

**УДК 622.831:004**

Игнатов Ю.М., доцент, к.т.н.  
Роут Г. Н., доцент, к.т.н.  
(КузГТУ, г. Кемерово)  
Ignatov Yuri M, associate Professor.  
Rout Gennady N., associate Professor.  
(KuzSTU, Kemerovo)

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ ГЕОИНФОРМАЦИОННОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ГОРНОГО  
ПРЕДПРИЯТИЯ**

**APPLICATION OF THE TECHNIQUE OF GEOINFORMATION  
MODELING OF GEOLOGICAL CONDITIONS OF A MINING  
ENTERPRISE**

*Аннотация*

*В статье приведены результаты прогнозирования геологических условий выемочного участка лавы 70-10, пласта 70, шахты «Талдинская-Западная-2» по методике геоинформационного моделирования. Приведены фактические данные геологических условий путем измерения давления пород на секции крепи с помощью датчиков. Результаты наблюдений подтвердили правильность прогнозирования геологических условий выемочного столба 70-10.*

*Annotation*

*The article presents the results of forecasting the geological conditions of the excavation site of lava 70-10, formation 70, Taldinskaya-Zapadnaya-2 mine using the geoinformation modeling technique. The actual data of geological conditions are presented by measuring the pressure of rocks on the support section using sensors. The results of the observations confirmed the correctness of forecasting the geological conditions of the excavation column 70-10.*

Проблема совершенствования методов прогноза строения и свойств толщи пород и перевод этих методов в компьютерный вариант с помощью пакетов программ для горного предприятия является актуальной. Одним, из наиболее перспективных направлений решения данной проблемы, является создание методики прогнозирования с использованием, геоинформационных систем (ГИС), в которой базовым методом является геоинформационное моделирование (ГИМ).

Разрабатываемая нами методика построения ГИМ горного предприятия основана на определённых концепциях: базовых понятиях, классификации, пространственных отношениях, системном подходе,

структурном анализе, построении информационных единиц, выборе методов преобразования исходных данных и далее в статье мы приводим часть из них.

Для использования ГИМ на горных предприятиях необходимо иметь базу цифровых картографических и атрибутивных данных. Цифровые картографические данные, представленные в виде цифрового плана горных выработок, уже созданы на всех шахтах. Выполнен переход к цифровым моделям объектов и создана цифровая горная графическая документация с требованиями Межгосударственного стандарта [1]. Для построения ГИМ, необходимо цифровую графическую документацию дополнить базами данных с цифровым описанием геополей и включить их в выбранную ГИС. Но, на настоящий момент, не разработана система контроля исходных данных, пригодных для использования в цифровых моделях, поэтому в создаваемой нами методике мы предлагаем систему контроля, которая состоит из трёх этапов:

Этап 1. Инструментальный, который регламентирует точность и технологию проведения измерительных работ, маркшейдерские измерения в выработках, зарисовки и замеры геолога, методы оформления результатов и допуски.

Этап 2. Методический, который базируется на нормативных документах по методам векторизации информации для создания цифровых планов горных выработок, и регламентируется ГОСТами по линии Федерального органа по геодезии и картографии.

Этап 3. Аналитический, который включает формулировку выбранной задачи, определение основного объекта, установление системного отношения с совокупностью объектов и обоснование методов расчётов по оценке свойств выбранного объекта.

На первом этапе включаются в базу данных результаты измерений, технология и допуски которых прописаны в документах [2,3]. В развитие этих методов - внедрение автоматизированных комплексов сбора данных при помощи датчиков на крепях.

На втором этапе включаются в базу документы, соответствующие требованиям цифрового картографирования, которое в России хорошо развито и описывается нормативными документами по линии Федерального органа исполнительной власти по геодезии и картографии [4].

В формирующейся Российской инфраструктуре цифровые горно-геологические и горно-технологические данные должны быть ориентированы на современные представления о принципах создания пространственных информационных систем.

Таким образом, для использования цифрового маркшейдерского плана (ЦМП) горных выработок в ГИМ, должны выполняться следующие основные правила при его создании:

1. За точную геометрическую основу принимается маркшейдерский план горных выработок, который проверяется с помощью контроля точности, выполняемую путём сравнения расчётных погрешностей данных с допусками.

2. ЦМП должен определять структуру и содержание пространственной информации, входящей в состав ЦП и должен обладать наличием топологических связей между объектами.

3. ЦМП должен включать цифровую модель массива горных пород состоящую из комплекта матриц показателей:

- матрицы структуры, формы гипсометрии пласта;
- матрицы состава пород кровли и почвы пласта.

4. Выбор метода интерполяции и схемы генерации в непрерывные поля геомеханических характеристик должен производиться для каждого отдельного показателя в зависимости от соотношения дисперсий закономерной и случайной составляющих в изменчивости.

5. ЦМП является основой для зонирования площади выемочного участка по геологическим условиям, так как на его основе ГИМ позволяет производить вычисление интегральных характеристик полей, создавать новые слои тематической информации, прогнозные планы.

6. Прогнозирование и решение инженерных задач должно осуществляться путём создания реализуемых функций в виде соответствующих алгоритмов в прикладных модулях.

Использования ГИМ горного предприятия для решения задачи прогнозирования геологических условий выемочного участка было выполнено для объекта – выемочный столб лавы 70-10, пласта 70, шахты «Талдинская-Западная-2». Произведено конвертирование векторного маркшейдерского плана горных выработок в ГИС-технологии и созданы реляционные таблицы атрибутивных данных по материалам геологического отчёта по Северно-Талдинскому месторождению, материалов геолого-маркшейдерской службы шахты «Талдинская-Западная-2». Создана база горно-геологического данных выемочного участка см. рис №1, с контролем данных согласно этапов 1и 2.

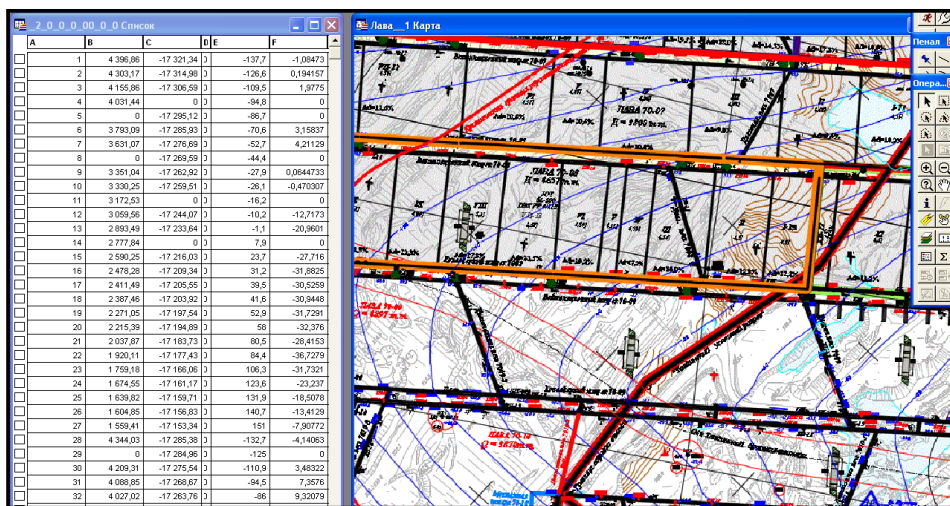


Рис.1. Копия фрагмента цифрового плана горных выработок и часть базы данных по пласту 70 шахты Талдинская -2

На третьем этапе построения ГИМ, была сформулирована задача произвести зонирование площади выемочного участка лавы 70-10 по устойчивости кровли. Используем термины инструкции по геологическим работам [3] «Интегральное свойство кровли это управляемость кровли - способность обеспечения бесперебойной работы очистного забоя, и зависит от устойчивости и нагрузочных свойств».

Далее по методике ГИМ производилось построение пространственных полей, создание цифровых моделей с применением аналитических и моделирующих функций в ГИС. Приводим далее результаты расчёта значений устойчивости кровли пласта 70 с помощью вычисления прогнозируемых шагов периодического обрушения непосредственной и основной кровли:

- прогнозируемые последующие шаги обрушения кровли по рекомендациям проф. В. Д. Слесарева, для рассматриваемого слоя производились по методу [5], и составили для непосредственной кровли 6.8 м, для основной кровли 17.1м;

- прогнозируемые последующие шаги обрушения кровли согласно «Временному руководству по расчёту первичного и последующего шагов обрушения пород кровли» [6], составили для непосредственной кровли 6.1 м, для основной кровли 16,4 м. Решена задача зонирования горного массива, по фактору вторичных осадок кровли, с визуализацией результатов на прогнозных планах горных работ по нашей методике [7]. Эти полученные результаты прогнозирования опубликованы в нашей статье [8] до начала очистных работ в лаве 70-10.

При ведении работ по добыче угля в лаве велись инструментальные исследования фактических шагов обрушения кровли выемочного участка 70–10, они изложены в отчёте [9], в создании которого авторы статьи принимали участие. Измерения давления пород на секции крепи с

04.10.2017 г. по 24.11.2017 г. [9] производились с помощью датчиков давления радио (ДДР ИМКВ), установленных на секциях механизированной крепи №5, №66, №125.

В период (09.11.17г.) происходило обрушение непосредственной кровли, что подтверждают данные с мобильных датчиков ДДР. Максимальные значения давлений в стойках секций крепи распределяются равномерно от центра выемочного участка к штрекам (см. рис. 2).

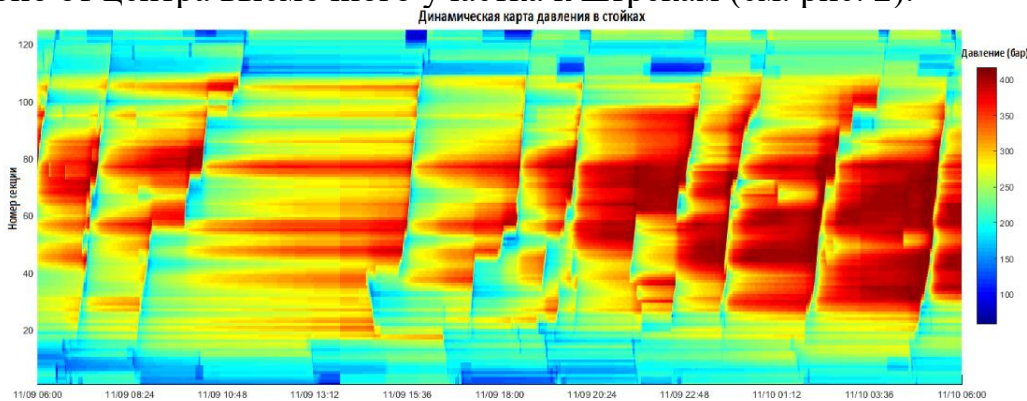


Рис. 2 Динамическая карта давления в стойках с 09.11.17 г. по 10.11.17 г.

Определение шагов обрушения кровли производилось исходя из анализа данных наблюдений за давлением в гидростойках крепи. Оценивались циклы обрушения кровли и результаты сведены в таблицу.

Таблица

Шаги обрушения кровли по показаниям датчиков

Кровля	Период наблюдений	Количество циклов обрушения	Шаг обрушения кровли	Средний шаг обрушения	Среднее время обрушения, час
Непосредственная	С 04.10.2017 по 31.10.2017 Секция 66	7	5.6	7.5	19.0
		8	6.4		
		9	7.2		
		9	7.2		
		6	4.8		
		7	5.6		
		9	7.2		
		8	6.4		
	С 01.11.2017 по 16.11.2017	8	6.4	6.96	20.2
		9	7.2		
		8	6.4		
		10	8		

Кровля	Период наблюдений	Количество циклов обрушения	Шаг обрушения кровли	Средний шаг обрушения	Среднее время обрушения, час
	Секция 66	10	8		
		9	7.2		
		8	6.4		
		9	7.2		
		5	4		
		11	8.8		
	С 16 по 24.11.2017 Секция 66	9	7.2	6.4	25
		7	5,6		
		8	6.4		
Основная	С 01.11.2017 по 24.11.2017 Секция 66	17	13.6	6.93	54.83
		18	14.4		
		18	14.4		
		25	20		
		25	20		
		24	19.2		

Из анализа данных с датчиков давления, сделаны следующие выводы:

1. Обрушение пород кровли происходит поэтапно по мере подвигания забоя, первоначально обрушается непосредственная (4–10 м) кровля, а за ней основная (16–45 м) кровля пласта.

2. Шаги обрушений пород непосредственной кровли на центральном участке (секция №66, датчик №23) выемочного блока 70–10 в среднем составили 6,61 м, при среднем времени обрушения пород 20,95 ч.

3. Шаги обрушений пород основной кровли на центральном участке (секция №66, датчик №23) выемочного блока 70–10 в среднем составили 16,93 м, при среднем времени обрушения пород 54,83 ч.

Исходя из всего вышеизложенного, можно сделать вывод, что результаты наблюдений подтвердили правильность прогнозирования геологических условий выемочного столба 70-10, выполненных с использованием построенной ГИМ геологических условий горного предприятия.

### Выводы

1. Одним из факторов, которые обуславливают проектные риски угледобычи это возможные обрушения пород кровли с образованием куполов. При этом за счёт повышенного горного давления происходит отжим угля от забоя лавы, кровля обнажается с опережением забоя до 3,0

метров и сильно снижает результаты работ со срывом плановых показателей.

2. Прогнозирование горно-геологических условий, с использованием ГИМ, совершенствует информационный ресурс проекта угледобычи и позволяет принимать более рациональные решения.

3. Преимуществом прогнозирования при компьютерном моделировании, является появление возможности зонирования выемочного столба по горно-геологическим условиям для последующего учёта такой детализации при принятии проектных решений.

### Список литературы

1. Межгосударственный стандарт. Горная графическая документация. Изображение элементов горных объектов. – Введ. 01.01.1980. – переизд. 01.06.2002. – М.: ВНИИНМАШ, 1980. – 15 с.

2. Приказ Ростехнадзора от 19.05.2023 N 186 "Об утверждении Правил осуществления маркшейдерской деятельности" (Зарегистрировано в Минюсте России 31.05.2023 N 73638).

3. Инструкция по геологическим работам на угольных месторождениях Российской Федерации. – СПб, 1993. – 147 с.

4. Анализ маркшейдерских цифровых планов для последующего включения их в геоинформационную систему // Гагарин А.А., Игнатов Ю.М., Роут Г.Н., Латагуз М.М.. // Вестник Кузбасского государственного технического университета, 2017. № 1. – с. 25-34.

5. Анализ результатов оценки устойчивости кровли пласта для совершенствования методики горно-геологического прогноза выемочного участка Игнатов Ю.М., Калинин С.И., Роут Г.Н., Гагарин А.А. // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2022. № 2. С. 30–40.

6. Временное руководство по расчёту первичного и последующего шагов обрушений пород кровли при разработке угольных пластов длинными столбами по простиранию в условиях Кузбасса. – Кемерово, 1973. – 26 с.

7. Метод зонирования горного массива по фактору геологических условий // Игнатов Ю.М., Роут Г.Н., Харитонов И.Л., Игнатов М.Ю. // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2023. № 4. С. 3–13.

8 Мешков А.А., Ю.М. Игнатов, Г.Н. Роут, В.П. Тациенко. Внедрение ГИС-технологий для прогноза горно-геологических условий-очередной шаг к обеспечению промышленной безопасности на опасных производственных объектах. // Всероссийская научно-практическая конференция, посвящённая принятию Федерального закона №116-ФЗ «О

промышленной безопасности опасных производственных объектов» 19 мая 2017 года. Тезисы докладов.— М.: ЗАО НТЦ ПБ, 2017. – с.191-198.

9. Научное сопровождение отработки запасов выемочного столба 70-10 Шахта «Талдинская-Западная-2». // Отчёт по научно исследовательской работе. Кемерово. ИПЭБ. 2018. 159 с.

### Reference

1. The interstate standard. Mining graphic documentation. The image of elements of mountain objects. – Introduction. 01.01.1980. – reprinted on 06/01/2002. – Moscow: VNIINMASH, 1980. – 15 p.

2. Rostekhnadzor Order No. 186 dated 05/19/2023 "On approval of the Rules for conducting Surveying activities" (Registered with the Ministry of Justice of the Russian Federation on 05/31/2023 No. 73638).

3. Instructions for geological work on coal deposits of the Russian Federation. – St. Petersburg, 1993. – 147 p.

4. Analysis of digital surveying plans for their subsequent inclusion in the geoinformation system // Gagarin A.A., Ignatov Yu.M., Routh G.N., Lataguz M.M.. // Bulletin of the Kuzbass State Technical University, 2017. No. 1. – pp. 25-34.

5. Analysis of the results of assessing the stability of the roof of the formation for improving the methodology of mining and geological forecasting of the excavation site Ignatov Yu.M., Kalinin S.I., Routh G.N., Gagarin A.A. // Bulletin of the Scientific Center of VostNII for industrial and environmental safety. 2022. No. 2. pp. 30-40.

6. A temporary guide to the calculation of the primary and subsequent steps of roof rock collapses during the development of coal seams with long pillars along the stretch in the conditions of Kuzbass. Kemerovo, 1973. – 26 p.

7. The method of zoning a mountain range according to the factor of geological conditions // Ignatov Yu.M., Routh G.N., Kharitonov I.L., Ignatov M.Yu. // Bulletin of the Scientific Center of VostNII for industrial and environmental safety. 2023. No. 4. pp. 3-13.

8 Meshkov A.A., Y.M. Ignatov, G.N. Routh, V.P. Tatsienko. The introduction of GIS technologies for forecasting mining and geological conditions is another step towards ensuring industrial safety at hazardous production facilities. // All-Russian Scientific and Practical conference dedicated to the adoption of Federal Law No. 116-FZ "On Industrial Safety of Hazardous Production Facilities" on May 19, 2017. Abstracts of reports.— Moscow: CJSC STC PB, 2017. – pp.191-198.

9. Scientific support of mining of the excavation column 70-10 Mine "Taldinskaya-Zapadnaya-2", // Report on scientific research work. Kemerovo. IPEB. 2018. 159 p.