

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу *Прищепы Дмитрия Вячеславовича*

«Исследование устойчивости подземных выработок на основе статистического моделирования трещиноватых породных массивов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.20 – Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика.

Рассматриваемая диссертационная работа Прищепы Д.В. состоит из введения, пяти глав, заключения и списка литературы из 163 наименований общим объемом 194 страницы машинописного текста, включает 86 рисунков и 13 таблиц.

1. Актуальность темы диссертации

Определение и обеспечение устойчивости горных пород является одной из главных научных и практических задач горного дела. В отсутствие единой работоспособной теории устойчивости подходов к решению данного вопроса огромное множество. Особенно это касается сложно устроенных трещиноватых массивов. Прочностные характеристики породного массива во многом определяются его трещинной структурой.

Определение действующих напряжений на этапе проектирования может осуществляться с помощью метода конечных элементов (МКЭ). При этом породный массив представляется как идеально упругая среда, что не соответствует реальному блочному строению массива. Существующие методы оценки трещиноватости исходят из представления трещин как линейных образований, тогда как они являются сложными структурами фрактальными объектами. Кроме того, фиксируемая в наблюдениях трещинная структура массива и контуры подземных выработок являются лишь реализацией одного из множества случайных факторов, формирующих данные характеристики.

Поэтому разработка метода прогноза устойчивости подземных выработок в трещиноватых массивах, основанные на фрактальном анализе и статистическом моделировании структуры породного массива, является актуальной задачей, имеющей научное значение для развития геомеханики и горных наук в целом.

2. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций соискателя, сформулированных в диссертации, их достоверность и новизна



Основные результаты работы отражены в трех защищаемых научных положениях. Они базируются на обширном фактическом материале по изучению свойств пород и геометрии трещин в лабораторных условиях.

В первом научном положении автор обосновывает зависимость прочностных и деформационных свойств породного массива от структуры трещиноватости. Известны различные методики и подходы учета трещиноватости при определении свойств массива горных пород. Но такие подходы оперируют лишь качественной оценкой структуры массива. Например, в Своде Правил «Подземные горные выработки» прочность породного массива определяется коэффициентом структурного ослабления, который определяется только расстоянием между трещинами. Другие показатели трещиноватости (длины трещин, их извилистость и шероховатость) не учитываются.

Автор диссертации взялся за решение данной задачи, используя инструментарий фрактального анализа, чтобы получить количественную оценку трещинной структуры и нахождение зависимости свойств массива от нее. В диссертации дается количественная оценка структуры горных пород на основе фрактальной размерности трещин и их поверхностей.

Важным моментом является изучение закономерностей распределения трещин в объеме массива. Автор на основе проведенных лабораторных исследований первичной структуры микротрещин в образцах определяет закон их распределения в виде уравнения Коши. Далее соискатель изучил процесс накопления и развития трещин при ступенчатом нагружении. При увеличении нагрузки трещины начинают взаимодействовать между собой и образуют кластеры - области разрушения. Для количественной оценки данного явления автор предложил использовать фрактальную кластерную размерности.

Достоверность полученных фрактальных соотношений, описывающих структуру трещиноватости массива, подтверждается их соответствием фундаментальным законам развития земной коры - закону повторяемости землетрясений Гуттенберга-Рихтера, обратно экспоненциальному закону распределения длин трещин (разломов) и расстояний между ними. Именно в этом проявляется принцип автомодельности (самоподобия на разных масштабных уровнях) процессов разрушения иерархически блочной среды, сформулированный академиком Садовским М.А.

Научная новизна данного защищаемого положения заключается в том, динамику развития и слияния трещин при нагружении описывает параболическая функция фрактальной кластерной размерности трещинной структуры. Также найдено пороговое значение корреляционной размерности

(точка бифуркации), при которой начинается лавинообразный рост дефектов, приводящий в итоге к разрушению пород.

Обобщение выполненных исследований позволило автору сформулировать методику прогноза свойств породных массивов. В ее основу положены установленные в работе закономерности: зависимость показателя нарушенности массива от характеристик его трещинной структуры; взаимосвязь модуля деформации породного массива и модуля упругости слагающих его пород с учетом модуля трещиноватости массива.

Во втором научном положении автор обосновывает условия, необходимые для достоверного прогноза напряженно-деформированного состояния трещиноватого массива с помощью метода конечных элементов. Структура породного массива формировалась в течение всей его геологической истории множеством независимых случайных факторов, учесть которые в единой детерминированной модели не представляется возможным. Поэтому параметры трещинной структуры следует рассматривать в вероятностном аспекте.

Для изучения данного вопроса автор разработал статистические модели развития трещинной структуры на основе фрактального броуновского движения и метода срединных смещений. Разработанные модели послужили основой для определения дилатансии и относительной площади контактов берегов трещины.

При построении модели трещиноватого массива автор все природное многообразие трещинных структур описывает тремя типами трещиноватости. Свойства таких массивов определяют по методике К. В. Руппeneйта. Ее слабым звеном является показатель относительной площади контактов берегов трещины в виде константы, что вряд ли реалистично. Автор создает более правдоподобную модель сближения берегов трещин при нагружении породы с возрастающей площадью скальных контактов по трещине. Базой такой модели является реализация метода фрактального броуновского движения, которая позволяет генерировать представительную трещину породного массива, определять ее статистические и фрактальные характеристики, определять дилатансию пород при их сдвиге по трещине. Таким образом, по известным координатам берегов реальной трещины с помощью разработанных моделей можно установить относительную площадь контактов берегов трещины. Тем самым автор развил методику К.В. Руппeneйта определения деформационных характеристик трещиноватых породных массивов. Используя разработанные модели, автор прогнозирует параметры дилатансии трещин в условиях нагружения. Достоверность полученных результатов подтверждена

результатами проведенных замеров реальных трещин при строительстве Екатеринбургского метрополитена.

Научная новизна данного защищаемого положения заключается в том, что автором была обоснована методика определения площади контактов берегов трещин на базе установленной зависимости изменения фрактальной размерности траектории трещин в процессе деформирования пород. Также разработана модель и процедура определения дилатансии при сдвиге горных пород по трещине, основанная на количественной оценке извилистости и шероховатости природных трещин.

В третьем научном положении автор защищает методику оценки устойчивости выработок расчетом вероятности образования вывалов по фрактальной размерности контура выработки в проходке.

В качестве основы автор использует методику профессора Баклашова И.В., в которой предлагаемые показатели оценки неровности контура выработки обладают определенным субъективизмом. В ее развитие автор предложил для адекватной оценки степени неровности контура выработки использовать ее фрактальную размерность и установил ее влияние на коэффициент концентрации напряжений. Реализацией разработанных статистических моделей в диссертации найдено уравнение связи между фрактальной размерностью и показателями неровности контура выработки. В итоге, оценивать концентрацию напряжений на контуре горной выработки автор предлагает с помощью фрактального коэффициента формы выработки, что является новым научным результатом. Для учета вероятностного характера оконтуривания выработки буровзрывными работами автором сформирована и апробирована методика статистического моделирования сечений подземных выработок в проходке. Достоверность полученных результатов опирается на фундаментальные основы механики сплошной среды и теории надежности.

3. Значимость полученных результатов для науки и практики

Научное значение диссертации заключается в описании структуры трещиноватости массива горных пород фрактальными характеристиками трещин. Введен и обоснован новый показатель – фрактальный коэффициент формы выработки, количественно определяющий концентрацию напряжений на ее контуре.

Практическая значимость результатов исследований заключается в обосновании методики прогноза деформационных характеристик породного массива с использованием фрактальной размерности трещин для оценки

площади контакта их берегов. Разработаны статистические модели формирования контура выработки в проходке, основанные на алгоритме фрактального броуновского движения, методе «срединных смещений» и алгоритме Фосса. Обоснована методика прогноза вывалообразования, отличающаяся представлением поверхности подземной выработки как фрактального объекта.

4. Оценка содержания диссертации

Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему. Работа соответствует требованиям, предъявляемым к работам, направляемым в печать. Все основные положения диссертации апробированы на конференциях различного уровня и достаточно полно опубликованы в научных изданиях, в том числе в рекомендованных ВАК.

Тема диссертации и защищаемые научные положения соответствуют паспорту специальности 25.00.20 – Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика. Автореферат соответствует содержанию диссертации.

Диссертация написана грамотным техническим языком, иллюстрирована и оформлена в соответствии с существующими требованиями.

5. Замечания по диссертации

1. Диссертация содержит избыточный объем информации (194 страницы), перегружена промежуточными обоснованиями результатов, имеются повторы.

2. В диссертации для анализа устойчивости использованы фрактальные представления структуры массива и контура выработки, что придает исследованиям существенный элемент новизны. Было бы желательно отвести в диссертации больше места описанию основных положений фрактальной геометрии.

3. В работе использован метод люминесцентной дефектоскопии. Но в диссертации не описано, как он использовался и какова его разрешающая способность.

4. Из диссертации не ясна процедура определения дилатансии: какие именно измерения необходимо выполнить в натуре, и как по их результатам вычислить угол дилатансии.

5. Автор исследует трещинную структуру на микроуровне без дальнейшего перехода на другие масштабные уровни.

6. В разделе 2.6.2. приведено уравнение паспорта прочности породного массива и его графическое отображение (рис. 2.6.1). Неясна процедура построения паспорта прочности и способ оценки его параметров.

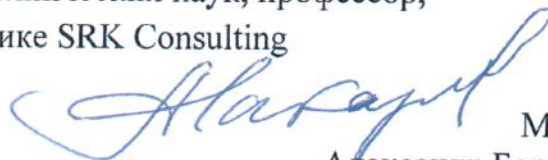
Данные замечания не снижают общей ценности выполненных автором исследований, а во многом носят характер пожеланий, направленных на еще более убедительное подтверждение обоснованности полученных диссертантом результатов.

6. Заключение

Диссертация Д.В. Прищепы представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой дано новое решение актуальной задачи оценки и прогноза устойчивости подземных выработок на основе статистического моделирования трещиноватых массивов с использованием методов фрактальной геометрии, имеющее большое значение для геомеханического обеспечения безопасности и эффективности подземных горных работ.

Диссертационная работа отвечает требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а ее автор – Прищепа Дмитрий Вячеславович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 25.00.20 – Геомеханика, разрушение горных пород, рудничная аэрогазодинамика и горная теплофизика.

Официальный оппонент, доктор технических наук, профессор,
Главный консультант по геомеханике SRK Consulting



Макаров
Александр Борисович

125009, Москва, Кузнецкий мост ул., д.4/3, стр.1.

тел. (495) 545 44 17; факс (495) 545 44 18

info@srk.ru.com; www.srk.com

Тел: (916) 612 44 93. e-mail: abm51@mail.ru

Я, Макаров А.Б., согласен на обработку персональных данных.

Подпись главного консультанта по геомеханике, проф. Макарова А.Б.
удостоверяю.

Менеджер по персоналу
SRK Consulting



А.Н. Кувшинова