

DOI: 10.25558/VOSTNII.2025.15.51.002

УДК 622.235.026:004

© Ю. М. Игнатов, Г. Н. Роут, 2025

Ю. М. ИГНАТОВ

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



Г. Н. РОУТ

канд. техн. наук, доцент
КузГТУ, г. Кемерово
e-mail: routgn@kuzstu



ОПЫТ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ИНСТРУМЕНТАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ГЕОМЕХАНИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ВЫЕМОЧНОГО УЧАСТКА

В статье изложены положения разрабатываемой методики геоинформационного моделирования процесса проявления горного давления в забое при очистных работах в лаве. Если параметры воздействия горного массива на комплекс начинают резко отличаться от прогнозируемых и принятых в проекте, необходимо быстро принимать управленческие решения для адаптации к новым условиям. Такое явление вызвано нарушением горного массива и показывает недостаточную точность прогнозирования. В статье показаны результаты прогнозирования горно-геологических условий и произведено сравнение прогнозов с фактическими данными, полученными путём инструментальных измерений геомеханических показателей при работе выемочного участка лавы 70-10 шахты «Талдинская-Западная-2».

При исследованиях применяется компьютерная обработка исходных данных, производится моделирование геомеханических условий и оценка влияния структурных особенностей массива горных пород на временные периоды и характер обрушения кровли при работе выемочного участка.

Приведены результаты анализа инструментальных измерений давления пород на секции крепи с помощью датчиков, для оценки параметров обрушаемости горных пород и установления фактических шагов обрушения кровли. Результаты исследований подтвердили правильность прогнозирования горно-геологических условий выемочного столба, выполненного и опубликованного данными авторами до начала очистных работ в лаве 70-10.

Ключевые слова: ПРОГНОЗИРОВАНИЕ, ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ, ГЕОМЕХАНИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ, ВЫЕМОЧНЫЙ УЧАСТОК.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема совершенствования методов прогноза строения и свойств горного массива и перевод этих методов в компьютерный вариант с помощью пакетов программ является

актуальной. В формирующейся инфраструктуре горных предприятий цифровые горно-геологические и горнотехнологические данные должны быть ориентированы на современные представления о принципах создания пространственных информационных

систем. Разрабатываемые специалистами горного дела информационные системы должны соответствовать геоинформационным принципам, предъявляемым:

- к постановке пространственных задач;
- к методам решения пространственных задач.

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). ГИМ основано на определённых концепциях: базовых понятиях, классификации, пространственных отношениях, системном подходе, структурном анализе, построении информационных единиц, выборе методов преобразования. Базовыми понятиями являются объект моделирования и метод моделирования.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В разрабатываемой нами методике построения ГИМ процесса проявления горного давления в забое при очистных работах в лаве предусматривается создание комплекта цифровых информационных моделей объектов: сети горных выработок, разведочных скважин, полей геологических условий и др. 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. В создаваемой нами методике, построение ГИМ выполняется в три этапа, для каждого из которых мы предлагаем метод контроля исходных данных, чтобы оценить пригодность их для использования в цифровых моделях.

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 для создания цифровых планов горных выработок, и регламентируется ГОСТами по линии Федерального органа по геодезии и картографии.

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

На первом этапе построения ГИМ в базу данных включаются результаты измерений, соответствующих допускам по точности для технологий, которых прописаны в документах [2, 3]. В развитие этого направления на горных предприятиях происходит внедрение автоматизированных комплексов сбора данных при помощи датчиков на крепях [4].

На втором этапе построения ГИМ, включаются в базу данных графические файлы, соответствующие требованиям цифрового картографирования [5,6]. Учитывая ответственность Федерального органа по геодезии и картографии за создание государственного фонда картографической продукции, нормативно-техническая документация по цифровизации пространственно-распределённых объектов разрабатывается с ориентацией на цифровые топографические карты (ЦК), цифровые топографические планы (ЦП), цифровые модели местности (ЦММ). Так, документы [5, 6] являются самыми близкими к практическим задачам по созданию цифровых планов горных выработок, которые могут быть использованы в ГИС-индустрии и ГИМ-моделировании.

На третьем этапе при выборе объекта моделирования и постановке пространственной задачи нами принята задача разработки метода геоинформационного моделирования для цифровизации прогнозирования горно-геологических условий, которая согласно инструкции [3] оформляется как документ

«Горно-геологический прогноз на выемочный участок». Объектами геологического прогноза являются: форма, строение и условия залегания угольного пласта, вмещающие угольный пласт породы, нарушенность пласта, устойчивость и обрушаемость вмещающих горных пород и др.

Создаваемая база показателей для горно-геологического прогноза и последующих проектных работ должна содержать исходные данные, регламентируемые документом [3]:

- геологических наблюдений и измерений в горных выработках;
- отчетов о детальной разведке и доразведке шахтного поля;
- работ маркшейдерской службы;
- геофизических работ;
- работ других служб шахты;
- научно-исследовательских и проектно-изыскательных работ.

На планы горных выработок наносятся данные о состоянии горных работ, о геологических условиях, о наличии и характере опасных зон, все точки пересечения пласта разведочными скважинами и др. На плане отражены точки измерений трещиноватости, места взятия проб, геологические нарушения и другие особенности строения горного массива.

Методы изучения формы и структуры горного массива изложены в обширной научно-технической литературе по горному делу. Разработаны методы и средства оценки пликативной и дизъюнктивной нарушенности и установлено, что при действии тектонических сил (напряжений), горный массив деформируется и образуется нарушенность залегания пласта двух видов:

- когда тектонические силы превышают предел упругости, но не выше предела прочности породы, то порода меняет форму и объем, но без разрыва сплошности и при этом образуются складки и флексуры, которые получают количество систем трещин и их ориентировку, обусловленную тектонофизическими законами проявления складчатых деформаций в различных геологических условиях;

— когда тектонические силы превышают предел прочности породы, то они деформируются с потерей сплошности, с образованием разрывных нарушений и тектонических трещин отрыва и скалывания.

В методике ГИМ, при выборе объекта моделирования, для функционирования системы геомеханического мониторинга, производится оценка нарушенности условий залегания пласта. Для обоснования устанавливаемых критериев нарушенности используем термины инструкции по геологическим работам «Интегральное свойство кровли — это управляемость кровли — способность обеспечения бесперебойной работы очистного забоя, и зависит от устойчивости и нагрузочных свойств» [3].

Задача моделирования массива горных пород заключается в описании способа определения значения показателя в каждой отдельной точке области моделирования, основанного на данных в опорных точках либо в аналитическом виде, либо в виде некоторого алгоритма, задающего последовательность операций для вычисления значения показателя. Практически это решается с помощью построения блочной геомеханической модели. Для цифровизации полей геомеханических условий проектируемого выемочного участка в качестве главной картографической основы, принимается созданный на шахте цифровой план горных работ, построенный по координатам маркшейдерской сети и содержащий координаты разведочных скважин. Все исходные материалы регистрируются с привязкой к точечным объектам (маркшейдерские точки, скважины) с фактическими координатами, наносятся на план и затем разными методами преобразуются в непрерывные поля геомеханических характеристик.

Авторами построена ГИМ шахты «Талдинская-Западная-2» для мониторинга работы выемочного участка лавы 70–10. Созданы реляционные таблицы атрибутивных данных по материалам геологического отчёта по Северно-Талдинскому месторождению и материалам геолого-маркшейдерской службы шахты «Талдинская-Западная-2».

Произведено создание цифровых моделей пространственных полей с применением аналитических и моделирующих функций в ГИС.

Приводим далее результаты прогнозируемых значений устойчивости кровли пласта 70. Прогнозируемые последующие шаги обрушения кровли по рекомендациям проф. В. Д. Слесарева, для рассматриваемого слоя производились по методу [7, 8], и составили для непосредственной кровли 6,8 м, для основной кровли 17,1 м. Решена задача зонирования горного массива, по градиенту деформаций, с визуализацией результатов на прогнозных планах горных работ по нашей методике [9]. Эти полученные результаты прогнозирования опубликованы в нашей статье [10] до начала очистных работ в лаве 70–10.

На рис. 1 представлена копия фрагмента цифрового плана горных выработок с прогнозируемой зоной повышенной трещиноватости. Затем при работе очистного забоя в этой зоне велись инструментальные наблюдения по методике, опубликованной в нашем отчёте [11].

Инструментальные исследования проводились с помощью датчиков давления радио (ДДР1), размещаемых в очистном забое, путём подключения их к гидравлическим стойкам секций механизированной крепи. Показания датчиков давления фиксировались с помощью устройства считывания и переноса информации (УСПИ–JN). По результатам измерений определялись максимальные и минимальные величины давления, происходящие в конкретные промежутки времени. На основании полученных данных определена характеристика интенсивности проявлений горного давления, вычислены фактические нагрузки на секции крепи механизированного комплекса и параметры фактических шагов обрушения пород непосредственной и основной кровли при отработке выемочного участка.

Измерения давления пород на секции крепи производилось с 04.10.2017 г. по 24.11.2017 г. Определение шагов обрушения кровли производилось с помощью показаний датчиков, установленных на секциях механизированной крепи в центральной части

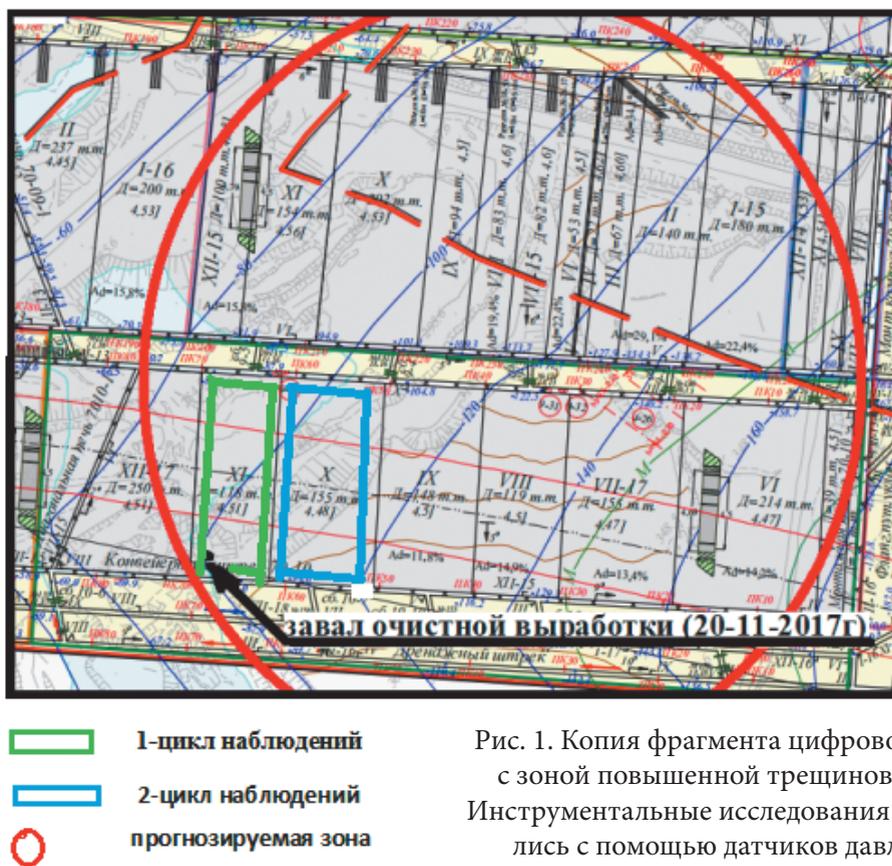


Рис. 1. Копия фрагмента цифрового плана с зоной повышенной трещиноватости. Инструментальные исследования проводились с помощью датчиков давления.

лавы и в районах сопряжений с конвейерным и вентиляционным штреками.

За период наблюдений установлено следующее: гидростойки крепи на всём протяжении выемочного участка 70–10, в течение выемочных циклов, работают в трёх режимах: в режиме заданного начального распора, в режиме нарастающего сопротивления, в режиме постоянного сопротивления. Способы интерпретации и анализа данных представлены на рис. 2.

Максимальное опорное давление в гидростойках было зафиксировано в центральной части выемочного участка 70–10 и составило 438 атмосфер (выше предела срабатывания предохранительного клапана).

За период наблюдения зафиксировано срабатывание аварийных клапанов сброса давления в гидростойках, на которых были установлены датчики давления. Аварийные клапана настроены на 420 атмосфер, поэтому следует считать исследуемый участок — зоной повышенного горного давления.

По результатам наблюдений 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 периодических обрушений пород непосредственной кровли на центральном участке выемочного блока 70–10 в среднем составили 6,61 м.

3. Шаги периодических обрушений пород основной кровли на центральном участке

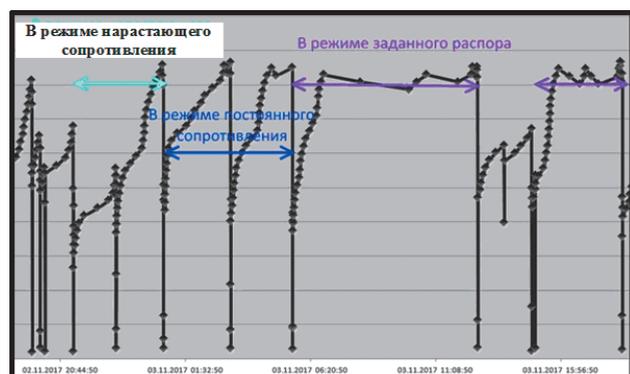


Рис. 2. Данные с мобильных датчиков ДДР1 на (2.11.2017–03.11.2017).

выемочного блока 70–10 в среднем составили 16,93 м.

20.11.17 в 01 ч. 32 мин. лава 70–10 встала на длительный период вследствие вывала пород из кровли в районе сопряжения выемочного участка 70–10 с конвейерным штреком 70–10.

Результаты исследований показали, что структура массива в выемочном столбе 70–10 изменяется в широких пределах:

- большая изменчивость мощности пластов и междупластьев;
- наличие зон повышенной трещиноватости и др.

Таким образом, анализ точности результатов применения ГИМ показал, что создание и использование данного метода, для прогнозирования зон локальных деформаций горного массива, является эффективным и может служить базовой основой для обоснования необходимости своевременного выполнения работ по повышению устойчивости боковых пород.

ВЫВОДЫ

1. Для обеспечения устойчивой работы скоростных механизированных очистных забоев необходимо своевременно обнаруживать изменение горно-геологических условий и принимать соответствующие меры по недопущению вывалов и повреждений крепи. Поэтому необходимо развивать методы прогнозной оценки нарушенности условий залегания пласта.

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

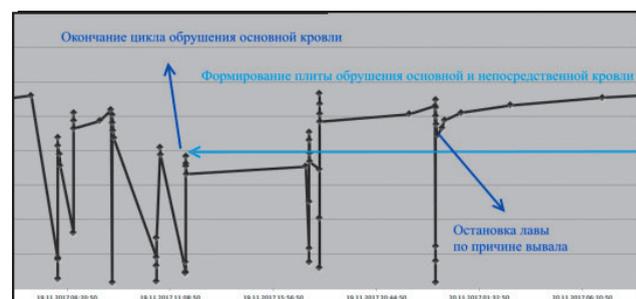


Рис. 3. Данные с мобильных датчиков ДДР1 на 20.11.17 г.

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. Об утверждении Правил осуществления маркшейдерской деятельности: приказ Ростехнадзора от 19.05.2023 N 186. Зарегистрировано в Минюсте России 31.05.2023 N 73638.
3. Инструкция по геологическим работам на угольных месторождениях Российской Федерации. СПб, 1993. 147 с.
4. Коршунов Г. И., Логинов А. К., Шик В. М., Артемьев В. М. Геомеханика на угольных шахтах. Том 3. Подземные горные работы. Москва, 2011г. 387 с.
5. ГОСТ 51607–2000. Карты цифровые топографические. Правила цифрового описания картографической информации. Общие требования.
6. ГОСТ 52440–2005. Модели местности цифровые. Общие требования.
7. Гагарин А. А., Игнатов Ю. М., Роут Г. Н., Латагуз М. М. Анализ маркшейдерских цифровых планов для последующего включения их в геоинформационную систему // Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2017. № 1. С. 25–34.
8. Игнатов Ю. М., Калинин С. И., Роут Г. Н., Гагарин А. А. Анализ результатов оценки устойчивости кровли пласта для совершенствования методики горно-геологического прогноза выемочного участка // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2022. № 2. С. 30–40.
9. Игнатов Ю. М., Роут Г. Н., Харитонов И. Л., Игнатов М. Ю. Метод зонирования горного массива по фактору геологических условий // Вестник Научного центра ВостНИИ по промышленной и экологической безопасности. 2023. № 4. С. 3–13.
10. Мешков А. А., Игнатов Ю. М., Роут Г. Н., Тациенко В. П. 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. 2017. С. 191–198.
11. Научное сопровождение отработки запасов выемочного столба 70-10 Шахта «Талдинская-Западная-2» // Отчёт о НИР: рук. Тациенко В. П., исполн. Калинин С. И., Игнатов Ю. М., Роут Г. Н. Кемерово, 2018. 159 с.

DOI: 10.25558/VOSTNII.2025.15.51.002

UDC 622.235.026:004

© Y. M. Ignatov, G. N. Routh, 2025

Yu. M. IGNATOV

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

G. N. ROUTH

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

EXPERIENCE IN FORECASTING AND INSTRUMENTAL CONTROL OF THE GEOMECHANICAL CONDITIONS OF THE EXCAVATION SITE.

The article outlines the main provisions of the geoinformation modeling methodology for the process of manifestation of rock pressure in the face during treatment operations in lava. If the parameters of the

impact of the mountain range on the complex differ from those predicted and accepted in the project, it is necessary to make management decisions quickly to adapt to new conditions. The selection and justification of criteria for structural disturbance of the mountain range is carried out. The results of forecasting mining and geological conditions are shown and the forecasts are compared with the actual data obtained by instrumental measurements of geomechanical parameters during the operation of the excavation site of lava 70-10, the Taldinskaya-Zapadnaya-2 mine.

The research uses computer processing of initial data, modeling of geomechanical conditions and assessment of the influence of structural features of the rock mass on time periods and the nature of roof collapse during the excavation site.

The results of instrumental measurements of rock pressure on the support section using sensors are presented to assess the parameters of rock collapse and establish the actual steps of roof collapse. The research results confirmed the correctness of the prediction of the mining and geological conditions of the excavation column, performed and published by these authors before the start of cleaning operations in lava 70-10.

Keywords: FORECASTING, INSTRUMENTAL CONTROL, GEOMECHANICAL CONDITIONS, EXCAVATION SITE.

REFERENCES

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. On approval of the Rules for conducting surveying activities: Rostekhnadzor Order No. 186 dated 05/19/2023. 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. Korshunov G. I., Loginov A. K., Shik V. M., Artemyev V. M. Geomechanics in coal mines. Vol. 3. Underground mining. Moscow, 2011. 387c.
5. GOST 51607–2000. Digital topographic maps. Rules for the digital description of cartographic information. General requirements.
6. GOST 52440–2005. Terrain models are digital. General requirements.
7. Gagarin A. A., Ignatov Yu. M., Routh G. N., Lataguz M. M. Analysis of digital surveying plans for their subsequent inclusion in the geoinformation system // Bulletin of the Kuzbass State Technical University [Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta]. 2017. No. 1. P. 25–34.
8. Ignatov Yu. M., Kalinin S. I., Routh G. N., Gagarin A. A. Analysis of the results of the assessment of the stability of the roof of the formation to improve the methodology of mining and geological forecasting of the excavation site // Bulletin of the Scientific Center of VostNII for industrial and environmental safety [Vestnik Nauchnogo centra VostNII po promyshlennoj i ekologicheskoj bezopasnosti]. 2022. No. 2. P. 30–40.
9. Ignatov Yu. M., Routh G. N., Kharitonov I. L., Ignatov M. Yu. Method of zoning of a mountain range by the factor of geological conditions // Bulletin of the Scientific Center of VostNII for industrial and environmental safety [Vestnik Nauchnogo centra VostNII po promyshlennoj i ekologicheskoj bezopasnosti]. 2023. No. 4. P. 3–13.
10. Meshkov A. A., Ignatov Yu. M., Routh G. N., Tatsienko V. P. 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 [Vserossijskaya nauchno-prakticheskaya konferenciya, posvyashchyonnaya prinyatiyu Federalnogo zakona № 116-FZ «O promyshlennoj bezopasnosti opasnyh proizvodstvennyh obektov» 19 maya 2017 goda]. Moscow: CJSC STC PB, 2017. P. 191–198.
11. Scientific support of mining of the excavation column 70-10 Mine «Taldinskaya-Zapadnaya-2» // Research report: hands. Tatsienko V. P., executor Kalinin S. I., Ignatov Y. M., Routh G. N. Kemerovo. IPEB. 2018. 159 p.