

А.Б. Владыко, Д.А. Калиушко

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЗАЩИТЫ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК СРЕДСТВАМИ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ИХ СОСТОЯНИЯ

Рассмотрены горно-геологические условия, влияющие на состояние подземных горных выработок. Выполнен анализ горной выработки как системы взаимодействия крепи с массивом. Разработана структура и алгоритм имитационной модели. Проведено имитационное моделирование вероятности разрушения горных выработок при различных глубинах разработки.

ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗАХИСТУ ГІРНИЧИХ ВИРОБОК ЗАСОБАМИ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ЇХ СТАНУ

Розглянуто гірничо-геологічні умови, що впливають на стан підземних гірничих виробок. Виконано аналіз гірничої виробки як системи взаємодії кріплення з масивом. Розроблено структуру та алгоритм імітаційної моделі. Проведено імітаційне моделювання ймовірності руйнування гірничих виробок при різних глибинах розробки.

SUBSTANTIATION OF MINE WORKINGS PROJECTION PARAMETERS ACCORDING TO SIMULATION MODELING OF THEIR CONDITION

We consider mining and geological conditions affecting the condition of underground mine workings. The analysis of the underground mining as a system of interaction with an array of bolting. The structure of the algorithm and simulation model. Conducted simulation probability of failure mining development at various depths.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Горно-геологические условия при разработке месторождений подземным способом сложны вследствие изменения прочности окружающих пород. Исходя из этого, подземные выработки не обеспечивают надежную работу транспортировки и добычи полезного ископаемого. Дополнительные проблемы создают так же большая протяженность подземных горных выработок и невозможность полного осушения массива горных пород. Затраты на содержание выработок очень часто зависят от того насколько совершенны методики про-

гнозирования и методы обеспечения устойчивости.

ВЫДЕЛЕНИЕ НЕРЕШЕННОЙ ПРОБЛЕМЫ

Сложность проблемы прогнозирования устойчивости горных выработок объясняется тем, что на выработку воздействуют повышенные напряжения, зависящие от различных факторов горного давления, физико-механических свойств массива и взаимодействия выработки с массивом. В соответствии с этим подземная выработка представляет собой сложную систему, устойчивость которой зависит от случайных

взаимодействий крепи с массивом. Значительный вклад в прогнозирование устойчивости горных выработок внесли работы Бондаренко В.И., Виноградова В.В., Новиковой Л.В., Ковалевской И.А., Шашенко А.Н. и др.

Для решения задач устойчивости горных выработок у авторов возникла необходимость выполнить комплекс исследований, включающий:

- вероятность разрушения горной выработки при воздействии окружающего массива, состоящего из различных типов пород;

- разработка программ для имитационного моделирования с использованием современных пакетов программирования Simulink и MATLAB®;

- разработка методов имитационного моделирования процессов и явлений влияния окружающего массива на выработку.

ФОРМУЛИРОВАНИЕ ЦЕЛИ РАБОТЫ

Целью работы является анализ основных характеристик процессов, протекающих в системе «горная выработка – породный массив», а именно:

- физико-механические свойства окружающего массива;

- поле напряжений, воздействующее на выработку;

- сопротивление крепи.

В соответствии с целью имитационного моделирования рассмотрим следующие варианты:

- устойчивость горной выработки при вариации прочности массива;

- вероятность разрушения горных выработок.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Рассмотрим взаимодействие горной выработки с окружающей средой с точки зрения системного анализа. Внешняя среда вокруг выработок оказывает воздействия деформациями пород и фильтрации воды,

которые зависят от коэффициентов концентрации напряжений и водопритоков.

Внутренняя среда выработки и окружающая среда находится во взаимной зависимости и взаимной обусловленности (рис. 1). Если через внешнюю среду воздействует поле напряжений, то и во внутренней среде работает защита (крепление выработки) и происходит частичная деформация выработки. Изменения внутренней среды выработки приводят к изменениям внешней среды (поля напряжений) и наоборот.

Подсистема (выработка) не смешивается с внешней средой, она взаимодействует с ней, сохраняя равновесие. Равновесие – это способность системы возвращаться в устойчивое состояние, компенсируя возмущающее воздействие среды. Нарушение равновесия приводит к катастрофическим последствиям (вывалам, большим водопритокам в короткое время и т.д.).

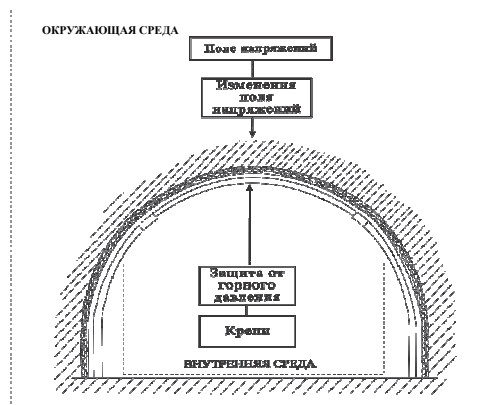


Рис. 1. Схема взаимодействия системы «выработка – окружающая среда»

При сооружении горных выработок часто бывает экономически выгодно использовать математические модели для моделирования напряжений вокруг выработок, так как натурные эксперименты не всегда возможны.

Математическая модель представляет собой абстрактное описание системы объ-

екта с использованием математических уравнений. Одним из видов моделирования является имитационная модель, при которой логико-математическая модель исследуемой системы состоит из алгоритмов и программ, реализуемых на компьютере при проектировании, анализе и оценке функционирования объекта [1].

Под статистическим моделированием понимают машинное воспроизведение функционирования вероятностных моделей либо исследования детерминированных процессов, заданных в виде математических моделей с логическими элементами с помощью статистических испытаний (метод Монте-Карло). Особенностью статистического моделирования есть случайное задание данных с известным законом распределения и, как следствие, вероятностное оценивание характеристик исследуемых процессов. Статистическое моделирование есть эффективный метод исследования слабо организованных систем с несложной логикой функционирования.

В большинстве случаев современные средства моделирования позволяют обеспечить высокий уровень адекватности модели. Одним из таких средств есть Simulink – интерактивный инструмент для моделирования, имитации и анализа динамических систем. Оно дает возможность строить графические блок-диаграммы, имитировать динамические системы, исследовать работоспособность систем и совершенствовать проекты.

Simulink полностью интегрирован с Matlab, обеспечивая доступ к широкому спектру инструментов анализа и проектирования.

АЛГОРИТМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Рассмотрим порядок формирования алгоритма имитационного моделирования:

1. Определения исходных данных прочности пород вокруг подземных выработок.
2. Определение вида закона распределения (нормального или логнормального)

прочности горных пород вокруг подземных выработок.

3. Моделирование с использованием Simulink для определения коэффициента запаса прочности (резерв прочности) и характеристики безопасности Δ .

4. Определение вероятности разрушения контура выработки с помощью интеграла вероятности Гаусса [3].

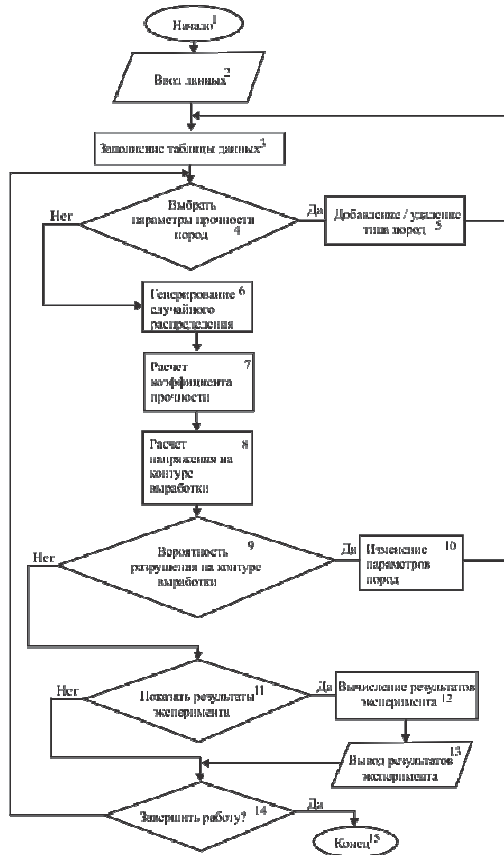


Рис. 2. Алгоритм имитационной модели

Общая схема алгоритма имитационного моделирования основных процессов состоящих из различных модулей, которые подразделяются на основные и вспомогательные представлена на рис. 2. К основным относятся модули: 3, 6, 7, 8. Остальные модули можно рассматривать как вспомогательные. Они служат для ввода и

вывода данных (2, 13), изменения установленных параметров моделирования (9), определения режима работы программы (4, 5, 10), вычисления требуемых показателей (11, 12), а также обеспечения взаимодействия и функционирования основных модулей алгоритма.

Модуль № 2. Блоки исходных данных состоят из двух подразделов:

1. Физико-механические свойства пород, окружающих выработку.

2. Технологические параметры горной выработки (форма поперечного сечения и геометрические размеры) и горно-технологические условия ее проведения.

Модуль № 3. В данном модуле осуществляется заполнение таблицы исходных данных.

Модуль № 4. Выбор параметров прочности горных пород и расчет прочности в зависимости от обводненности.

Модуль № 5. В данном модуле осуществляется работа с базой данных: выбор или удаление типов пород.

В модуль № 6 входит генерирование случайного распределения величин.

В модуль № 7 следует определить вероятность разрушения пород на контуре горной выработки, методика оценки которой достаточно отработана и основана на вычислении коэффициента запаса прочности (резерв прочности) и характеристики безопасности [2]:

$$\Delta = \frac{n-1}{\sqrt{n^2 v_{сж}^2 + v_{\theta}^2}}, \quad (1)$$

где n – коэффициент запаса прочности;

$v_{сж}$ и v_{θ} соответствующие коэффициенты вариации прочности и напряжения.

Модуль № 8. Значение коэффициента запаса прочности

$$n = \frac{\bar{\sigma}_{сж}}{\sigma_{\theta}}, \quad (2)$$

где $\bar{\sigma}_{сж}$ и σ_{θ} – прочность массива и напряжения на контуре выработки;

Напряжения на контуре выработки

принимаются постоянными

$$\sigma_{\theta} = 2\gamma H, \quad (3)$$

где γ и H – прочность массива и напряжения на контуре выработки.

Коэффициент вариации прочности $v_{сж}$, %

$$v_{сж} = \frac{s}{R} \cdot 100, \quad (4)$$

где s – среднее квадратичное отклонение частных результатов испытания от средней прочности \bar{R}

$$s = \sqrt{\frac{\sum(R - \bar{R})^2}{k-1}}, \quad (5)$$

Средняя прочность

$$\bar{R} = \sum \frac{R}{k}, \quad (6)$$

где R – предел прочности отдельного образца;

k – количество испытанных образцов.

Модуль № 8. Коэффициент вариации напряжения v_{θ} принимается равным изменчивости пород $v_{\theta} = v_{сж}$.

Модуль № 9. Вероятность разрушения контура выработки, выраженная в долях от периметра, определяется с помощью интеграла вероятности Гаусса

$$V = 0,5 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{\Delta} e^{-\frac{t^2}{2}} dt. \quad (7)$$

ПРИМЕР РАСЧЕТА С ПРИМЕНЕНИЕМ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Месторождение богатых железных руд, разрабатываемое ЗАО «Запорожский железорудный комбинат», представлено крутопадающей залежью мощностью до 90 м. Висячий блок представлен кварцитами, а лежащий – песчаниками и сланцами. Между ними залегает песчано-сланцевая прослойка мощностью до 10 м.

Целью моделирования было определить вероятность разрушения горных выработок, заложенных на горизонтах от 300 до 900 м и на прогнозной глубине до 1200 м.

Имитации выполнялась с помощью модели Simulink, структурная схема которой представлена на рис. 2. Пример результатов моделирования показан на рис. 3.

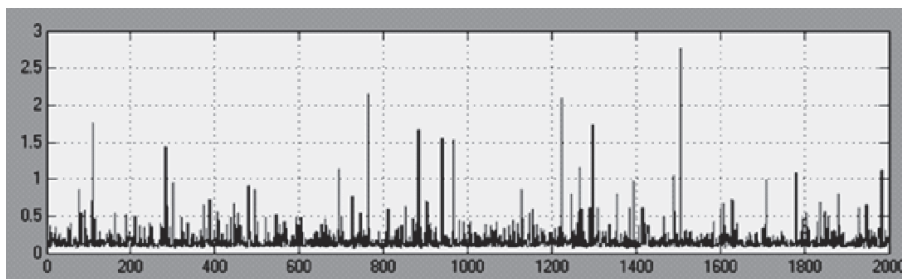


Рис. 3. Результаты моделирования блока Score

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

В результате проведенного моделирования было установлено, что вероятность разрушения горной выработки при окружающих выработку породах – кварциты гематит-мартитовые находятся в пределах 4-6%, при дисперсии $\sigma^2 = 0,001$ (рис. 4, а).

При окружающих выработку породах – руда гематит-мартитовая вероятность разрушения в пределах 13-17%, при дисперсии $\sigma^2 = 0,001$ (рис. 4, б). Уровень надежности – 85%.

Результаты моделирования показывают, что с увеличением глубины заложения подземных выработок повышается вероятность их разрушения в зависимости от прочности пород. Что подтверждается возрастанием количества реальных вывалов на ЗЖРК.

По результатам, представленных на рис. 5, можно определить, что для кварцитов с увеличением глубины залегания практически не увеличивается вероятность разрушения горной выработки. Для руды крепостью 10-12 и сланцев крепостью 7-9 вероятность разрушения растет с глубиной заложения выработки. Для руды крепостью 6-8 устойчивость выработки до глубины 600 м.

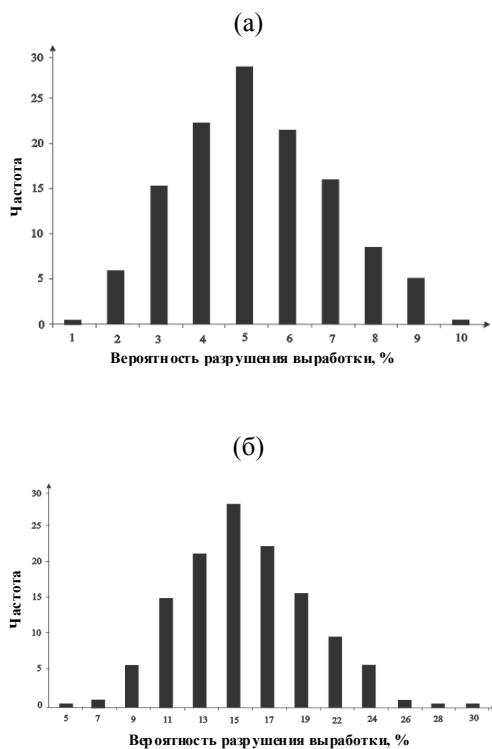


Рис. 4. Вероятность разрушения выработки: кварциты гематит-мартитовые при глубине 800 м (а); руда гематит-мартитовая при глубине 800 м (б)

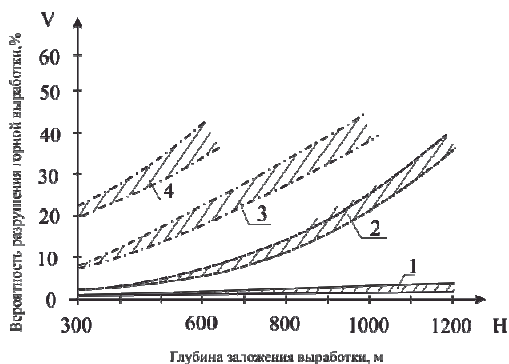


Рис. 5. Зависимость вероятности разрушения горной выработки от глубины ее заложения: 1 – кварциты гематит-мартитовые крепостью 14-15; 2 – руда гематит-мартитовая крепостью 10-12; 3 – сланцы кварц-хлорит-серицитовые крепостью 7-9; 4 – руда гематит-мартитовая крепостью 6-8

ВЫВОДЫ

1. Разработана математическая модель, связывающая устойчивость незакрепленных горных выработок на различной глубине от горно-геологических условий окружающего массива, состоящего из различных типов пород.

2. Разработаны основы имитационного моделирования процессов и явлений разрушения горной выработки с использованием современных пакетов программирования Simulink.

3. На примере тестовых расчетов для условий ЗАО «Запорожский железорудный комбинат» установлены вероятности разрушения горных выработок на различных глубинах от прочности пород.



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Советов, Б.Я. Моделирование систем [Текст] / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев. – М.: Высшая школа, 1999. – 271 с.
2. Ржаницын, А.Р. Строительная механика [Текст]: учеб. пособие для ВУЗов / А.Р. Ржаницын. – М.: Высшая школа, 1982. – 400 с.

ОБ АВТОРАХ

Владыко Александр Борисович – к.т.н., доцент кафедры подземной разработки месторождений Национального горного университета.

Калиушко Диана Александровна – студентка Горного факультета Национального горного университета.