечить выполнение комплексного прогноза горно-геологических условий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. 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.

3. Инструкция по геологическим работам на угольных месторождениях Российской Федерации. — СПб., 1993. — 147 с.
4. РД 07-603-03. Охрана недр и геолого-маркшейдерский контроль. Инструкция по производству маркшейдерских работ. — М.: ФГУП Государственное предприятие НТЦ по безопасности в промышленности ГГТН России, 2004. — 120 с.
5. ГОСТ 2.852-75. Горная графическая документация. Изображение элементов горных объектов. Доступ из справ.-правовой системы «Техэксперт».
6. РД 07-408-01. Положение о геологическом и маркшейдерском обеспечении промышленной безопасности и охраны недр. Доступ из справ.-правовой системы «Техэксперт».
7. Зыков. В.С. Внезапные выбросы угля и газа и другие газодинамические явления в шахтах. — Кемерово: «Полиграф», 2010. — 334 с.
8. Батугин А.С. Тектонофизическая модель горно-тектонических ударов с подвижками крыльев крупных тектонических нарушений // ГИАБ, «Труды научного симпозиума «Неделя Горняка — 2010». — 2010. — С. 252–264.
9. Игнатов Ю.М. Совместное использование горно-геометрических данных и цифрового маркшейдерского плана в геоинформационной системе для поиска опасных зон // Вестник Кузбасского государственного технического университета. — 2010. — № 1. — С. 139–143.
10. Гзовский М.В. Основы тектонофизики. — М.: Наука, 1975. — 536 с.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2018.02.009

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

SUEK, 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: lmm.mdg@kuzstu.ru

METHOD OF DESIGNING FORECAST PLANS FOR FRACTURED MASSIF IN THE COMPUTER SIMULATION OF STRATIFIED DEPOSITS

The article presents the results of research works on creating a method for constructing digital forecast plans for a fractured massif including solutions improving of the digital description for the seam deposits mining and geological conditions. Results of the developed method application for geological conditions on the seam Polysayevskiy-2 in the A.D. Ruban mine are given.

The data of geoinformation fields reflecting geological, geometric and geomechanical characteristics of the mine field have been processed in the program of geoinformation technology for finding zones with increased fracturing. The analysis made it possible to identify the anomalous zone by the fracture, where an endogenous fire can occur if fire prevention measures are not done in advance.

Scientific results show that this line of research has allowed developing new methods for studying spatial information that will lead to the establishment of new scientific facts and regularities and will significantly expand knowledge of the deposits geological conditions, the use of which will increase the reliability of the technological documents and reduce the risk of accidents in mines.

Keywords: SURVEYING DIGITAL PLAN, FRACTURING OF MASSIF, GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS, COMPUTER FORCASTING.

REFERENCES

1. Gagarin A.A., Ignatov Yu.M., Rout G.N., Lataguz M.M. Analiz marksheyderskikh tsifrovyykh planov dlya posleduyushchego vklyucheniya ikh v geoinformatsionnyuyu sistemu (The analysis of digital survey plans for subsequent inclusion in a geographic information system). Vestnik KuzGTU = Vestnik of Kuzbass State Technical University. 2017. № 1. pp. 45–52.
2. 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.
3. Instruktsiya po geologicheskim rabotam na ugolnykh mestorozhdeniyakh Rossiyskoy Federatsii (Instruction on geological works at coal deposits of the Russian Federation). SPb., 1993. 147 p.
4. RD 07-603-03. Okhrana neдр i geologo-marksheyderskiy kontrol. Instruktsiya po proizvodstvu marksheyderskikh rabot (Subsurface Resources conservancy and mine-surveying control. Instruction for surveying works). M.: FGUP Gosudarstvennoe predpriyatie NTTs po bezopasnosti v promyshlennosti GGTN Rossii, 2004. 120 p.
5. GOST 2.852-75. Gornaya graficheskaya dokumentatsiya. Izobrazhenie elementov gornyykh ob"ektov (Rock graphic documentation. Symbols for rock objects). Available at: «Tekhekspert» system.
6. RD 07-408-01. Polozhenie o geologicheskoy i marksheyderskoy obespechenii promyshlennoy bezopasnosti i okhrany neдр (Statute Concerning Geological and Surveying Support for Industrial Safety and the Protection of Subsurface Resources). Available at: «Tekhekspert» system.
7. Zykov V.S. Vnezapnye vybrosy uglja i gaza i drugie gazodinamicheskie javleniya v shahtah (Coal and gas outburst and other gasdynamic phenomena in mines). Kemerovo: OOO «Firma POLIGRAF», 2010. 334 p.
8. Batugin A.S. Tektonofizicheskaya model gorno-tektonicheskikh udarov s podvizhkami krylev krupnykh tektonicheskikh narusheniy (A tectonophysical model of mine tectonic shocks with movement of sides of tectonic deformation). GIAB = Mining informational and analytical bulletin (Scientific and technical journal), «Trudy nauchnogo simpoziuma «Nedelya Gornyaka — 2010». 2010. pp. 252–264.
9. Ignatov Yu.M. Sovmestnoe ispolzovanie gorno-geometricheskikh dannykh i tsifrovogo marksheyderskogo plana v geoinformatsionnoy sisteme dlya poiska opasnykh zon (Multiple use of mining-and-geometrical data a digital surveying plan in the geoinformation system for the search of hazardous areas). Vestnik KuzGTU = Vestnik of Kuzbass State Technical University. 2010. № 1. pp. 139–143.
10. Gzovskiy M.V. Osnovy tektonofiziki (Fundamentals of tectonophysics). M.: Nauka, 1975. 536 p.